



UNIVERSIDAD AUSTRAL DE CHILE

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

**“EFECTOS SOBRE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y
QUÍMICAS DE FRUTOS DE ARÁNDANO cv. ELLIOT
(*Vaccinium corymbosum* L) BAJO MALLAJE DE SOMBRA
PARA EL CONTROL DE LA MADUREZ”**

TESIS DE MAGÍSTER

JAIME ORLANDO BARRIOS DE LEON

VALDIVIA – CHILE

2007

“EFECTOS SOBRE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS DE FRUTOS DE ARÁNDANO cv. ELLIOT (*Vaccinium corymbosum* L) BAJO MALLAJE DE SOMBRA PARA EL CONTROL DE LA MADUREZ”

Tesis presentada a la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Austral de Chile en cumplimiento parcial de los requisitos para optar al Grado de Magíster en Ciencias Vegetales Mención Producción Vegetal

Por:

Jaime O. Barrios de L.

Valdivia, Chile

2007

**UNIVERSIDAD AUSTRAL DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**

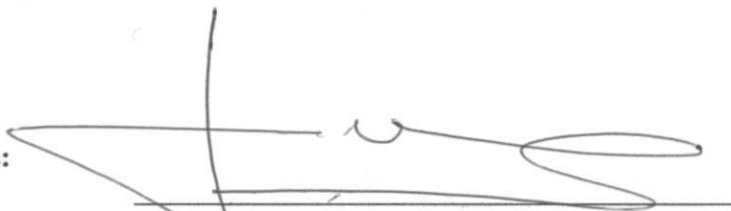
INFORME DE APROBACION TESIS DE MAGISTER

La Comisión Evaluadora de Tesis comunica al Director de la Escuela de Graduados de la Facultad de Ciencias Agrarias que la tesis de Magíster presentada por el candidato

JAIME ORLANDO BARRIOS DE LEON

Ha sido aprobada en el examen de defensa de Tesis rendido el día 30 de noviembre de 2007, como requisito para optar al grado de Magíster en Ciencias Vegetales Mención Producción Vegetal. Y, para que así conste para todos los efectos firman:

Profesor Patrocinante de Tesis:



Fernando Medel S.

Ingeniero Agrónomo, Dr. Ing. Agr.
Instituto de Producción y Sanidad Vegetal
Facultad de Ciencias Agrarias
Universidad Austral de Chile

Comisión Evaluadora de Tesis:



Andrés Contreras M.

Ingeniero Agrónomo
Instituto de Producción y Sanidad Vegetal
Universidad Austral de Chile



Hernán Palma F.

Lic. en Ciencias M/Química; M.Sc. in Chemistry
Instituto de Química
Facultad de Ciencias
Universidad Austral de Chile

A Dios Padre, Hijo y Espiritu Santo

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar agradecer a Dios y a nuestro buen Jesús por brindarme la oportunidad de estar en este país y lograr uno de mis objetivos en mi vida profesional, y por todas las bendiciones recibidas diariamente.

Agradezco a mis padres José Irene Barrios Alvarez e Ilda Mirtala de León de Barrios por la comprensión y apoyo incondicional durante mi estadía en la ciudad de Valdivia, Dios les bendiga siempre.

A mis hermanos Henry Wilfredo y Marvin Anibal, gracias hermanos por compartir conmigo los momentos felices de mi vida profesional, al igual a mi querida cuñada Rosita gracias por formar parte de nuestra familia y querernos como lo hace, y con cariño muy especial a mi sobrino Orlando que ha llenado de felicidad nuestro hogar y especialmente mi vida.

Eterno agradecimiento a la Sucesión Agrícola Luis Alessandrini Grez, por brindarme la oportunidad de realizar la investigación en su huerto agrícola, mención especial merece el señor Raúl Risco por el apoyo incondicional durante la parte experimental de esta tesis, al igual que el señor Ramón Mansilla gracias por todo lo aportado para la ejecución de esta Tesis, muchísimas gracias.

Agradecimiento especial al Profesor Fernando Medel por el aporte profesional a la ejecución de esta Tesis.

Sincero agradecimiento a mis amigos que me apoyaron moralmente con especial mención: Boris, Rafael, Iván, Jessica, Carlos, Leonardo, Deyci, Mónica, Santiago.

Con mucho honor a mi bella Guatemala y a mi lindo Patulul, agradecer infinitamente al Señor alcalde de Patulul Gilberto Alejandro Pérez Crispín y al alcalde de Chicacao Oscar García Barrios.

Con especial mención a la Agencia de Cooperación Interracial (AGCI).

INDICE DE MATERIAS

	Página
1. INTRODUCCIÓN	1
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	4
2.1. Características físicas y químicas de los frutos de arándano	4
2.1.1 Textura y forma	4
2.1.2 Color	5
2.1.3. Peso	6
2.1.5 Sólidos solubles	7
2.1.6 Acidez orgánica y acidez titulable	7
2.1.7 Relación sólidos solubles acidez titulable (SS/AT)	8
2.2 Factores que influyen en las características físicas y químicas de los frutos de arándanos	9
2.2.1 Especie y cultivar	9
2.2.2 Factores ambientales	10
2.2.3 Agua	11
2.2.4 Temperatura	11
2.2.5 Luz	12
2.3 Antocianos totales, fenoles totales y capacidad antioxidante	14
2.3.1 Aspectos biológicos	14
2.3.2 Antocianos totales, fenoles totales en especies arbustivas frutales	17
2.3.3 Antocianos totales, fenoles totales y capacidad antioxidante en arándano	18

2.4	Factores que influyen en el contenido de antocianos totales, fenoles totales y capacidad antioxidante en arándano	20
2.4.1	Especie y cultivar	20
2.4.2	Madurez	22
2.4.3	Temperatura	25
2.4.4	Luz	26
3.	MATERIALES Y MÉTODOS	28
3.1.	Ubicación del ensayo	28
3.2	Material vegetal y manejo	28
3.3	Muestreos y cosecha	29
3.4	Procesamiento de las muestras	29
3.5	Observaciones y medidas	30
3.5.1	Desarrollo fenológico de frutos	30
3.5.2	Características físicas de los frutos	31
3.5.2.1	Peso	31
3.5.2.2	Forma del fruto	31
3.5.3.	Características químicas de los frutos	31
3.5.3.1	Sólidos solubles	31
3.5.3.2.	pH	31
3.5.3.3	Acidez titulable	32
3.5.3.4	Relación sólidos solubles acidez titulable	32
3.5.3.5	Determinación de antocianos totales	32
3.5.3.6	Determinación de fenoles totales	34
3.5.3.7	Capacidad antioxidante	34
3.5.4	Desarrollo vegetativo	35

3.5.4.1	Altura del arbusto	35
3.5.4.2	Ancho y longitud entre línea y sobre la línea (proyección horizontal de copa)	35
3.5.4.3	Peso seco	35
3.6	Diseño experimental y tratamiento estadístico de los datos	36
4	PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	37
4.1	Efectos del mallaje de sombra sobre las características físicas de los frutos	37
4.1.1	Peso y forma del fruto	37
4.2.	Efectos del mallaje de sombra sobre las características químicas de los frutos	40
4.2.1.	Índices de madurez	40
4.2.2.	Antocianos totales	43
4.2.3.	Fenoles totales	46
4.2.4.	Capacidad antioxidante	49
4.3.	Efectos del mallaje de sombra sobre el desarrollo vegetativo de los arbustos	54
5.	CONCLUSIONES	57
6.	BIBLIOGRAFIA	59
	ANEXOS	73

INDICE DE CUADROS

Cuadro		Página
1	Cualidad de frutos en diferentes cultivares	10
2	Color y distribución de las mayores antocianinas en arándano	15
3	Contenido de fenoles y antocianinas de tres tipos de fruto (mg/100g)	17
4	Contenido de antocianinas en el fruto de arándano	19
5	Contenido de fenoles en el fruto de arándano	20
6	Valores de capacidad antioxidante de diferentes cultivares de arándano en diferentes métodos	22
7	Contenido total de antocianinas y fenoles de frutos de arándano cosechados en diferentes estados de madurez	22
8	Valores medios para la actividad antioxidante, contenido de fenoles totales y antocianinas totales en el cv. Elliot, determinado por el tiempo de cosecha	24
9	Desarrollo fenológico de frutos (expresado en %) en cada una de las cosechas.	30
10	Características físicas de frutos de arándanos cv. Elliot bajo luz y sombreados con malla Rachell 50%	37
11	Índices de madurez de frutos de arándano cv. Elliot bajo luz y sombreados con malla Rachell 50%	41
12	Contenido de antocianinas totales de frutos de arándano cv. Elliot bajo luz y sombreados con malla Rachell 50%	43

13	Contenido de fenoles totales de frutos de arándano cv. Elliot bajo luz y sombreados con malla Rachell 50%)	46
14	Capacidad antioxidante de frutos de arándano cv. Elliot bajo luz y sombreados con malla Rachell 50%	50
15	Desarrollo vegetativo de arbustos de arándano cv. Elliot bajo luz y sombreados con malla Rachell 50%	54
16	Peso de materia seca de arbustos de arándano cv. Elliot bajo luz y sombreados con malla Rachell 50%	55
17	Análisis de varianza para el peso de frutos de arándano cv. Elliot en los distintos tratamientos y fechas de cosecha	74
18	Análisis de varianza para la forma de frutos de arándano cv. Elliot en los distintos tratamientos y fechas de cosecha	75
19	Análisis de varianza para sólidos solubles de frutos de arándano cv. Elliot en los distintos tratamientos y fechas de cosecha	75
20	Análisis de varianza para el pH de frutos de arándano cv. Elliot en los distintos tratamientos y fechas de cosecha	76
21	Análisis de varianza para acidez titulable de frutos de arándano cv. Elliot en los distintos tratamientos y fechas de cosecha	76
22	Análisis de varianza para la relación sólidos solubles acidez titulable de frutos de arándano cv. Elliot en los distintos tratamientos y fechas de cosecha	77
23	Análisis de varianza para antocianos totales en pulpa de frutos de arándano cv. Elliot en los distintos tratamientos y fechas de cosecha	77

24	Análisis de varianza para antocianos totales en piel de frutos de arándano cv. Elliot en los distintos tratamientos y fechas de cosecha	78
25	Análisis de varianza para antocianos totales en fruto completo de arándano cv. Elliot en los distintos tratamientos y fechas de cosecha	78
26	Análisis de varianza para fenoles totales en pulpa de frutos de arándano cv. Elliot en los distintos tratamientos y fechas de cosecha	79
27	Análisis de varianza para fenoles totales en piel de frutos de arándano cv. Elliot en los distintos tratamientos y fechas de cosecha	79
28	Análisis de varianza para fenoles totales en fruto completo de arándano cv. Elliot en los distintos tratamientos y fechas de cosecha	80
29	Análisis de varianza para capacidad antioxidante en pulpa de frutos de arándano cv. Elliot en los distintos tratamientos y fechas de cosecha	80
30	Análisis de varianza para capacidad antioxidante en piel de frutos de arándano cv. Elliot en los distintos tratamientos y fechas de cosecha	81
31	Análisis de varianza para capacidad antioxidante en frutos completos de arándano cv. Elliot en los distintos tratamientos y fechas de cosecha	81
32	Análisis de varianza para altura de planta en arbustos de arándano cv. Elliot en los distintos tratamientos	82
33	Análisis de varianza para ancho de planta en arbustos de arándano cv. Elliot en los distintos tratamientos	82

34	Análisis de varianza para longitud entre línea y sobre la línea de planta en arbustos de arándano cv. Elliot en los distintos tratamientos	82
35	Análisis de varianza para el peso seco de hojas de arbustos de arándano cv. Elliot en los distintos tratamientos	83
36	Análisis de varianza para el peso seco de brotes de arbustos de arándano cv. Elliot en los distintos tratamientos	83

INDICE DE FIGURAS

Figura		Página
1	Temperatura registrada durante el ensayo. A. temperatura ambiente entre tratamientos, B. temperatura interna de frutos durante las fechas de cosecha.	38
2	Peso de frutos en los distintos tratamientos y fechas de cosecha.	39
3	Sólidos solubles de frutos de arándano en los distintos tratamientos y fechas de cosecha	42
4	Antocianos totales en frutos de arándano en los diferentes tratamientos y fechas de cosechas. A. pulpa, B. piel, C. fruto completo	45
5	Fenoles totales en frutos de arándano en los diferentes tratamientos y fechas de cosecha. A. pulpa, B. piel, C. fruto completo	48
6	Capacidad antioxidante en frutos de arándano en los diferentes tratamientos y fechas de cosecha. A. pulpa, B. piel, C. fruto completo	52
7	Registro de radiación fotosintéticamente activa, durante la fase experimental.	74

RESUMEN

El objetivo de esta tesis fue evaluar la variabilidad de las características físicas y químicas en fruta de arándano cultivar Elliot, bajo sistemas de mallaje de sombra para el control de la madurez, en huertos establecidos en la Sucesión Agrícola Luis Alessandrini Grez Limitada, ubicado a 32 kilómetros al norte de la Ciudad de Valdivia, durante la temporada frutícola 2006-2007.

Las características físicas evaluadas fueron peso y forma de los frutos, encontrando variabilidad del peso como efecto del mallaje de sombra.

Las características químicas evaluadas fueron índices de madurez (pH, sólidos solubles, acidez titulable, relación sólidos solubles acidez titulable), metabolitos secundarios (antocianos y fenoles totales) y capacidad antioxidante. El índice de madurez que presenta cambios por efectos del mallaje de sombra son los sólidos solubles; con una disminución de 1,03° Brix, en los frutos cosechados bajo sombreado con malla Rashell.

El contenido de antocianos totales difiere entre tratamientos especialmente en la pulpa del fruto, sin afectar el contenido en la piel y en el total del fruto. Mientras tanto, en los fenoles totales las diferencias se observaron en la piel y en el total del fruto; presentando menor síntesis de metabolitos secundarios los frutos cosechados bajo sombreado con malla Rashell. Por consiguiente estos frutos con menor capacidad antioxidante.

El mallaje de sombra provocó cambios significativos en el desarrollo vegetativo de los arbustos, con mayor altura y ancho los arbustos sombreados, obteniendo estos arbustos menor peso seco.

La mayor variabilidad entre los tratamientos surgió especialmente entre las fechas de cosecha. Uno de los factores determinantes para la obtención de estos resultados fue la temperatura, existiendo un diferencial de hasta 10° C entre tratamientos.

El rendimiento promedio por planta no se afecta por el uso del mallaje de sombra, siendo la temperatura la que juega el papel fundamental para controlar la madurez y lograr el objetivo por el cual es colocada, salir al mercado y lograr un mayor precio y retorno a productor/exportador.

Palabras claves: índices de madurez, antocianos y fenoles totales, capacidad antioxidante

ABSTRACT

The goal of this thesis was to evaluate the variability of the physical and chemical characteristics in blueberry fruit to cultivate Elliot, low systems of shade mallaje for the control of the maturity, in orchards settled down in the Agricultural Succession Luis Alessandrini Limited Grez, located 32 kilometers to the north of the City of Valdivia, during the season 2006-2007.

The evaluated physical characteristics were weight and its forms of the fruits, finding variability of the weight like effect of the shade mallaje.

The evaluated chemical characteristics were index of maturity (pH, soluble solids, titratable acid and relationship soluble solids titratable acidity), secondary metabolites (anthocyanin and total phenolics) and antioxidant capacity. The index of maturity that presents changes for effects of the shade mallaje is the soluble solids, with a decrease of 1,03° Brix, in the fruits harvested low shading with mesh Rashell.

The content of total anthocyanins differs especially among treatments in the pulp of the fruit, without affecting the content in the skin and in the total of the fruit. Meanwhile, in the total phenolics the differences were observed in the skin and in the total of the fruit; presenting smaller synthesis of secondary metabolites the fruits harvested low shading with mesh Rashell. Consequently these fruits had smaller antioxidant capacity.

The shade meshing caused significant changes in the vegetative development of the bushes, with more height and wide the shady bushes, obtaining these bushes minor dry weight.

The biggest variability among the treatments arose especially among the crop dates. One of the decisive factors for the obtaining of these results was the temperature, existing a differential up to 10° C among treatments.

The average yield per plant is not affected by the use of the shade meshing, being the temperature the one that plays the fundamental paper to control the maturity and to achieve the objective for which is placed, to reach the market and achieve a bigger price and return to producer/exporter.

Keywords: index of maturity, anthocyanins and phenolics total and capacity antioxidant.

1 INTRODUCCIÓN

El arándano es un arbusto frutal nativo de América del Norte (Estados Unidos y Canadá), donde ha sido mejorado genéticamente y producido comercialmente para el consumo en fresco e industrialización (Kalt y col., 1996). En Chile, este fruto ha tenido gran expansión desde su introducción (1979) a través del Programa de Introducción de Especies Arbustivas Frutales realizados por la Universidad Austral de Chile (Medel, 1988 c).

Dado el interés de producir fruta fresca de exportación a un mercado creciente como Norte América, Europa y Asia, ha sido necesario producir fruta fresca para mercados específicos y que significa un alto precio y retorno para exportadores y productores. Además, la instauración de una serie de tecnologías para llegar a nichos de demanda en forma oportuna que se ha venido utilizando en el tiempo, como la utilización de cultivares de acuerdo a zonas climáticas específicas y manejos de postcosecha.

La utilización de cubiertas plásticas para la obtención de fruta temprana y malla sombreadora para producir fruta tardía han ido ganando terreno, ya que controlan en parte la situación climática para lograr este objetivo.

El mallaje de sombra ha tenido un especial desarrollo en el sur de Chile especialmente en cultivares tardíos como Elliot, permitiendo una notable producción de fruta fresca en marzo con una demanda y precio

considerablemente mayor que en el resto de la temporada de producción, similar a la obtenida por las primeras producciones de verano (noviembre) en las zonas norte y centro del país.

Una serie de ensayos realizados en Estados Unidos de Norteamérica, han demostrado que el tipo de sombreado puede producir diversos cambios morfológicos y fenológicos entre los cuales destacan: hábito de ramificación, largo de brotes, época de floración, cuaja, tamaño, color y calidad de la fruta (McArtney y col., 1999).

Las mallas de sombreado reducen la temperatura ambiental, aún cuando también las respuestas de las plantas se deben tanto a los efectos sobre la intensidad luminosa como a los cambios en la calidad de la luz que reciben (Bassett y col., 2006; Morgan y col., 1984). Por lo tanto, las mallas sombreadoras no sólo cambian el ambiente que rodea la planta (humedad relativa, temperatura del aire y suelo, viento, polinizadores), sino que también pueden modificar directamente a la planta y alterar su capacidad para interactuar con el medio ambiente.

Este estudio tiene por objeto aportar información que permita explicar los efectos del uso de mallas sobre huertos de arándano. Es decir, para comprender los cambios que estarían afectando los parámetros físicos y químicos de los frutos, como también otras características adicionales en la estructura de las plantas bajo sombra al contrastarlas con arbustos cultivados bajo plena luz solar.

Todo lo anterior permite formular la hipótesis general, que el uso de malla sombreadora para el retraso de la madurez provoca cambios significativos en la estructura física y química de bayas de arándano.

Por lo tanto, el objetivo general propuesto es: evaluar el efecto del mallaje de sombra en el control de la madurez sobre las características físicas y químicas de frutos de arándanos y algunos aspectos adicionales como estructura de plantas.

Para llevar a cabo esta investigación y poder corroborar la hipótesis planteada los objetivos específicos son:

- a) Determinar el efecto del mallaje de sombra sobre las características físicas de los frutos de arándano (forma y peso).
- b) Determinar el efecto en la composición química de los frutos (sólidos solubles, pH, acidez titulable, relación sólidos solubles acidez titulable, contenido de antocianos totales, fenoles totales y capacidad antioxidante).
- c) Describir los efectos del mallaje de sombra sobre el desarrollo vegetativo de los arbustos de arándano (altura, longitud entre línea y sobre la línea de plantas, y peso seco).

2 REVISION BIBLIOGRÁFICA

2.1. Características físicas y químicas de los frutos de arándano

El fruto de arándano es una baya casi esférica dependiendo de la especie y cultivar puede variar en tamaño de 0,7 a 1,5 centímetros y el color va desde azul claro hasta negro (Buzeta, 1997; Eck, 1989; Medel, 1982 a, 1988 b; Norman, 1949; Shoemaker, 1975; More y col., 1973). La epidermis del fruto está provista de secreciones cerosas (pruina), que le dan a éste una terminación muy atractiva similar a otras especies frutales como por ejemplo la ciruela (Eck, 1989).

La consistencia y el color de la pulpa y piel, los contenidos de azúcares, sólidos solubles, ácidos totales, clorofila y caroteno son los factores que normalmente se utilizan para determinar la madurez hortícola (Westwood, 1982).

2.1.1 Textura y Forma. La textura y forma son criterios importantes de selección para que el fruto resista el movimiento de transporte a largas distancias (Galleta y col., 1971).

Datos obtenidos por (Ballington y col., 1984), encontraron que los géneros *Vaccinium corymbosum* L son fruto de textura más firme que los frutos *Vaccinium angustifolium* L, encontrando que los cultivares de *Vaccinium virgatum* Reade son aún más firmes que los primeros. La textura del fruto esta asociado con una

excelente relación sólidos solubles acidez titulable, integrado por el tamaño del fruto cuando los arbustos han sido cultivados bajo condiciones normales de luz (Kushmann y col., 1975).

La forma y textura de los frutos esta relacionada con el contenido de agua, los frutos con células turgentes serán más firmes y resistentes en sus tejidos (Cordenunsi y col., 2002).

La disminución de la textura del fruto sin perder su tamaño se debe principalmente por el aumento de la respiración por exceso de temperatura y luz solar, los cambios o alteraciones en la pared celular aumentan el ablandamiento de los tejidos (Ahmed y col., 1980). Los frutos de arándano más pequeños tienden a ser más firmes que los frutos grandes en condiciones normales de luz, la textura y forma de los frutos varia entre fechas de cosecha, estando entre frutos maduros hasta frutos sobremaduros (Ballinger y col., 1973).

La textura de los frutos puede predecirse aun encontrándose en el arbusto, más no así su consistencia ya que esto dependerá de las condiciones ambientales al que son sometidos. Todos los frutos de arándano tienden a perder firmeza cuando llegan al estado completamente azul (Ballinger y col., 1973).

2.1.2 Color. Para realizar una correcta selección de frutos de arándano, esta debe realizarse cuando la epidermis tiene un color púrpura (Galleta y col., 1971).

El contenido de sólidos solubles, pH, fenoles y antocianos en cierta forma modifican el color y el tamaño del fruto, de rosa a completamente azul puede haber una variación del 35% en el contenido de estos compuestos, en frutos cosechados bajo plena luz solar (Connor y col., 2002 a; Kalt y col., 1996; Prior y col., 1998).

Connor y col., 2002 b; Prior y col., 1998, indican que el cultivar Elliot bajo condiciones normales de luz y temperatura presenta una mayor cantidad de antocianinas y fenoles totales cuando la fruta se encuentra completamente azul. Los pigmentos de antocianos formados en la piel del fruto son los responsables de los cambios en el color del fruto desde blancos hasta azul oscuro. (Kalt y col., 2003).

2.1.3 Peso. El peso del fruto varía de acuerdo al momento de la cosecha desde verde hasta completamente azul (Cano y Darnell, 1998), es así como trabajos reportan datos para frutos cosechados en condiciones de campo que oscilan entre 0,8 g. hasta 3,4 g. Por otro lado (Maust y col., 2000) indican que el peso de los frutos esta íntimamente relacionado con las reservas de carbohidratos y fertilización realizada a los arbustos antes de la fructificación, el cual es utilizado eficientemente por la planta en el proceso fotosintético, siempre y cuando la planta sea colocada en ambientes adecuados (luz, temperatura y agua). A conocimiento de los autores, en arándano no se reportan trabajos sobre peso de frutos cosechados bajo sombreado, como si lo hay en otras especies frutícolas.

2.1.4 Sólidos Solubles. La selección de frutos de arándanos con una buena calidad es cuando la fruta involucra un alto contenido de sólidos solubles en la pulpa, la cual se logra cuando los frutos han sido cultivados bajo condiciones normales de campo (Galleta y col., 1971). Por otro lado, estos mismos autores notaron que fruta fresca de arándano provenientes de arbustos cosechados bajo luz solar contenían altos índices de sólidos solubles, a su vez eran frutos con mejor aroma y textura. Los principales compuestos solubles en frutos maduros son: glucosa, fructuosa y sacarosa (Cordenunsi y col., 2002).

El contenido de sólidos solubles esta fuertemente asociado con el peso del fruto (Ballinger y col., 1970 a, b), encontrando que el contenido de sólidos solubles aumenta con el tamaño del fruto. La concentración de sólidos solubles aumenta hasta en un 1,5% cuando las plantas son podadas en plena dormancia y mantenidas en condiciones agronómicas adecuadas (Morgan y col., 1984).

2.1.5 Acidez orgánica y acidez titulable. La alta acidez en los frutos ha demostrado inhibir el crecimiento de organismos que causan la pudrición (Ballinger y col., 1970). Kushman y col., 1967, reportan que entre los ácidos presentes en el fruto de arándano sobresale el ácido cítrico y el ácido málico, aparte de otros 17 ácidos encontrados en frutos maduros y sobremaduros, estos trabajos han sido utilizando arbustos bajo condiciones normales de campo.

En los primeros estadios de crecimiento del fruto la acumulación de ácidos se aumenta disminuyendo con el avance del crecimiento del fruto (Ballinger y col., 1970). Estudios de estos mismos autores señalan que la composición alta de

ácidos en el fruto se debe a un mecanismo de resistencia frente al ataque de microorganismos.

2.1.6 Relación sólidos solubles/acidez titulable (SS/AT). Una baja relación de sólidos solubles acidez titulable esta asociada con una buena calidad de la fruta, la cual esta asociada con días nublados, excesos de radiación, temperatura y transpiración de los frutos (Ballinger y col., 1970; Marshall y col., 2002).

Una relación de sólidos solubles acidez titulable de 6,5 o menos se encuentra en la pulpa del fruto cuando este tiene un color púrpura siendo un buen propósito para seleccionar arándanos; la relación sólidos solubles acidez titulable es un parámetro que determina la resistencia del fruto para desprenderse de la planta siempre y cuando no se tome esta característica en horas de mayor exceso de temperatura o intensidad luminosa (Galleta y col., 1971).

Una adecuada relación de sólidos solubles acidez titulable, es una medida preponderante que esta íntimamente relacionada con la calidad de la fruta para ser transportado a grandes distancias (Ballinger y col., 1970). Algunos investigadores han sugerido que la relación sólidos solubles acidez titulable es importante para definir las diferencias de calidad entre cultivares, otros indican que la calidad de los frutos puede ser mejorado incrementando el contenido total de azúcares y ácidos. La mejor condición para determinar el índice de madurez en una fruta es estimando la relación sólidos solubles acidez titulable, este

parámetro indica el contenido de azúcares en relación con la menor cantidad de acidez presente en la fruta (Kushman y Ballinger, 1967).

Según datos de (Ballinger y col., 1970 a, b; Ballington y col., 1984), indican que esta relación puede utilizarse para poder clasificar los frutos como destructibles e indestructibles que tiene eco hasta en el almacenamiento postcosecha.

Kushman y col., 1967, señalan que los cambios principalmente en el incremento en la relación sólidos solubles acidez titulable durante la madurez es debido a un incremento en la glucosa y la fructosa, provocando una disminución en el ácido cítrico, trabajos reportados únicamente en cultivares cosechados bajo condiciones de luz solar.

2.2 Factores que influyen en las características físicas y químicas de los frutos de arándano

2.2.1 Especie y cultivar. La variabilidad entre índices de madurez ocurre entre y dentro de las especies, esto permite seleccionar y mejorar aún los cultivares existentes; la variación en los índices de madurez esta asociada a los diferentes géneros y por el número de frutos por planta, (Cuadro 1) (Ballington y col., 1984).

CUADRO 1. Calidad de frutos en diferentes cultivares.

Especie o cultivar	Sólidos Solubles (° Brix)	Acidez Titulable (% ácido cítrico)	Relación Sólidos solubles acidez titulable
Bluecrop	7,93	1,59	2,62
Tifblue	8,64	0,98	8,73
Morrow	8,80	1,20	7,24
Croatan	8,97	1,36	5,10

Fuente: Ballington y col., 1984

2.2.2 Factores ambientales. Kähkönen y col., 2001; Kalt y col., 2000; Wang y col., 1996, 2001, señalan que el cambio de color en el fruto se atribuye a muchos factores, incluyendo madurez, genotipo o cultivar, método de cosecha y manejo, practicas culturales y factores ambientales.

Los arbustos de arándano responden al estrés ambiental por exhibir cambios distintos en la expresión de genes que confieren niveles de variación a la tolerancia a ambientes adversos. Esta es una habilidad de las plantas a aclimatarse al calor o frío y desarrollar tolerancias a momentos críticos adaptándose la planta a respuestas de calor, frío y sequía hasta un cierto límite (Bassett y col., 2006)

2.2.3 Agua. Frutos de arándano mantenidos con régimen de poco riego y condiciones normales de luz alcanzaron más rápidamente el contenido de sólidos solubles necesarios al momento de la cosecha, comparados con frutos con abundante riego (Crisosto y col., 1994). Investigaciones por estos mismos autores encontraron que tratamientos con menor cantidad de riego dio como resultado menor cantidad de agua en los frutos cosechados, aproximadamente en un 35% menos agua por fruto, y menor cantidad de sólidos solubles en el fruto (Andersen y col., 1979).

Frutos con menor cantidad de agua presentan una piel más gruesa comparado con arbustos regados, la buena disponibilidad de agua proporciona frutos de calibre grande y mejor contenido de pigmentación lo cual va relacionado igualmente con el factor luz (Kalt y col., 2001).

El uso eficiente del agua en las plantas es afectado por factores ambientales y genéticos, los frutales requieren un amplio suministro de agua en el suelo y el mayor transporte de agua se realiza principalmente a través de la transpiración, un adecuado uso del agua por la canopia de la planta da como resultado un aumento en la producción (Glenn y col., 2006).

2.2.4 Temperatura. La temperatura es un factor altamente importante para que un fruto pueda completar su tamaño y llegar a la madurez fisiológica (Medel, 1988c; Cordenunsi y col., 2002). Así mismo las heladas de invierno y las tardías a fines de invierno, modifican el largo del fruto, marcando un efecto de piel seca en los frutos.

El sombreadamiento provoca menor temperatura entre plantas y esta disminución de la temperatura esta asociada a menores rendimientos por menor floración y desarrollo de frutos (Valentini y col., 2005; Wünsche y col., 2000).

Según datos de (Ferree, 1989), encontró que una mayor tasa de fotosíntesis es máxima antes de la máxima iluminación, debido al déficit de agua en las hojas por exceso de calor en aquellas plantas sombreadas artificialmente.

2.2.5 Luz. Las mallas sombreadoras son usadas regularmente en procesos de propagación de plantas, especialmente en viveros y en diversos cultivos frutales como en manzanos, vides y duraznos (Marini y col., 1991; McArtney y col., 1999), los cuales sufren daños provocados por la excesiva y súbita exposición a la radiación solar, conocidas por el efecto golpe de sol.

Normalmente se usan mallas de color negro, pero no se ha realizado una investigación que avale las decisiones del sector productivo sobre el porcentaje de sombra y el color del material que son más apropiados para una determinada situación productiva.

Estudios realizados por (Wünsche y col., 2000), encontraron que en árboles de manzano la relación entre el área de las hojas y el rendimiento del fruto es paralelo con la intercepción de luz. Así mismo determinaron que el área de las hojas se incrementa cuando aumenta la intercepción luminosa o la disminución del rendimiento potencial porque se incrementa respectivamente el sombreadamiento entre las hojas.

La calidad e intercepción de luz esta asociada con la producción de materia seca, particionada de la siguiente forma 65% frutos, 23% hojas y 12% madera, arquitectura y raíces (Ferree, 1989).

La influencia de la luz se manifiesta en la poda de verano, investigaciones realizadas por (Morgan y col., 1984), determinaron que la poda temprana de verano en plena dormancia en árboles de manzano, la radiación aumenta considerablemente dentro de la canopia en comparación con poda tardía, dando como consecuencia un mayor rendimiento en peso por fruta.

El sombreadamiento reduce totalmente el peso de materia seca hasta en un 55% reduciendo el peso seco de la raíz y de la canopia (McArtney y col., 1999), arbustos frutales crecidos bajo condiciones de sombreadamiento pocos carbohidratos son disponibles para la formación de reservas de almacenamiento por parte de la raíz, afectando el sombreadamiento de esta forma la acumulación de sólidos solubles.

Una disminución en el área foliar como consecuencia de pocas y pequeñas hojas reduciendo la entrega de nitrógeno al desarrollo de los tejidos foliares, demostrando de esta forma que el sombreadamiento durante la estación de crecimiento reduce el desarrollo vegetativo de las plantas (Spann y col., 2003).

El desarrollo vegetativo y reproductivo se ve fuertemente influenciado por el fotoperíodo, influenciado por la tasa de asimilación neta de carbohidratos (Spann y col., 2003). El inicio de floración de los brotes son relativamente

sensibles al fotoperíodo, los arándanos florecen óptimamente con una relación fotoperíodo/temperatura de 28⁰ C y con días cortos (Medel, 1988c).

El sombreado reduce significativamente el uso eficiente del agua a causa de la intercepción del área fotosintéticamente activa por la canopia entera (Glenn y col., 2006). Así mismo el sombreado interno por excesiva área foliar reduce diariamente el uso eficiente del agua en toda la canopia por intercepción lumínica del 75% del área fotosintéticamente activa. La literatura no reporta trabajos realizados sobre el factor luz o sombra que pueden alterar o disminuir la producción en arándanos (*V. corymbosum* L).

2.3. Antocianos totales, fenoles totales y capacidad antioxidante

2.3.1 Aspectos biológicos. Las antocianinas son el grupo responsable de los colorantes naturales de las plantas, siendo los responsables de los colores brillantes naranja, rosado, rojo, violeta, azul (Cuadro 2) (Taiz y Zeiger, 2002).

En trabajos realizados por (Kähkönen y col., 1999), encontraron claramente que frutos de colores intensos tuvieron el mayor contenido de fenoles en la piel, frutos obtenidos bajo condiciones normales de luz solar.

CUADRO 2. Color y distribución de las mayores antocianinas en arándano.

Compuesto	Color
Delfinidina	Rojo azulado
Malvidina	Rojo azulado

Fuente: Wang y col., 1997, 2001

Los antocianos son una clase de pigmentos rojos naturales que pueden encontrarse como una alternativa de colorantes sintéticos en muchas aplicaciones (Hong y Wrolstad, 1990; Prior y col., 2001; Wang y col., 1997).

En cada 100 gramos de fruta de arándano se reportan los siguientes compuestos que actúan como tales: betacaroteno (0,04 mg), vitamina C (13 mg), Vitamina E (1 mg), Vitamina A (10 equivalentes retinol); antocianinas y fenoles, ácido elágico y ácido fólico (6 mg) (Prior y col., 1998).

Las plantas producen una gran variedad de productos secundarios entre ellos los grupos fenólicos, un grupo hidroxilo con un anillo aromático. Estas sustancias son clasificadas como compuestos fenólicos, estos son compuestos químicamente heterogéneos de aproximadamente 10.000 compuestos individuales algunos son solubles solamente en solventes orgánicos (Prior y col., 1998).

Los fenoles son metabolitos secundarios que juegan un importante rol en la planta que actúan como mecanismos de defensa (Asami y col., 2003); además

el beneficio reportado para la salud humana especialmente en la prevención de enfermedades degenerativas, potenciado en la dieta el consumo de frutas que impiden la acumulación de radicales libres que causan daño oxidativo a lípidos, proteínas y ácidos nucleicos, asociados a enfermedades cancerígenas, cardiovasculares y neurodegenerativas (Ehlenfeldt y Prior, 2001;).

Los frutos contienen numerosos y diferentes compuestos químicos con diferentes capacidades y propiedades biológicas y farmacológicas. Entre los fitoquímicos antioxidantes más comunes se incluyen el ácido ascórbico (vitamina C), tocoferoles y tocotrienoles (vitamina E), carotenoides (provitamina A) y compuestos fenólicos, tales como ácidos fenólicos y flavonoides (flavones, isoflavones, flavonones, y antocianinas) (Cao y col., 1996; Cordenunsi y col., 2002; Ehlenfeldt y col., 2001; Prior y col., 1998; Halvorsen y col., 2001; Hertog y col., 1993; Wang y col., 1996 – 1997; Zheng y col., 2003).

Por las razones anteriores hay un interés creciente que ha desencadenado una intensa investigación en el campo de las ciencias agronómicas y alimenticias. Estudios están orientados a determinar el contenido total de fenoles y antocianos de muchas frutas entre ellas arándano, y de que forma estos pueden ser mejorados a través del desarrollo de cultivares, prácticas de producción, almacenaje postcosecha y procesamiento (Larson, 1988; Ehlenfeldt y col., 2001; Moure y col., 2001).

Los frutos de arándano son una de las fuentes más importante de compuestos fenólicos y de antocianos en la dieta alimenticia, los compuestos

fenólicos tienen numerosas defensas en las plantas contra varios factores ambientales tales como: la luz, temperatura, humedad y factores internos; incluyendo diferencias genéticas, nutricionales y hormonales (Kähkönen y col., 2001).

2.3.2 Antocianos totales y fenoles totales en especies arbustivas frutales.

El contenido de fenoles totales y antocianinas totales varía de una especie a otra, según datos de (Fukumoto y Mazza, 2000), en un experimento demostraron que los arándanos presentan mayor cantidad de fenoles y antocianos totales en comparación con otros frutos, experimentos realizados bajo condiciones normales de luz (Cuadro 3).

El contenido total de fenoles y antocianinas en arándano es cuatro veces mayor que en fresas, uvas rojas y frambueso (Ehlenfeldt y col., 2001; Heinonen y col., 1998; Kalt y col., 1999).

CUADRO 3. Contenido de fenoles y antocianinas de tres tipos de fruto (mg/100g).

Propiedad	Zarzamora	Grosellero Negro	Arándano
Fenoles totales	383	347	393
Antocianinas	149	213	233

Fuente: Fukumoto y Mazza, 2000

Los antocianos juegan un rol importante en la defensa del organismo contra especies oxígeno activo que son los productos dañinos generados durante

la normal respiración aeróbica de las células. La complejidad y diversidad química de los antocianos hace difícil cuantificarlos de manera individual en los tejidos vegetales, por lo que es recomendable utilizar métodos sencillos para determinar el contenido de antocianos en los extractos vegetales, aunque no es indispensable conocer su cantidad por antocianinas individuales sino más bien el contenido total de las mismas (Boxin y col., 2002; Ehlenfeldt y col., 2001).

Los fitoquímicos responsables de la capacidad antioxidante en berries son las antocianinas y otros como los flavonoides (Prior y col., 1998), la mayoría de antocianinas son concentrados en la piel del fruto (Connor y col., 2002 b; Ehlenfeldt y col., 2001). Estos mismos autores indican que un significativo efecto en el contenido de antocianinas en el fruto se debe especialmente al tamaño del fruto, por la superficie de la relación área volumen. La mayoría de berries contienen gran cantidad de antocianos que en su estructura son dependientes al pH del fruto (Nyman y Kumpulainen, 2001).

2.3.3 Antocianos totales, fenoles totales y capacidad antioxidante en arándano. Los fenoles y antocianinas están fuertemente correlacionados con la capacidad antioxidante (Kalt y col., 1999; Merken y Beecher, 2000); La capacidad antioxidante es mayor cuando la cosecha del fruto se realiza en estación temprana, disminuyendo en cosecha tardía y condiciones normales de luz (Kushmann y col., 1975).

Parte de la capacidad antioxidante en la mayoría de frutos, incluyendo arándanos pueden ser los flavonoides. Este grupo fenólico de bajo peso

molecular se encuentra ampliamente distribuido en gran variedad de frutas y vegetales (Wang y col., 1996). Un incremento en el pH modifica la estructura base de las antocianinas modificando el color del fruto (Nyman y Kumpulainen, 2001).

El cultivar Elliot presenta altos valores de contenidos totales de antocianinas en los tejidos foliares (Cuadro 4) (Ehlenfeldt y col., 2001). En trabajos realizados por (Prior y col., 1998) determinaron que la quebradura de la piel del fruto se debe a la baja concentración de antocianinas totales, excesos de temperatura y luz solar.

CUADRO 4. Contenido de antocianinas en el fruto de arándano.

Antocianina	Contenido (%)
Delfinidina	35
Cyanidina	36
Petunidina	14
Peonidina	5
Malvidina	10
En menor cantidad	
Cyanidina-3-glucosa	
Cyanidina-3-galactosa	
Pelargodina	
Peonidina	

Fuente: Hong y col., 1990 ; Nyman y Kumpulainen, 2001; Wang y col., 1997

En trabajos de (Ehlenfeldt y Prior, 2001), encontraron niveles significativos de compuestos fenólicos en las hojas de arándano, variando estos compuestos entre cultivares en un rango de 245 TE/g a 971 TE/g. La gran diversidad de compuestos fenólicos (Cuadro 5) que contiene el fruto de arándano varía de acuerdo a las condiciones de manejo agronómico.

CUADRO 5. Contenido de fenoles en el fruto de arándano.

Fenoles	*TE/g de compuesto
Flavonoles	
Myricetina	500 – 1000
Quercetina	200 – 300
Rutina	500 – 1000
Kaempferol	> 4000
Flavonones	
Naringenina	> 4000
Vitamina C	532

Fuente: Fukumoto y Mazza, 2000; Häkkinen y col., 1999; *Trolox Equivalente

2.4 Factores que influyen en el contenido de antocianos totales, fenoles totales y capacidad antioxidante en arándano

2.4.1 Especie y cultivar. Investigaciones han demostrado la gran variabilidad genética entre clones de arándano, (Ehlenfeldt y Prior, 2001), determinando hasta una diferencia del 36% en el contenido de compuestos fenólicos en el

fruto, variando entre cultivares, de mayor a menor: Elliot > Darrow > Bluecrop > Little Giant > Rabbiteye, todos estos cultivares fueron mantenidos en las mismas condiciones de luz y temperatura.

Diferencias genéticas entre cultivares con respecto al contenido de antioxidantes en las hojas, los niveles se comportaron diferentes encontrando mayor cantidad de antocianinas en el cultivar Little Giant en comparación con los mencionados anteriormente (Ehlenfeldt y Prior, 2001), así mismo llegaron a la conclusión que el contenido de fenoles y antocianinas esta controlado por la acción de un gen, que puede aumentar o disminuir el contenido de estos compuestos entre cultivares.

Trabajos realizados por (Kalt y col., 2001), muestran que cultivares de lowbush presentan mayores niveles de antocianinas y fenoles totales que cultivares de highbush. Diferentes estudios han determinado que la concentración de antocianinas y fenoles totales difiere entre muestras de arándano (Cao y col., 1996; Wang y col., 1997). En el mismo sentido, (Gao y Mazza, 2000) encontraron variaciones evidentes en el contenido de antocianinas entre especies de arándano, por ejemplo para arándano alto entre 25 a 50 mg/100 g; para arándano ojo de conejo entre 210 a 272 mg/100 g, para arándano bajo entre 150 y 200 mg/100 g. Dentro de la misma especie de *Vaccinium corymbosum* L el contenido total de antocianinas varia entre plantas y cultivares, de acuerdo al método de extracción (Cuadro 6) (Moyer y col., 2002; Prior y col., 1998).

CUADRO 6. Valores de capacidad antioxidante de diferentes cultivares de arándano en diferentes métodos.

Genotipo	THP (mg/100g)	ORAC (μ MolTE/g)	FRAP (μ Mol/g)
Bluecrop	304	50	34,4
Brigitta	246	18,6	18,5
Duke	274	32,6	42,3
Rubel	435	49,6	74,6
Elliot	350	55,1	78,3

Fuente: Moyer y col., 2002

2.4.2 Madurez. El contenido de antocianos difiere entre los estados de madurez, desde frutos blancos hasta 100% azules, aunque este contenido de antocianos difiere entre cultivares (Ballinger y col., 1970 a; Kalt y col., 2003). Estos mismo autores señalan que el contenido total de fenoles disminuye cuando el fruto llega a la madurez, mientras el contenido de antocianinas incrementa sustancialmente (Cuadro 7) (Moyer y col., 2002; Kalt y col., 2003).

CUADRO 7. Contenido total de antocianinas y fenoles de frutos de arándano cosechados en diferentes estados de madurez.

Cultivar	Parámetro	Estados de madurez					
		Blanco	Rosado	5 a 50% azul	50 a 95% azul	100% azul	Maduro
Brigita	Antocianinas	0,016	0,122	1,59	7,81	7,41	8,19
Bluegold		0,045	0,460	2,72	7,37	8,38	9,23
Nelson		0,030	0,075	1,63	5,51	8,67	8,45
Brigita	Fenoles	15,7	18,7	12,5	13,5	10,9	11,7
Bluegold		23,9	20,0	26,8	28,0	18,5	19,6
Nelson		24,5	22,5	20,2	23,1	18,7	14,1

Fuente: Kalt y col., 2003.

Durante la madurez la concentración de antocianinas derivada en los frutos generalmente disminuye, aunque el contenido incrementa con el tamaño del fruto y cuando las temperaturas aumentan un cierto rango del normal del lugar de cosecha (Kalt y col., 2003).

Connor y col., 2002; Kalt y col., 1996, indican que los intervalos de cosecha con respecto al contenido total de fenoles varía muy ligeramente con respecto al contenido total de antocianinas. Estos mismos autores señalan que uno de los mejores cultivares con gran cantidad de antocianinas y fenoles totales

es el cultivar Elliot, cultivar que no se ve afectado en intervalos de madurez, (Cuadro 8).

CUADRO 8. Valores medios para la actividad antioxidante, contenido de antocianinas totales y fenoles totales en el cultivar Elliot, determinado por el tiempo de cosecha.

Madurez en la planta	Madurez del fruto	Actividad antioxidante (μmolTEg^{-1})	Contenido total de fenoles (mg)	Contenido total de antocianinas (mg)
	50 – 75% azul	6,6	300	9
30 – 40%	>75 < 100% azul	12,1	462	143
	100% azul	14,3	515	191
	50 – 75% azul	5,6	285	3
60 – 80%	>75 < 100% azul	8,8	362	79
	100% azul	16,8	596	239

Fuente: Connor y col., 2002 a.

La diferencia en la actividad antioxidante se registra principalmente en la madurez del fruto en la cosecha (Connor y col., 2002 a, b; Kalt y col., 1996).

Las diferencias en la madurez afecta el contenido de fenoles, siendo usualmente alto en frutos jóvenes que en frutos sobre maduros, con excepción

el contenido de antocianinas que generalmente se acumula durante la madurez de frutos coloreados dependiendo de la temperatura y localidad en donde son plantados (Kähkönen y col., 1999, 2001; Prior y col., 1998).

2.4.3 Temperatura. El efecto de la temperatura en el crecimiento durante el día y la noche en la actividad antioxidante afecta significativamente el contenido de antocianos totales del fruto. En trabajos realizados demuestran que frutos crecidos bajo altas temperaturas mejora significativamente la capacidad antioxidante que frutos crecidos en días fríos (Kähkönen y col., 2001; Kalt y col., 2000; Wang y col., 1996, 2001).

El color del fruto se ve afectado cuando el cultivo crece a altas temperaturas, este parámetro se incrementa rápidamente que a menor temperatura; arbustos frutales crecidos a altas temperaturas cambian significativamente el contenido de flavones, y el incremento en estos compuestos fenólicos aumenta la actividad antioxidante (Wang y Zheng, 2001). Estos mismo autores señalan que frutos crecidos bajo condiciones de altas temperaturas han significado incrementos relativos de compuestos fenólicos, entre ellos el contenido de flavonoides, pero no obteniendo de esta forma buena calidad del fruto.

Trabajos reportados por (Hall y col., 1970; Kalt y col., 1999; Kähkönen y col., 2001), indican que los mayores incrementos en el contenido de antocianinas ocurren a bajas temperaturas, siendo la temperatura óptima $20^{\circ} - 28^{\circ} \text{ C}$. La temperatura del fruto cerca de 38° C , muestra una elevada concentración de

antocianinas en la piel; variando de esta forma la firmeza del fruto (Ballinger y col., 1973).

2.4.4 Luz. Fukumoto y Mazza, 2000; Kalt y col., 2001; Kähkönen y col., 2001, indican que el contenido de antocianinas en los frutos varía en relación a la radiación solar y al número de horas luz.

El sombreado con malla negra de polipropileno colocada en dos estados de crecimiento del fruto afectó el rendimiento y la cualidad del fruto de uva de mesa (Marini y col., 1991). A la vez determinaron que el rendimiento de los frutos está influenciado por el número de frutos en la rama, afectándose por el sombreado especialmente en un período de 0 a 44 días antes de la cosecha. Encontrando frutos de menor tamaño asociados con la menor tasa de translocación de foto asimilados variando de esta forma la firmeza del fruto. El período de sombreado es importante para determinar algunos componentes químicos en el desarrollo de la fruta.

La instalación de mallas de sombra sobre arbustos frutales que son plantados en zonas con temperaturas elevadas durante varias horas del día, ha provocado menor cantidad de antocianos en respuesta a menor cantidad de luz recibida por el follaje (uva) (Ferree, 1989). Además, es importante clasificar los diversos genotipos de acuerdo a su sensibilidad al estrés hídrico provocado por la excesiva radiación (Wünsche, 2000; Maust y col., 2000); estos mismos autores indican que si la cantidad de radiación disponible para las plantas disminuye la

tasa de asimilación de CO₂ que está limitada por las reservas de carbohidratos por el suministro de luz y reducirá la productividad de materia seca por planta.

Algunos factores asociados con el incremento de antocianinas se encuentra el momento de la cosecha; por ejemplo en experimentos realizados se ha encontrado que cultivares de *Vaccinium virgatum* Reade cosechados tardíamente demostraron una alta capacidad antioxidante comparada con los frutos cosechados tempranamente ambos tratamientos fueron mantenidos bajo regimenes de luz solar (Bilyk y col., 1986; Connor y col., 2002 b; Moyer y col., 2002). Estos mismos autores aluden este cambio en las antocianinas por la cantidad de luz que reciben los arbustos entre pleno verano e inicio de otoño.

3 MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Ubicación del ensayo.

El ensayo se llevó a cabo en la Sucesión Agrícola Luis Alessandrini Grez Limitada, ubicada en Pelchuquín, a 32 kilómetros al norte de la ciudad de Valdivia a latitud 39° 32' Sur y Longitud 72° 56' Oeste

3.2 Material vegetal y manejo

El material vegetal utilizado corresponde a arándano alto cv. Elliot (*Vaccinium corymbosum* L.) de 14 años de edad, con un marco de plantación de 1,00 X 3,00 m con una densidad de 3.333 plantas/ha..

Las plantas se han cultivado en condiciones agronómicas de fertilización, riego, manejo de malezas, plagas y enfermedades. Además cuenta con manejos de buenas prácticas agrícolas y fruta exclusivamente para exportación en fresco.

Parte importante del huerto es manejado bajo mallaje de sombra con malla Rashell (22 X 14 hilos/pulgada²) de color negro, con una intercepción de luz del 50% y otra parte sin mallaje.

En sectores homogéneos del huerto y bajo las condiciones de luz y sombra, se eligieron entre 6 y 12 plantas al azar representativas de ambos sectores para realizar el estudio correspondiente.

3.3 Muestreos y cosechas.

La fruta se cosechó semanalmente a partir del 26 de enero hasta el 30 de marzo de 2007 con un total de 10 muestreos. Como índice de cosecha se utilizó el color de cubrimiento del fruto el cual era completamente azul.

Los frutos fueron cosechados en cestos de 125 gramos; la temperatura del huerto se registró cada 15 minutos con sensores registradores de temperatura, así mismo se registró la temperatura de pulpa (termómetro de pulpa) a una muestra de 10 frutos por tratamiento (luz y sombra), también se registró en cada cosecha el estado fenológico de madurez expresado en porcentaje (%).

3.4 Procesamiento de las muestras

La fruta cosechada se trasladó de inmediato al Laboratorio de Fitoquímica de la Universidad Austral de Chile. Las medidas para las características físicas se realizaron el mismo día de cosecha y con respecto a las características químicas, las muestras fueron congeladas a -25°C . por 24 horas.

3.5 Observaciones y medidas

Se observó y midió el desarrollo fenológico de los frutos de cada arbusto, además, se midieron aspectos físicos y químicos de los frutos como: peso, forma, sólidos solubles, pH, acidez titulable, antocianos totales, fenoles totales y capacidad antioxidante. Asimismo se registraron medidas adicionales del desarrollo vegetativo en cada tratamiento (altura, ancho y longitud entre y sobre la línea de arbustos y peso seco).

3.5.1 Desarrollo fenológico de frutos. En cada una de las cosechas se registró el porcentaje de fruta madura (Cuadro 9).

CUADRO 9. Desarrollo fenológico de frutos (expresado en %) en cada una de las cosechas.

	Fechas de cosecha									
Tratamiento	26.0	02.0	09.0	16.0	23.0	02.0	09.0	16.0	23.0	30.0
	1	2	2	2	2	3	3	3	3	3
Sombra	2	5	10	15	25	35	50	65	80	100
Luz	15	25	30	40	50	65	75	85	100	0

3.5.2 Características físicas de los frutos

3.5.2.1. Peso. Para cada uno de los frutos se registró el peso. Los resultados del peso de los frutos se expresaron en gramos (g).

3.5.2.2 Forma del fruto. Se midió el diámetro ecuatorial y polar de los frutos, con pie de metro digital. El indicador para forma se obtuvo al dividir el diámetro ecuatorial por el diámetro polar. Un valor cercano a 1 señala un fruto de forma esférica. Si el valor es mayor y distinto de 1 indica una baya de forma achatada.

3.5.3 Características químicas de los frutos

3.5.3.1 Sólidos solubles. Los sólidos solubles se determinaron con refractómetro manual, marca AO Scientific Instruments, modelo 10430, autocompensado para 20° C. en una o dos gotas del jugo de 50 g de frutos. El resultado se expresó como porcentaje (%) de sólidos solubles.

3.5.3.2 pH. El pH se midió con un pH-metro con jugo sin diluir obtenido de 50 g de frutos.

3.5.3.3 Acidez titulable. La acidez titulable se determinó por valoración potenciométrica con NaOH 0,1 N hasta pH 8,1 (AOAC, 2000), en 10 ml de jugo de fruta diluido en 150 mL. de agua desionizada y se expresó como porcentaje (%) de ácido cítrico.

3.5.3.4 Relación sólidos solubles acidez titulable. Se obtiene un indicador que es el cociente entre sólidos solubles (%) y ácido cítrico (%).

3.5.3.5 Determinación de antocianos totales. El método utilizado como referencia ha sido utilizado por diversos autores para extraer antioxidantes en variadas frutas y vegetales (Prior y col., 1998; Ehlenfeldt y col., 2001; Connor y col., 2002 b)

Se preparó una muestra con 2,5 g de fruta. Esta fruta fue homogenizada por maceración agregando 5,0 mL de agua. Este homogeneizado fue centrifugado a 3500 rpm por 15 minutos para obtener la fracción de jugo.

La pulpa o fracción insoluble obtenida fue tratada con 20 mL de solución de etanol al 80%, luego se centrifugó dos veces (10 mL/cada vez) a 3500 rpm por 15 minutos y se separó la fracción de jugo mezclándolo con lo obtenido anteriormente.

El contenido total de antocianinas del extracto diluido de frutas, se estimó por el método de pH diferencial utilizado por diversos autores (Prior y col., 1998; Ehlenfeldt y Prior, 2001; Moyer y col., 2002).

Se preparó un buffer a pH 1,00 de Cloruro de Potasio (0,025 M) y otro a pH 4,5 de Acetato de Sodio (0,4 M), en dos tubos cada uno con 500 µL del extracto se agregó 4,5 mL de los buffer respectivos. Se tomaron lecturas de absorbancia en un espectrofotómetro UV-visible a 510 y 700 nm y se utilizó la fórmula (1) para obtener la absorbancia.

$$(1) \quad A = (A_{510} - A_{700}) \text{ pH } 1 - (A_{510} - A_{700}) \text{ pH } 4.5$$

Para obtener el contenido de antocianinas se utilizó la formula 2:

$$(2) \quad AT = A * 1000 * PM * FD / E * L$$

A = Absorbancia

PM = Peso molecular para cianidina 3 glucósido (449,2)

FD = Factor de dilución (10)

E = Absortibilidad molar para cianidina 3 glucósido (26900)

L = Longitud de la celda (1)

Los datos se expresaran como mg de cianidina /100 g de peso fresco.

3.5.3.6 Determinación de fenoles totales. La concentración de fenoles totales en el extracto diluido de fruta fue medida por el procedimiento colorimétrico de Folin-Ciocalteu, que se basa en la formación de un complejo azul de molibdeno-tungsteno que ha sido utilizado en diferentes especies (Sapers y col., 1984; Prior y col., 1998; Kalt y col., 1999).

En un frasco se agregó 250 μL del extracto, el que fue mezclado con 1.250 μL del reactivo Folin-Ciocalteu y mantenido por 5 minutos a temperatura de laboratorio. Luego se agregó 1.250 μL de solución de carbonato de sodio al 15%. La solución se mezcló y fue mantenida durante 2 horas en condiciones de reposo.

Para evaluar la concentración de fenoles totales se usó un espectrofotómetro UV-visible, marca MILTON ROY modelo MILTON ROY 3000 Array, que fue monitoreado a 765 nm. El contenido total de fenoles se expresó como mg de equivalente ácido gálico /100 g peso fresco.

3.5.3.6 Capacidad antioxidante. Para la valoración de la capacidad antioxidante total se utilizó la metodología propuesta por varios autores (Ancos y col., 2000; Fukumoto y Mazza, 2000; Zheng y col., 2003, García y col., 2006). Se realizó una curva de calibrado con Fe II ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) en solución acuosa/metanol con concentraciones entre 100 – 200 $\mu\text{mol/L}$, se midió la absorbancia a 595 nm y a 37⁰ C por 4 minutos de reacción. 900 μL de disolución FRAP (buffer acetato, pH 3,6: TPTZ (2,4,6 – Tripiridil – 1,3,5 - Triazina) 10

mM, en HCL 40 mM: FeCl, 20 mM) se mezcló con 90 μ L de agua y 30 μ L del extracto de la muestra. Los valores de capacidad antioxidante se reportaron como mmol/100 g de muestra fresca.

3.5.4 Desarrollo vegetativo. Al finalizar la temporada frutícola se realizó una observación del desarrollo vegetativo para ambos tratamientos (luz y sombra). Todas las medidas de altura y ancho de planta se realizaron utilizando cinta métrica.

3.5.4.1 Altura del arbusto. Se midió la altura de cada planta en cada tratamiento. El resultado se expresó en metros (m).

3.5.4.2 Ancho y longitud entre línea y sobre la línea (proyección horizontal de copa). Se registró el ancho y longitud entre y sobre la línea, es decir, la proyección horizontal en la entrelínea de cada planta para cada tratamiento. El resultado fue expresado en metros (m).

3.5.4.3. Peso seco. Se registró el peso seco de hojas y brotes de la temporada en cada tratamiento. El resultado fue expresado como gramos (g)

3.6 Diseño experimental y tratamiento estadístico de los datos

Se utilizó el diseño experimental tipo factorial con dos factores (luz y sombra y fechas de cosecha) y 10 niveles cada uno. El marco de unidades experimentales por repetición de los tratamientos fue de seis con un total de 120 unidades muestreadas.

Previo al análisis de varianza los datos expresados en porcentaje (%) fueron transformados utilizando $\text{asen}\sqrt{x}/100$. Previa comparación de los supuestos de distribución normal y homogeneidad de varianzas (Morales, 2005).

El tratamiento estadístico consistió en un análisis de varianza (ANOVA) y una comparación de medias a través de la prueba de Tukey, considerando como significativos valores diferentes de $p \leq 0,05$. El análisis y las pruebas estadísticas se realizaron a través del programa computacional Stargraphics 5.1.

4 PRESENTACION Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. Efectos del mallaje de sombra sobre las características físicas de los frutos.

4.1.1. Peso y forma del fruto. Las características físicas evaluadas entre tratamientos se aprecian en el cuadro 10. Se nota diferencias significativas en el estimador peso, presentando mayor peso los frutos cosechados bajo el sistema de malla Rashell.

CUADRO 10. Características físicas de frutos de arándanos cv. Elliot bajo luz y sombreados con malla Rashell 50%

Tratamientos	Peso (g)	Forma (Øe./Øp)*
Luz	1,65 b	1,44 a
Sombra	1,79 a	1,43 a

Letras distintas en las columnas indican diferencia estadísticamente significativa según test de Tukey $P \leq 0,05$. *(diámetro ecuatorial/diámetro polar)

Datos similares fueron obtenidos por (Díaz y García, 2002; Ehlenfeldt y col., 2001; Kalt y col., 1996, 2003), quienes obtuvieron un peso de fruto entre 1,29 g a 1,95g de una serie de cultivares cosechados bajo condiciones normales de luz. A conocimiento de los autores, en arándanos no se encontró reportes que evalúen el peso del fruto cosechado bajo sombreadamiento, como si ocurre en otras especies frutícolas tales como uva, manzano, etc.

La diferencia significativa en peso, se debió principalmente por efecto del diferencial de temperatura entre tratamientos (Figura 1a y 1b).

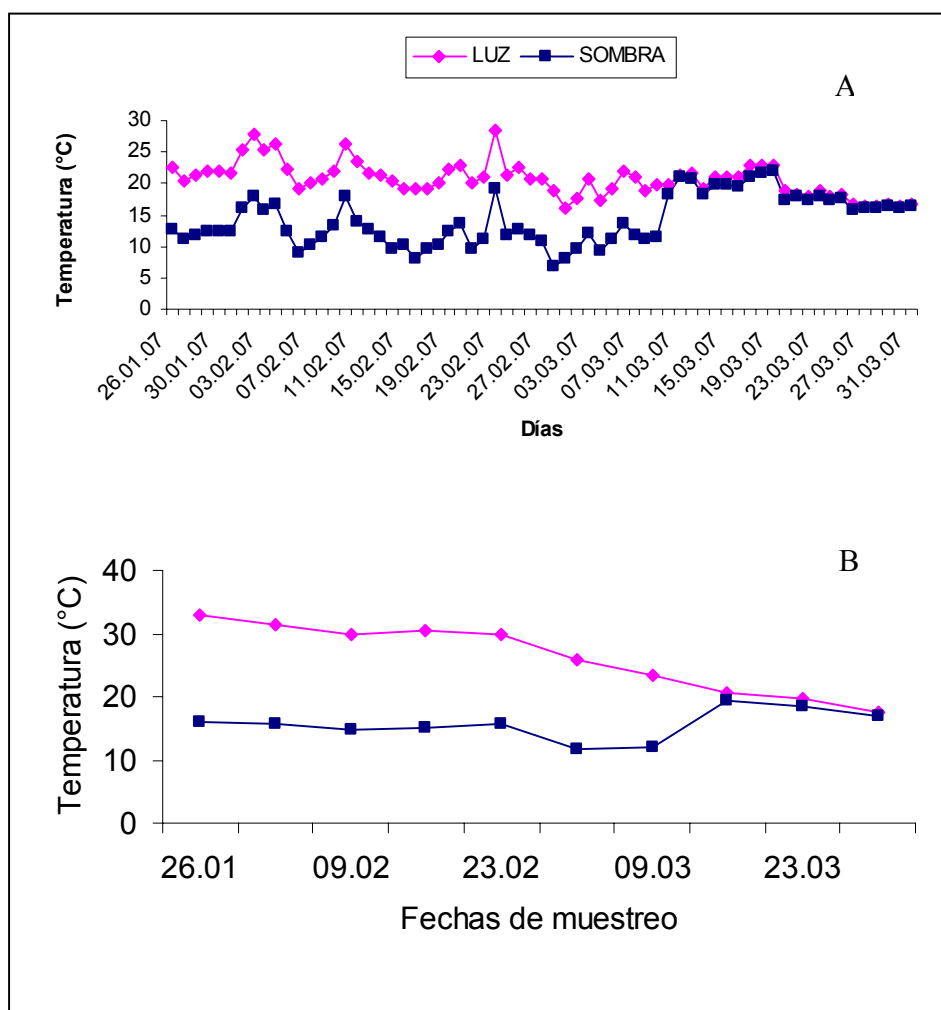


FIGURA 1. Temperatura registrada durante el ensayo. **A.** temperatura ambiente entre tratamientos, **B.** temperatura interna de frutos durante las fechas de cosecha. (El mallaje de sombra fue retirado en la séptima cosecha 09/03/2007)

Frutos cultivados bajo luz solar tienden a perder agua por someter la planta a estrés hídrico, donde el agua posiblemente es traslocada desde los frutos al resto de la planta. Esta diferencia se marca específicamente en la quinta cosecha (Figura 2), en ella se registró la mayor temperatura ambiental e interna de los frutos: luz solar 32° C y bajo malla Rashell 15,9° C, (Figura 1a y 1b).

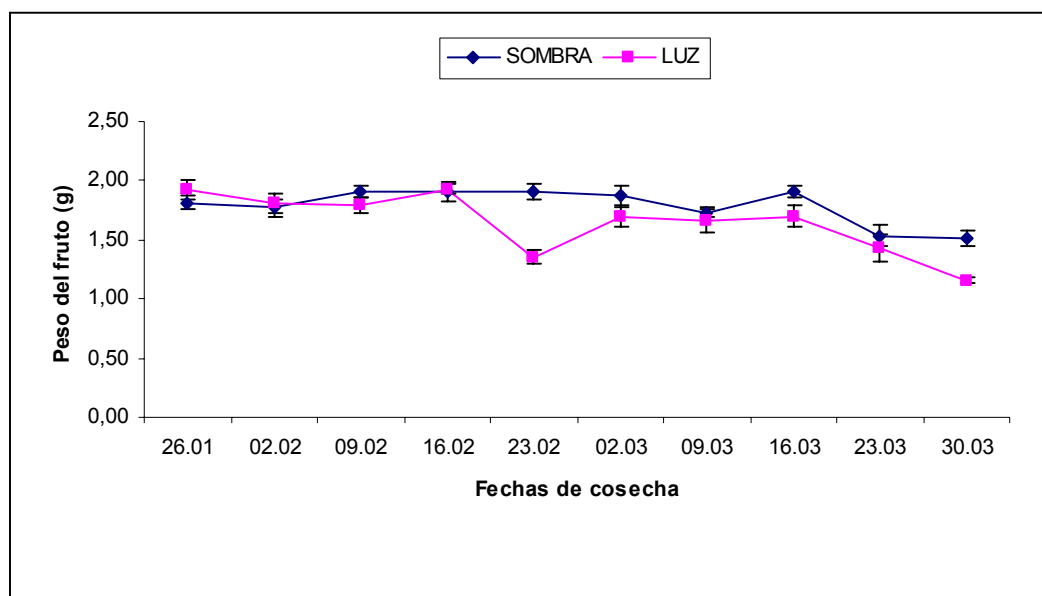


FIGURA 2. Peso de frutos en los distintos tratamientos y fechas de cosecha. (Las barras indican el error estándar)

Lo anterior apoya la observación en campo, al notar que en horas de mayor temperatura los frutos bajo luz solar presentaban pérdida de agua por goteo a través del pedicelo, siendo estos frutos más frágiles y con menor peso.

Esta pérdida de agua que se traduce en peso, se debe a que los frutos en plena madurez están compuestos aproximadamente del 90% de agua acumulada en las vacuolas (Ehlenfeldt y col., 2001).

La forma de los frutos no se afecta por efecto del mallaje de sombra, quizá por ser esta una característica genética de los cultivares (Ballington y col., 1984; Darnell y col., 1996; Prior y col., 1998).

4.2 Efectos del mallaje de sombra sobre las características químicas de los frutos.

Entre las características químicas evaluadas figuran: índices de madurez, metabolitos secundarios (antocianos y fenoles totales) y capacidad antioxidante.

4.2.1. Índices de madurez. El índice de madurez que presentó diferencia entre tratamientos fueron los sólidos solubles, presentando un menor contenido los frutos cosechados bajo sombreado con malla Rashell (Cuadro 11).

CUADRO 11. Índices de madurez de frutos de arándano cv. Elliot bajo luz y sombreados con malla Rashell 50%

Tratamientos	Sólidos Solubles		Acidez Titulable (g ácido cítrico)	Relación SS/AT*
	(°Brix)	pH		
Luz	10,40 a	2,90 a	1,49 a	7,59 a
Sombra	9,37 b	2,90 a	1,43 a	7,19 a

Letras distintas en las columnas indican diferencia estadísticamente significativa según test de Tukey $P \leq 0,05$. (*Relación sólidos solubles acidez titulable)

Trabajos realizados por (Ballinger y col., 1970 a; Ballington y col., 1984; Kalt y col., 1996; Kushmann y col., 1975; Zheng y col., 2003), reportan datos de sólidos solubles de 11° a 13° Brix, en frutos maduros de diversos cultivares, localidades y épocas de cosecha bajo condiciones normales de campo.

La diferencia de los sólidos solubles entre tratamientos se dio por el sistema utilizado para el retraso de la madurez. La utilización de malla Rashell tiene una marcada diferencia de temperatura entre tratamientos (Figura 1a y 1b). Este diferencial de temperatura marcó una diferencia significativa durante toda la fase experimental en la acumulación de sólidos solubles de los frutos (Figura 3.).

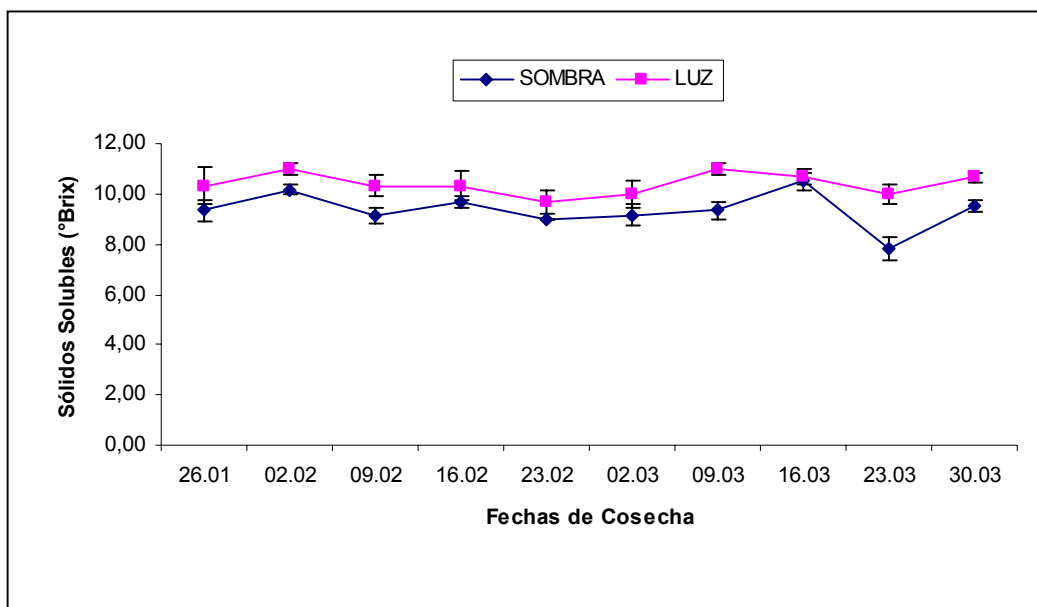


FIGURA 3. Sólidos solubles de frutos de arándano en los distintos tratamientos y fechas de cosecha (Las barras indican el error estándar)

Esta diferencia de temperatura acelera la producción de azúcar en aquellos frutos cosechados bajo luz solar. Un aumento de temperatura hace más rápida la velocidad de reacción química en los frutos y en todos los procesos fisiológicos (Daubenmire, 2001; Fitter, 2002; Lambers y col., 1998; Taiz y Zeiger, 2002).

La diferencia entre tratamientos, además puede explicarse debido a que la síntesis de azúcares y almidón son estimulados por luz y temperatura como una reacción en los cloroplastos y citosol, para sintetizar este compuesto y ser trasladado a los frutos. Este proceso se realiza a una tasa más baja en condiciones de bajas temperaturas y luminosidad (Fitter, 2002; Lambers y col., 1998; Taiz y Zeiger, 2002).

Los índices de madurez que no se ven afectados por efecto del mallaje de sombra son el pH, acidez titulable y la relación sólidos solubles acidez titulable, siendo este último un estimador importante desde el punto de vista de la palatabilidad, especialmente para frutas exportadas a Estados Unidos de Norte América, siendo entre tratamientos la misma calidad exportable.

Ballinger y col., 1970; Galleta y col., 1971, señalan que por lo general estos índices de madurez no se modifican por algún tipo de estrés al que es sometida la planta.

4.2.2 Antocianos totales. La diferencia significativa en los antocianos totales se marco únicamente en la pulpa de los frutos, presentando menor contenido los frutos cosechados bajo sombreado con malla Rashell (Cuadro 12).

CUADRO 12. Contenido de antocianos totales de frutos de arándano cv. Elliot bajo luz y sombreados con malla Rashell 50%

Tratamientos	Antocianinas totales (mg cianidina-3-glucósido/100 g peso fresco)		
	Pulpa	Piel	Fruto total
Luz	21,21 a	500,50 a	521,71 a
Sombra	14,75 b	493,86 a	508,61 a

Letras distintas en las columnas indican diferencia estadísticamente significativa según test de Tukey $P \leq 0,05$

Kalt y col., 1999, 2003; Prior y col., 1998; Wang y col., 1997, informan datos promedios de 93 hasta 495mg/100g de peso fresco para el contenido de

antocianos totales en diversos cultivares de arándano y en condiciones normales de campo.

La cantidad de antocianos totales en los frutos está determinada por los factores luz y temperatura, ambos activan la velocidad de producción de azúcares generando mayor cantidad de antocianos en los frutos, (Daubenmire, 2001; Larcher, 2003; Taiz y Zeiger, 2002).

La mayor cantidad de antocianos totales en la pulpa de frutos cosechados bajo luz solar, se debe a que la síntesis de antocianos se inicia en la pulpa de los frutos como efecto de una mayor síntesis de azúcar (Cuadro 12) que posteriormente será traslocado a la piel del fruto conforme este alcanza la madurez hortícola, que servirá como protección contra condiciones adversas (Dixon y Paiva, 1995).

Los antocianos totales en el total del fruto no se modifican como efecto del mallaje de sombra, dado que la piel del fruto aporta el 96% de antocianos.

La no significancia entre tratamientos para el total del fruto esta asociado que a partir de la séptima fecha de cosecha fue retirada la malla Rashell sobre los arbustos, los cuales sombreados con anterioridad, tuvieron que responder de forma inmediata al estrés de luz y temperatura al que fueron sometidas durante la última fase productiva, llegando aún a producir más antocianos que los frutos mantenidos bajo luz solar (Figura 4b y 4c).

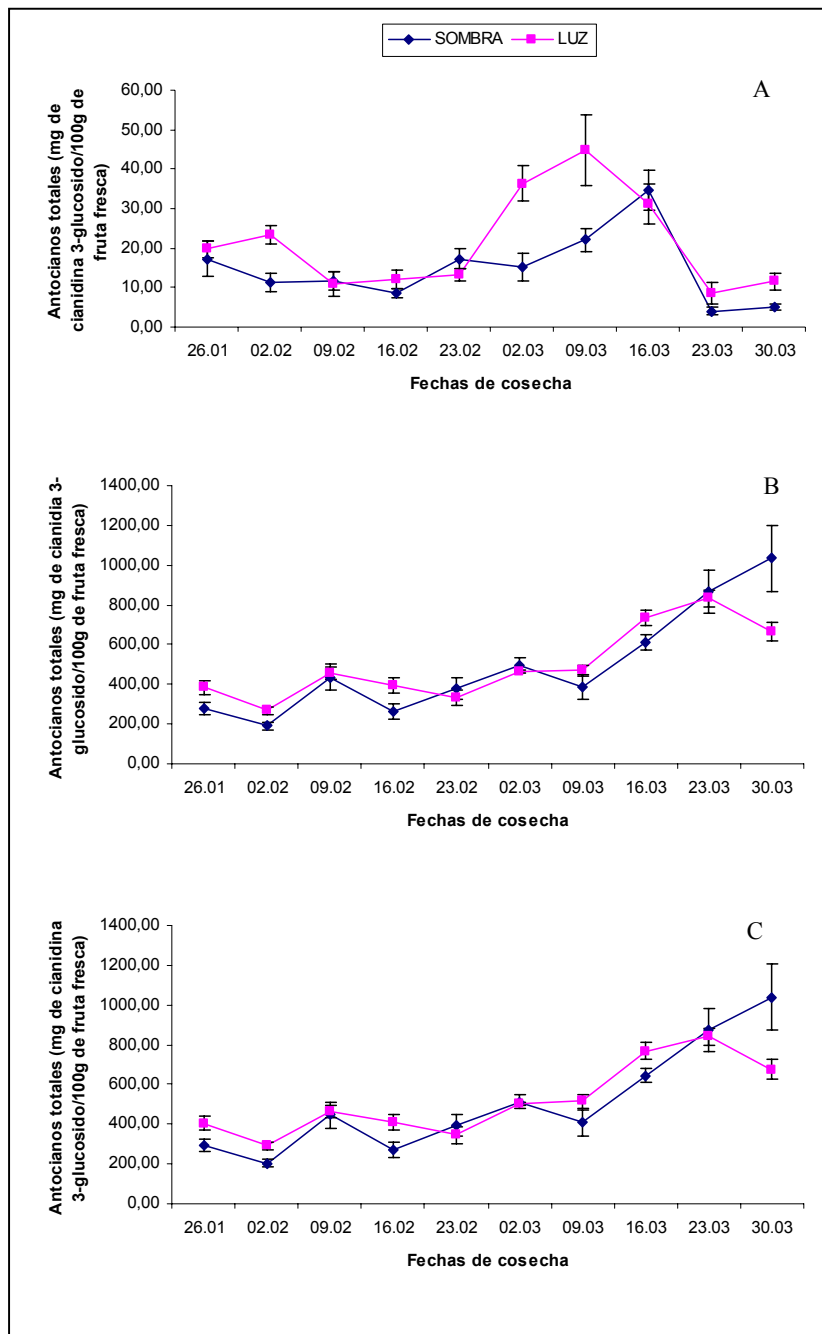


FIGURA 4. Antocianos totales en frutos de arándano en los diferentes tratamientos y fechas de cosechas. **A.** pulpa, **B.** piel, **C.** fruto completo (Las barras indican el error estándar)

Daubenmire, 2001, señala que los antocianos se sintetizan a una mejor tasa con temperaturas óptimas de 22° a 28° C. (Figura 1a y 1b), esto está asociado que en la sexta y séptima cosecha (Figura 4a), se registraron las temperaturas óptimas para la síntesis de antocianos. Podría decirse que los frutos bajo luz solar alcanzaron el máximo de antocianos en esas fechas de cosecha y luego tendieron a disminuir al final de la temporada frutícola. Respuesta menos notoria en frutos cosechados bajo sombreado.

4.2.3 Fenoles totales. Los fenoles totales en la piel de los frutos muestran diferencia entre tratamientos, al igual que el total del fruto, presentando menor cantidad los frutos cosechados bajo sombreado en malla Rashell (Cuadro 13).

CUADRO 13. Contenido de fenoles totales de frutos de arándano cv. Elliot bajo luz y sombreados con malla Rashell 50%

Tratamientos	Fenoles totales (mg eq. ácido gálico/100 g de peso fresco)		
	Pulpa	Piel	Fruto total
Luz	1311,48 a	1143,28 a	2454,76 a
Sombra	1222,52 a	1025,14 b	2247,66 b

Letras distintas en las columnas indican diferencia estadísticamente significativa según test de Tukey $P \leq 0,05$

Datos reportados por (De Ancos y col., 2000; Heinonen y col., 1998; Kähkönen y col., 2001; Prior y col., 1998), determinaron fenoles totales en un rango amplio de 260,9 hasta 2021,85 mg/100g de peso fresco, en diversos cultivares de arándano alto para frutos cosechados bajo condiciones normales de huertos. En esta investigación se obtuvieron los valores máximos reportados por los autores en ambos tratamientos.

La mayor acumulación de fenoles totales en los frutos, especialmente en la piel de los frutos cultivados bajo luz solar, es debido a que la producción frutícola se realiza en los meses de verano; estación en la cual se presenta la mayor radiación solar (ANEXO, Figura 7).

Es así como (Lambers, 1998; Dixon y Paiva, 1995; Taiz y Zeiger, 2002), señalan que la mayor acumulación de fenoles en los frutos es el resultado del estímulo por la radiación solar. Además, la síntesis de estos metabolitos secundarios es el resultado de una mayor tasa fotosintética para que los compuestos fenólicos puedan sintetizarse (Lambers, 1998; Taiz y Zeiger, 2002). Esto concuerda con los resultados obtenidos al observar la mayor concentración de fenoles en la piel de los frutos cosechados bajo luz solar en las primeras cuatro cosechas (Figura 5).

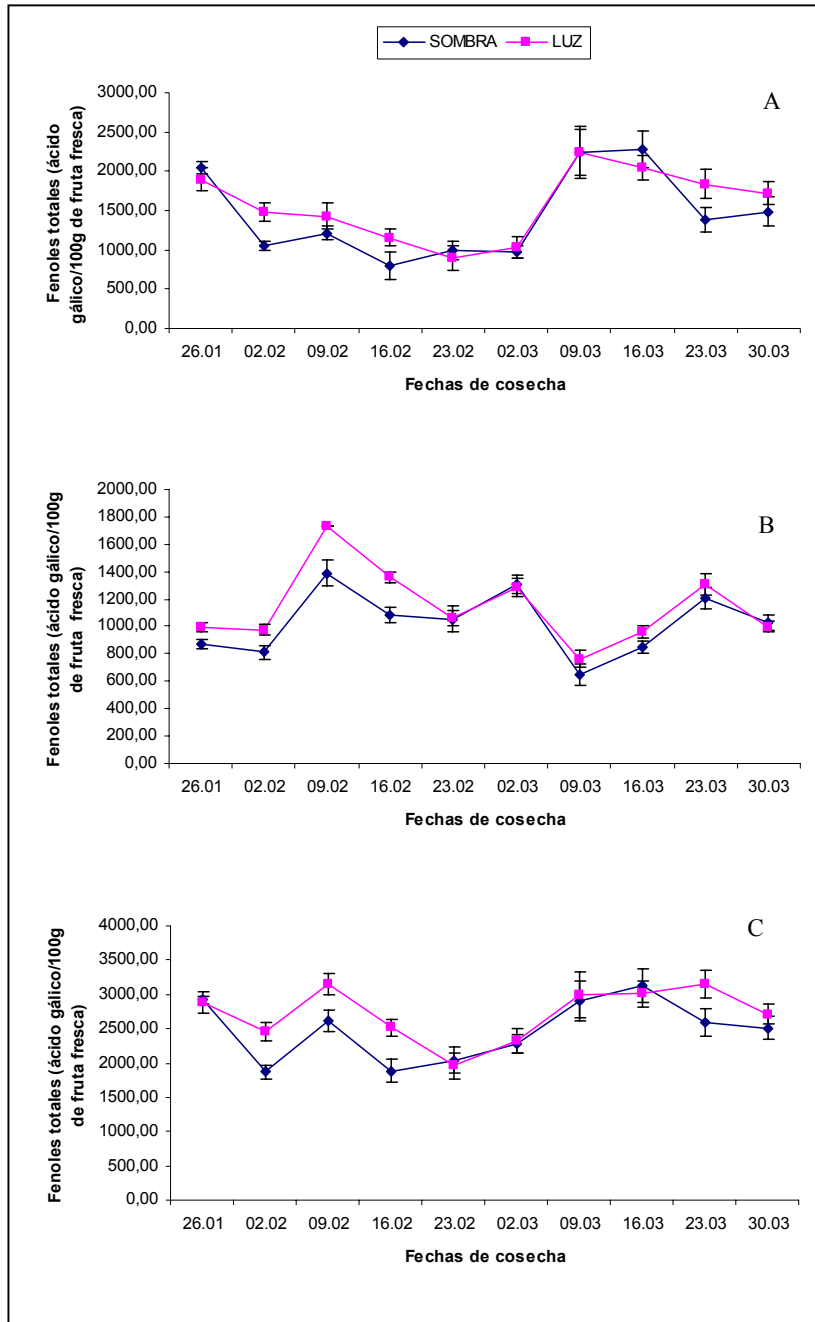


FIGURA 5. Fenoles totales en frutos de arándano en los diferentes tratamientos y fechas de cosecha. **A.** pulpa, **B.** piel, **C.** fruto completo (Las barras indican el error estándar)

Según datos reportados por (Fukumoto y Mazza, 2000; Clark, 2002; Gil y col., 2002; Kalt y col., 2003; Landrault y col., 2001; Moyer y col., 2002; Velioglu y col., 1998), indican que el contenido de fenoles totales en los frutos es uno de los compuestos fenólicos más inestables y con mucha variabilidad incluso dentro del mismo fruto, atribuido a un compuesto fenólico en particular; dado tanto por factores ambientales como genéticos de la planta.

Kalt y col., 2003; Prior y col., 1998; Velioglu y col., 1998, reportan una relación bastante fuerte entre el contenido de fenoles y antocianos totales. En esta investigación existe una fuerte asociación ($r = 0,60^*$), entre el contenido de fenoles y antocianos totales, permitiendo determinar que los compuestos fenólicos están muy relacionados y que responden de acuerdo a las necesidades fisiológicas de las plantas (Dixon y Paiva, 1995).

4.2.4 Capacidad antioxidante. Las frutas y los vegetales contienen una gran variedad de fitonutrientes, muchos de los cuales tienen propiedades antioxidantes. Además, de las bien conocidas vitaminas C, E y los carotenoides. Existen otros compuestos como los flavonoides (incluyendo flavonas, isoflavonas, flavononas, antocianinas y catequinas) que son fuertes antioxidantes y que contribuyen significativamente a la capacidad antioxidante total (Kalt y col., 1999; Merken y Beecher, 2000).

Las diferencias de la capacidad antioxidante entre tratamientos se aprecian en el cuadro 14. Dichas diferencias se notan en la pulpa y en el total del fruto, presentando una menor capacidad antioxidante los frutos cosechados bajo sombreado con malla Rashell.

CUADRO 14. Capacidad antioxidante de frutos de arándano cv. Elliot bajo luz y sombreados con malla Rashell 50%

Tratamientos	Capacidad antioxidante (mmol/100 g fruta fresca)		
	Pulpa	Piel	Fruto total
Luz	1,35 a	2,95 a	4,30 a
Sombra	0,97 b	2,73 a	3,70 b

Letras distintas en las columnas indican diferencia estadísticamente significativa según test de Tukey $P \leq 0,05$.

Según reportes de (Heinonen y col., 1998; De Ancos y col., 2000; Kalt y col., 1999, 2003; Wang y col., 2001; Zheng y col., 2003), indican valores en un rango amplio de 1,55 hasta 5,24 mmol/100 g de fruta fresca para todos aquellos frutos cosechados bajo luz solar, en diferentes cultivares de arándano, localidades y fechas de cosecha.

Kalt y col., 2000; Prior y col., 1998, informan que la capacidad antioxidante en frutos de las especies *Vaccinium*, siguen la misma tendencia del contenido de antocianos totales, estos son compuestos íntimamente ligados.

La diferencia de la capacidad antioxidante del total del fruto esta dada principalmente por la significancia del contenido en la pulpa a lo largo de toda la fase experimental entre tratamientos (Figura 6a), indicando que la mayor capacidad antioxidante se encuentra en la pulpa de los frutos, por lo tanto, frutos cultivados bajo luz solar tienen mayor capacidad antioxidante que los cultivados bajo malla Rashell.

Por lo tanto, la capacidad antioxidante depende de la síntesis de metabolitos secundarios privilegiándose los antocianos en el fruto. La síntesis de antocianos dependerá de las condiciones ambientales para que pueda o no sintetizarse en mayor cantidad (Taiz y Zeiger, 2002; Wang y col., 2001; Zheng y col., 2003).

Con respecto a la capacidad antioxidante de la pulpa, esta varió en mayor proporción en dos momentos y en ambos tratamientos: en la cuarta y séptima cosecha (Figura 6a). En la cuarta cosecha se nota un descenso en los frutos cosechados bajo luz solar e incremento en los frutos sombreados; mientras en la séptima cosecha se observa una relación inversa.

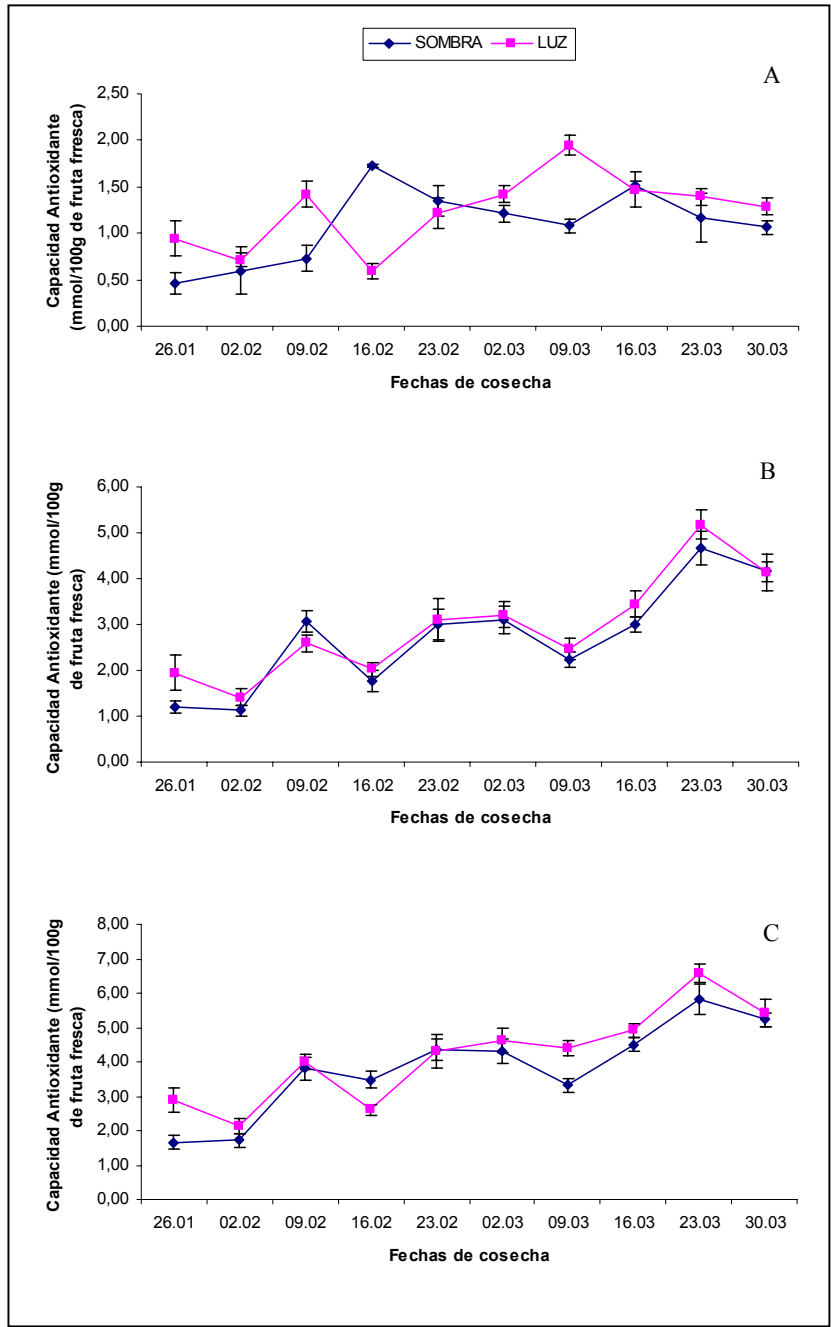


FIGURA 6. Capacidad antioxidante en frutos de arándano en los diferentes tratamientos y fechas de cosecha. **A.** pulpa, **B.** piel, **C.** fruto completo. (Las barras indican el error estándar)

La diferencia de la capacidad antioxidante en la cuarta cosecha (Figura 6a) se debe especialmente a la síntesis de metabolitos secundarios (antocianos y fenoles totales) en esa fecha de cosecha (Figuras 4a y 5a).

En cuanto a la séptima cosecha (Figura 6a), las diferencias entre tratamientos se debió a que en esa fecha se registró la temperatura óptima para la síntesis de antocianos totales (Figura 4a); indicando de esta forma que los antocianos totales están fuertemente relacionados con la capacidad antioxidante.

Es así como la capacidad antioxidante responde en forma paralela a la acumulación de antocianos totales en el fruto. Existiendo en esta investigación una fuerte asociación entre antocianos totales y capacidad antioxidante ($r = 0,66^*$).

Lo anterior permite concluir que los metabolitos secundarios tanto antocianos como fenoles totales participan en la capacidad antioxidante total de los frutos. La planta privilegiara la síntesis de uno de ellos de acuerdo a las condiciones en que se encuentre.

4.3 Efectos del mallaje de sombra sobre el desarrollo vegetativo de los arbustos

Con la finalidad de realizar un contraste entre las características físicas y químicas de los frutos, se midió el desarrollo vegetativo de los arbustos entre tratamientos (Cuadro 15). Nótese la diferencia significativa en todas las características evaluadas, presentando un mayor desarrollo vegetativo los arbustos sombreados bajo malla Rashell.

CUADRO 15. Desarrollo vegetativo de arbustos de arándano cv. Elliot bajo luz y sombreados con malla Rashell 50%

Tratamientos	Altura (m)	Ancho (m)	Longitud entre línea (m)
Luz	1,51 b	1,14 b	1,25 b
Sombra	1,65 a	1,30 a	1,50 a

Letras distintas en las columnas indican diferencia estadísticamente significativa según test de Tukey $P \leq 0,05$

Datos reportados por (Spann y col., 2003; Merhaut y col., 1996), señalan que arbustos mantenidos bajo condiciones de luz, alcanzaron una altura promedio de 1,40 m y 3,00 m. en diversos cultivares.

Las diferencias significativas se deben a que la producción y síntesis de fitohormonas están influenciadas por la luz y temperatura, factores que pueden promover o inhibir su biosíntesis. Así mismo plantas con estrés de luz o bajas

temperaturas presentan mayor altura, entrenudos más largos y hojas más anchas como respuesta a una mayor producción de giberelinas (Daubemire, 2001; Larcher, 2003; Taiz y Zeiger, 2002; Sivori y col., 1980). Por la razón anterior se nota el mayor desarrollo vegetativo de los arbustos cosechados bajo sombreado, donde se promovió un microclima de baja luminosidad y temperatura.

Con respecto a la materia seca de los arbustos evaluados (Cuadro 16), muestran diferencias entre tratamientos, con un menor peso seco los arbustos cultivados bajo sombreado con malla Rashell.

CUADRO 16. Peso de materia fresca y seca de arbustos de arándano cv. Elliot bajo luz y sombreados con malla Rashell 50%

Tratamientos	Peso seco hojas (g)	Peso seco brotes (g)
Luz	48,41 a	47,65 a
Sombra	39,93 b	35,61 b

Letras distintas en las columnas indican diferencia estadísticamente significativa según test de Tukey $P \leq 0,05$

Larcher, 2003, Sivori y col., 1980, indican que plantas crecidas bajo luz solar presentan hojas más angostas y cutícula más gruesa. Por lo tanto, se puede dilucidar que las diferencias entre tratamientos se deben a la afirmación anterior.

Es importante mencionar que el rendimiento es el mismo para ambos tratamientos. El peso seco está relacionado con el rendimiento y este a su vez con la densidad de brotes florales (Maust y col., 1999, 2000), permitiendo deducir que ambos arbustos producen la misma cantidad de brotes florales y por ende el mismo rendimiento de frutos (Cuadro 9).

5 CONCLUSIONES

* El mallaje de sombra utilizado para el retraso de la madurez provoca cambios significativos en las características físicas y químicas de los frutos, por lo que se acepta la hipótesis planteada en este estudio.

* Entre las características físicas (peso y forma), el peso de los frutos tiene diferencia significativa entre tratamientos como efecto del mallaje de sombra, presentando estos frutos un mayor peso.

* Los índices de madurez (pH, acidez titulable, relación sólidos solubles acidez titulable) no presentaron diferencias entre tratamientos, excepto los sólidos solubles con una disminución de 1,03° Brix en los frutos cosechados bajo sombreado con malla Rashell.

* La relación sólidos solubles acidez titulable, fue similar entre tratamientos, siendo este un parámetro importante desde el punto de vista de la palatabilidad para fruta fresca de exportación.

*El contenido de antocianos totales en el total del fruto, no tiene cambios significativos entre tratamientos. La diferencia se visualizó en la pulpa de los frutos, con un menor contenido en los frutos cosechados bajo malla Rashell.

* Los fenoles totales tienen cambios significativos como efecto del mallaje de sombra en la piel y en el fruto total, presentando estos frutos un menor contenido de fenoles totales.

* El mallaje de sombra provocó cambios significativos en la capacidad antioxidante de la pulpa y en el total del fruto, registrándose en estos frutos una menor capacidad antioxidante.

* El desarrollo vegetativo de los arbustos presenta notables cambios producto del efecto del mallaje de sombra, exhibiendo un mayor desarrollo vegetativo los arbustos cultivados bajo sombreado.

* El contenido de materia seca tiene cambios significativos entre tratamientos, con una disminución de 8,48 gramos arbustos sombreados con malla Rashell.

6 BIBLIOGRAFIA

Ahmed, A., Labavitch J. 1980. Cell Wall Metabolism in Ripening Fruit. *Plant Physiol.* 65: 10009 – 1013

Ancos, B., González, E., Cano, M., 2000. Ellagic Acid, Vitamin C, and Total Phenolic Contents and Radical Scavenging Affected by Freezing and Frozen Storage in Raspberry Fruit. *J. Agric. Food. Chem.* 48 (10): 4565 – 4570.

Andersen, P., Buchanan, D., Albrigo, L., 1979. Water Relations and Yields of Three Rabbiteye Blueberry Cultivars with and Without Drip Irrigation. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 104 (6): 731 – 736

Asami, D., Hong, Y., Barrett, D., Mitchell, A. 2003. Comparison of the Total Phenolic and Ascorbic Acid Content of Freeze-Dried and Air-Dried Marionberry, Strawberry, and Corn Grown Using Conventional, Organic, and Sustainable Agricultural Practices. *J. Agric. Food. Chem.* 51 (5): 1237 – 1241

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMIST (AOAC). 2000. Official methods of analysis of AOAC International. 17a. ed. Galthersburg. Maryland, Estados Unidos. 1245 p.

Ballinger, W., Maness, E. 1970 a. Anthocyanins in Ripe Fruit of the Highbush Blueberry, *Vaccinium corymbosum* L. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 95 (3): 283 – 285

Ballinger, W., Kushman, L. 1970 b. Relationship of Stage of Ripeness to Composition and Keeping Quality Highbush Blueberries. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 95 (2): 239 – 242

Ballinger, W., Kushmann, L., and Hammann, D. 1973. Factors Affecting the firmness of Highbush Blueberries. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 98 (6): 583 – 587

Ballington, J., Ballinger, W., Swallow, W., Galleta, G., Kushman, L. 1984. Fruit Quality Characterization of 11 *Vaccinium Species*. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 109 (5) 684 – 689

Bassett, C., Wisniewski, M., Artlip, T., and Norelli, J. 2006. Global Analysis of Genes Regulated by low Temperature and Photoperiod in Peach Bark. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 131 (4): 551 – 563

Bilyk, A., and Saper, G. 1986. Varietal Differences in the Quercetin, Kaempferol, and Myricetin Contents of Highbush, Cranberry, and Thornless Blackberry Fruit. *Journal of Agricultural and Food Chemistry.* 34 (4): 585 – 588

Boxin, O., Huang, D., Hampsch-Woodill, M., Flanagan, J. and Deemer, E. 2002. Analysis of antioxidant activities of common vegetables employing oxygen radical absorbance capacity (ORAC) and ferric reducing antioxidant power (FRAP) assays: A comparative study. *Journal of Agricultural and Food Chemistry.* 50: 3122 – 3128.

- Buzeta, A. 1997. Chile: Berries para el 2000, Fundación Chile. 133 páginas.
- Cao, G., Sofic, E., and Prior, R. 1996. Antioxidant Capacity of Tea and Common Vegetables. *J. Agric. Food Chem.* 44 (1): 3426 – 3431.
- Cano, R., Darnell, R. 1998. Effect of GA₃ and Pollination on Fruit Set and Development in Rabbiteye Blueberry. *HortScience* 33 (4): 632 – 635
- Clark, J. 2002. Variation in Phytochemical Composition of Blueberry Cultivars and Breeding Selections. *Acta Hort.* 574. ISHS. 203 – 207
- Connor, A., Luby, J., Hancock, J. 2002 a. Changes in Fruit Antioxidant Activity among Blueberry Cultivars during Cold – Temperature Storage. *J. Agric. Food. Chem.* 50 (4): 893 – 898
- Connor, A., Luby, J., Tong, C. 2002 b. Variability in Antioxidant Activity in Blueberry and Correlations among Different Antioxidant Activity Assays. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 127 (2): 238 – 244
- Cordenunsi, B., Oliveira, J., Genovese, M., Lajolo, F. 2002. Influence of Cultivar on Quality Parameters and Chemical Composition of Strawberry Fruit Grown in Brazil. *J. Agric. Food Chem.* 50 (9): 2581 – 2586.

Crisosto, C., Scott, R., Luza, J., Crisosto, G. 1994. Irrigation Regimes Affect Fruit Soluble Solid Concentration and Rate of Water Loss of 'O'Henry' Peaches. HortScience. 29 (10): 1169 – 1171

Daubenmire, R. 2001. Ecología Vegetal. Tratado de Autoecología de Plantas. Noriega Editores. México D.F. 7a. Reimpresión . 496 p.

Darnell, R., Birkhold, K. 1996. Carbohydrate Contribution to Fruit Development in Two Phenologically Distinct Rabbiteye Blueberry Cultivars. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 121 (6): 1132 – 1136

De Ancos, B., Ibáñez, E., Reglero, G., Cano, M. 2000. Frozen Storage Effects on Anthocyanins and Volatile Compounds of Raspberry Fruit. J. Agric. Food Chem. 48 (3): 873 – 879

Diaz, C., and García, J. 2002. Blueberry culture both in pots and under Italian-type tunnels. Acta Hort. ISHS. 123 – 127

Dixon, R., Paiva, N. 1995. Stress-Induced Phenylpropanoid Metabolism. The Plant Cell. 7:1085 – 1097

Eck, P. and Childers, N. 1989. Blueberry Culture. Rutgers University Press. Nex Brunswick 235 p.

Ehlenfeldt, M., Prior, R. 2001. Oxygen Radical Absorbance Capacity (ORAC) and Phenolic and Anthocyanin Concentrations in Fruit and Leaf Tissues of Highbush Blueberry. *J. Agr. Food. Chem.* 49 (5): 2222 – 2227

Ferree, D. 1989. Influence of Orchard Management Systems on Spur Quality, Light, and Fruit within the Canopy of 'Golden Delicious' Apple Trees. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 114 (6) 869 – 875

Fitter, A., Hay, R. 2002. *Environment Physiology of Plants*. Third Edition. Academic Press. UK. 367 p.

Fukumoto, L., Mazza, G. 2000. Assessing Antioxidant and Prooxidant Activities of Phenolic Compounds. *J. Agric. Food. Chem.* 48 (8): 3597 – 3604

Gao, L., and Mazza G. 2000. Assessing antioxidant and prooxidant activities of phenolic compounds. *J. Agric. And Food Chemistry.* 48: 3597 – 3604-

Galleta, G., Ballinger, W., Monroe, R., Kushman, L. 1971. Relationships Between Fruit Acidity and Soluble Solid Level of Highbush Blueberry Clones and Fruit Keeping Quality. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 96 (6): 758 – 762

García, J., Parrilla, E., de la Rosa, L., Mercado, G., Herrera, B. 2006. Valoración de la capacidad antioxidante y actividad polifenol oxidasa en duraznos de diferentes áreas de producción. Universidad Autónoma de Ciudad Juárez. México D.F.

Gil, M., Barberán, F., Pierce, B., Kader, A. 2002. Antioxidant Capacities, Phenolic Compounds, Carotenoids, and Vitamin C Contents of Nectarine, Peach, and Plum Cultivars from California. *J. Agrc. Food Chem.* 50 (17): 4976 – 4982.

Glenn, D., and Scorza, R 2006. Genetic and Enviromental Effects on Water Use Efficiency in Peach. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 131 (2): 290 – 294

Hall, I., Forsyth, F., Newbery, R. 1970. Effect of Temperature on Flower Bud and Leaf Anthocyanin Formation in the Lowbush Blueberry. *HortScience.* 5 (4): 273 – 274

Hall F., Forsyth R. y Newbery R. 1970. Effect of Temperature on Flower Bud and Leaf Anthocyanin Formation in the Lowbush Blueberry. *HortScience.* 5 (4): 272 – 274.

Häkkinen S., Kärenlampi S., Heinonen M., Mykkänen H. y Torrönen R. 1999. Content of Flavonols Quercetin, Myricetin, adn Kaempferol in 25 Edile Berries. *J. Agric. Food. Chem.* 47 (6): 2274 – 2279.

Halvorsen, B., Holte, K., Myhrstad, W., Barikmo, I., Hvattum, E., Rember, S, Wold, A., Haffner, K., Baugerod, H., Andersen, L., Moskaug, J., Jacobs, D., Heinonen, I., Lehtonen, P., Hopia, A. 1998. Antioxidant Activity of Berry and Fruit Wines and Liquors. *J. Agrc. Food Chem.* 46 (1): 25 – 31

Halvorsen, B., Holt, K., Myhstad, M., Barikmo, I., Hvattum, E., Fagertun, S., Wold, A., Haffner, K., Baugerod, H., Andersen, L., Moskaug, J., Jacobs, D. and Blomhoff. 2001. A systematic Screening of Total Antioxidants in Dietary Plants. American Society for Nutritional Science. 461 – 471.

Hertog, M., Hollman, P., and Van, de Putte. 1993. Content of Potentially anticarcinogenic flavonoids of tea infusion, wines, and fruit juices. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 41: 1242 – 1246.

Hong, V., Wrolstad, R. 1990. Characterization of Anthocyanin – Containing Colorants and Fruit Juices by HPLC/Photodiode Array Detection. J. Agric. Food Chem. 38 (3): 698 – 708

Kalt, W, MacDonald. 1996. Chemical Composition of Lowbush Blueberry Cultivars. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 12 (1): 142 – 146

Kalt, W., Forney, C., Marin, A., Prior, R. 1999. Antioxidant Capacity, Vitamin C, Phenolic, and Anthocyanins after Fresh Storage of Small Fruit. J. Agric. Food. Chem. 47 (11): 4638 – 4644

Kalt, W., MacDonald, J., Donner, H. 2000. Anthocyanins, Phenolics, and Antioxidant Capacity of Processed Lowbush Blueberry Products. J. Agric. Food. Chem. 65 (3): 390 – 393

Kalt, W., Ryan, D., Duy, J., Prior, R., Ehlenfeldt, M., Kloet, S. 2001. Interspecific Variation in Anthocyanins, Phenolics, and Antioxidant Capacity among Genotypes of Highbush and Lowbush Blueberries (*Vaccinium* Section *Cyanococcus* spp.) J. Agric. Food. Chem. 49 (10) 4761 – 4767

Kalt, W., Lawand, C., Ryan, D., McDonald, J., Donner, H., Forney, C. 2003. Oxygen Radical Absorbing Capacity, Anthocyanin and Phenolic Content of Highbush Blueberries (*Vaccinium corymbosum* L) during Ripening and Storage. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 128 (6): 917 – 923

Kähkönen, M., Hopia, A., Vuorela, H., Rauha, J., Pihlaja, K., Kujala, T., Heinonen, M. 1999. Antioxidant Activity of Plant Extracts Containing Phenolic Compounds. J. Agric. Food. Chem. 47 (10): 3954 – 3962

Kähkönen, M., Hopia, A., Vuorela, H., Heinonen, M. 2001. Berry Phenolic and Their Antioxidant Activity. J. Agric. Food. Chem. 49 (8): 4076 – 4082

Kushman, L., Ballinger, W. 1967. Acid and Sugar Changes During Ripening in Wolcott Blueberries. Plant Physiologist. (92): 290 – 295

Kushman, L., Ballinger, W. 1975. Effect of Season, Location, Cultivars, and Fruit Size upon Quality of Light – Sorted Blueberries. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 100 (5): 564 – 569

Larcher, W. 2003. Physiological Plant. Ecology. 4th. Edition. 513 p.

Lambers, H., Chapin, F., Pons, T. 1998. *Plant Physiological Ecology*. Springer. 540 p.

Landrault, N., Poucheret, P., Ravel, P., Gasc, F., Cros, G. and Teissedre, P. 2001. Antioxidant Capacities and Phenolic Levels of French wines from Different Varieties and Vintages. *J. Agric. Food Chemistry*. 49: 3341 – 3348

Larson, R. 1988. The Antioxidants of Higher Plants. Review article number 30. *Phytochemistry*. 27: 969 – 978.

Marini, R., Sowers, D., Marini, M. 1991. Peach Fruit Quality Is Affected by Shade during Final Swell of Fruit Growth. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 116 (3): 383 – 389

Marshall, D. and Spiers, J. 2002. Incidence of Splitting in Premier and Tifblue Rabbiteye Blueberries. *Act. Hort.* 574. ISHS. 295 – 303

Maust, B., Williamson, J., Darnell, R. 1999. Effects of Flower Bud Density on Vegetative and Reproductive Development and Carbohydrate Relation in Southern Highbush Blueberry. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 124 (5): 532 – 538

Maust, B., Williamson, J., Darnell, R. 2000. Carbohydrate Reserve Concentrations and Flower Bud Density Effects on Vegetative and Reproductive Development in Southern Highbush Blueberry. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 125 (4): 413 – 419

McArtney, S., Ferree, D. 1999. Shading Effects on Dry Matter Partitioning, Remobilization of Stored Reserves and Early Season Vegetative Development of Grapevines in the Year after Treatment. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 124 (6): 591 – 597

Medel, F. 1982a. *Arbustos Frutales*. Corporación de Fomento de Producción. Universidad Austral de Chile. 30 p.

Medel, F. 1988b. *Arbustos Frutales: Potencial Agroecológico de la Décima Región*. *Agro Sur*. 16 (1): 53 – 60

Medel, F. 1988c. *Requerimientos de Clima, Suelo y Agua para la Producción de Parrillas, Grosellero y Arándano*. *Agro Sur*. 16 (2): 123 – 131

Merhaut, D., Darnell, R. 1996. Vegetative Growth and Nitrogen/Carbon Partitioning in Blueberry as Influenced by Nitrogen Fertilization. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 121 (5): 875 – 879

Merken, H., Beecher, G. 2000. Measurement of Food Flavonoids by High-Performance Liquid Chromatography: A Review. *J. Agric. Food. Chem* 48 (3): 577 – 599

Morales, E. 2005. *Diseño Experimental a través del análisis de varianza y modelo de regresión lineal*. Andros impresores. Valdivia, Chile 248 p.

More, J., Brown, D. 1973. Effects of Seed Numbers Size, and Development on Fruit size. HortScience. 7 (3): 268 – 269.

Morgan, D., Stanley, C., Volz, R., Warrington, I. 1984. Summer Pruning of ‘Gala’ Apple: The Relationships between Pruning Time, Radiation Penetration, and Fruit Quality. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 109 (5): 637 – 642

Moure, A., Cruz, J., Franco, D., Domínguez, J., Sineiro, J., Domínguez, H., Nuñez, M. and Parajó, J. 2001. Natural antioxidants from residual sources. Review. Food Chemistry. 72: 145 – 171

Moyer, R., Hummer, K., Finn, C., Frei, B., Wrolstad, R. 2002. Anthocyanins, Phenolics, and Antioxidant Capacity in Diverse Small Fruit. *Vaccinium*, *Rubus*, and *Ribes*. J. Agric. Food. Chem. 50 (3): 519 – 525

Norman, F. 1979. Modern Fruit Science. Horticultural publications, State University, New Jersey. Pág. 969

Nyman, N., Kumpulainen, J. 2001. Determination of Anthocyanins in Berries and Red Wine by High – Performance Liquid Chromatography. J. Agric. Food. Chem. 49 (9): 4183 – 4187

Prior, R., Cao, G., Martin, A., Sofic, E., McEwen, J., O'Brien, C., Lischner, N., Ehlenfeldt, M., Kalt, W., Krewer, G., Mainland, C. 1998. Antioxidant Capacity As Influenced by Total Phenolic and Anthocyanin Content, Maturity, and Variety of *Vaccinium* Species. J. Agric. Food. Chem. 46 (7): 2686 – 2693

Prior, R., Lazarus, S., Cao, G., Muccitelli, J., Hammerstone, J. 2001. Identification of Procyanidins and Anthocyanins in Blueberries and Cranberries (*Vaccinium Spp*) Using High – Performance Liquid Chromatography/Mass Spectrometry. J. Agric. Food. Chem. 49 (3): 1270 – 1276

Sapers, G., Burcher, A., Phillips, J. and Jones, S. 1984. Color and composition of highbush blueberry cultivars. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 109 (1): 105 – 111

Shoemaker, J. 1975. Small Fruit Culture, Cuarta Edición. Estados Unidos de América. 239 p.

Sivori, E., Montaldi, E., Caso, O. 1980. Fisiología Vegetal. Edit. Hemisferio Sur. Buenos Aires, Argentina. 681 p.

Spann, T., Williamson, J., Darnell, R. 2003. Photoperiodic Effects on Vegetative and Reproductive Growth of *Vaccinium darrowi* and *V. corymbosum* Interspecific Hybrids. HortScience 38 (2): 192 – 193

Taiz, L. and Zeiger, E. 2002. Plant Physiology. Tercera Edición. 690 p.

Valentini, G., Caviglione, M. and Lovisolo, C. 2005. Effect of Shade on Flowering and Yield for Two Different Hazelnut Training Systems. *Acta Hort.* 187 – 191

Velioglu, Y., Mazza, G., Gao, L., and Oomah, B. 1998. Antioxidant Activity and Total Phenolics in Selected Fruits, Vegetables, and Grain Products. *J. Agric. Food Chem.* 46 (10): 4113 – 4117

Wang, H., Cao, G., Prior, R. 1996. Total Antioxidant Capacity of Fruit. *J. Agric. Food. Chem.* 44 (3):701 – 705

Wang, H., Cao, G., Prior, R. 1997. Oxygen Radical Absorbing Capacity of Anthocyanins. *J. Agric. Food. Chem.* 45 (2): 304 – 309

Wang, S., Zheng, W. 2001. Effect of Plant Growth Temperature on Antioxidant Capacity in Strawberry. *J. Agric. Food. Chem.* 49 (10): 4977 – 4982

Westwood, M. 1982. *Fruticultura de zonas templadas*. Ediciones Mundi.-Prensa. Madrid.

Wünsche, J., Lakso, A. 2000. The Relationship Between Leaf Area and Light Interception by Spur and Extensión Shoot Leaves and Apple Orchard Productivity. *HortScience.* 35 (7): 1202 – 1206

Zheng, Y., Wang, C., Wang, S., Zheng, W. 2003. Effect of High – Oxygen Atmospheres on Blueberry Phenolics, Anthocyanins, and Antioxidant Capacity. *J. Agric. Food. Chem.* 51 (24): 7162 – 7169

ANEXOS

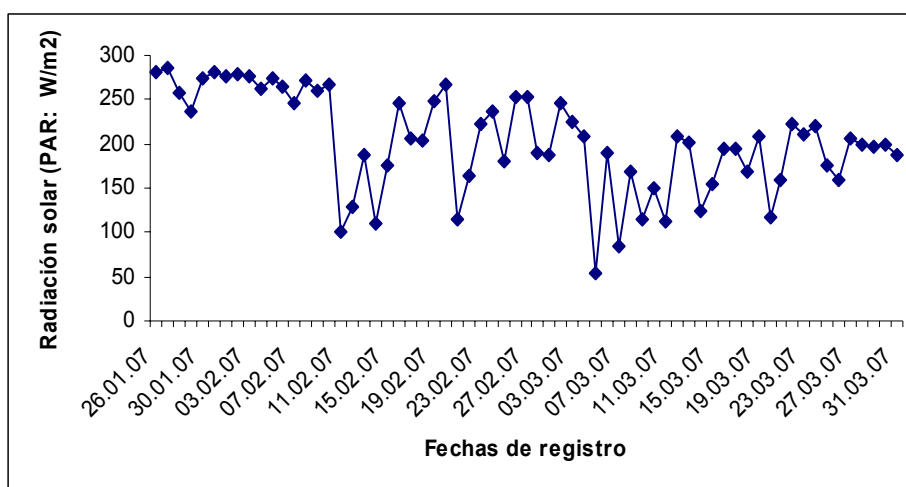


FIGURA 7. Registro de radiación fotosintéticamente activa, durante la fase experimental. (Datos proporcionados por el Instituto de Física de la Universidad Austral de Chile)

CUADRO 17. Análisis de varianza para forma de frutos de arándano cv. Elliot en los distintos tratamientos y fechas de cosecha

Fuentes de variación	Suma de Cuadrados	GL	Cuadrados Medios	F calculado	P valor
Tratamientos	0,0053333	1	0,0053333	1,58	0,2119 NS
Fechas	0,387547	9	0,0430607	12,74	0,0000*
Tratamiento X fechas	0,02038333	9	0,00226481	0,67	0,7340 NS
Error	0,337933	100	0,00337933		
Total	0,751197	119			

C.V. 5,54%

CUADRO 18. Análisis de varianza para peso de frutos de arándano cv. Elliot en los distintos tratamientos y fechas de cosecha

Fuentes de variación	Suma de Cuadrados	GL	Cuadrados Medios	F calculado	P valor
Tratamientos	0,576853	1	0,576853	18,29	0,0000*
Fechas	3,70532	9	0,411702	13,05	0,0000*
Tratamiento X fechas	1,05635	9	0,117372	3,72	0,0005*
Error	3,15373	100	0,0315373		
Total	8,49225	119			

C.V. 15,55%

CUADRO 19. Análisis de varianza para sólidos solubles de frutos de arándano cv. Elliot en los distintos tratamientos y fechas de cosecha

Fuentes de variación	Suma de Cuadrados	GL	Cuadrados Medios	F calculado	P valor
Tratamientos	32,0333	1	32,0333	36,26	0,0000*
Fechas	29,53	9	3,28148	3,71	0,0005*
Tratamiento X fechas	8,46667	9	0,940741	1,06	0,3952 NS
Error	88,3333	100	0,883333		
Total	158,367	119			

C.V. 11,67%

CUADRO 20. Análisis de varianza para pH de frutos de arándano cv. Elliot en los distintos tratamientos y fechas de cosecha

Fuentes de variación	Suma de Cuadrados	GL	Cuadrados Medios	F calculado	P valor
Tratamientos	0,000140833	1	0,000140833	0,01	0,9050 NS
Fechas	14,717	9	1,63522	166,09	0,0000*
Tratamiento X fechas	0,105934	9	0,0117705	1,20	0,3063 NS
Error	0,98455	100	0,0098455		
Total	15,8076	119			

C.V. 12,57%

CUADRO 21. Análisis de varianza para acidez titulable de frutos de arándano cv. Elliot en los distintos tratamientos y fechas de cosecha

Fuentes de variación	Suma de Cuadrados	GL	Cuadrados Medios	F calculado	P valor
Tratamientos	0,0837408	1	0,0837408	2,09	0,1514 NS
Fechas	25,0148	9	2,77942	69,38	0,0000*
Tratamiento X fechas	0,536501	9	0,0596112	1,49	0,1626 NS
Error	4,00592	100	0,0400592		
Total	29,641	119			

C.V. 34,16%

CUADRO 22. Análisis de varianza para relación sólidos solubles acidez titulable de frutos de arándano cv. Elliot en los distintos tratamientos y fechas de cosecha

Fuentes de variación	Suma de Cuadrados	GL	Cuadrados Medios	F calculado	P valor
Tratamientos	4,8763	1	4,8763	3,50	0,0645 NS
Fechas	364,515	9	40,5016	29,03	0,0000*
Tratamiento X fechas	30,5198	9	3,39109	2,43	0,0153*
Error	139,511	100	1,39511		
Total	539,422	119			

C.V. 28,82%

CUADRO 23. Análisis de varianza para el contenido de antocianos totales en la pulpa de frutos de arándano cv. Elliot en los distintos tratamientos y fechas de cosecha

Fuentes de variación	Suma de Cuadrados	GL	Cuadrados Medios	F calculado	P valor
Tratamientos	1250,08	1	1250,08	16,11	0,0001*
Fechas	9822,47	9	1091,39	14,06	0,0000*
Tratamiento X fechas	2668,14	9	296,46	3,82	0,0004*
Error	7760,2	100	77,602		
Total	21500,9	119			

C.V. 74,77%

CUADRO 24. Análisis de varianza para el contenido total de antocianos totales en piel de frutos de arándano cv. Elliot en los distintos tratamientos y fechas de cosecha

Fuentes de variación	Suma de Cuadrados	GL	Cuadrados Medios	F calculado	P valor
Tratamientos	1323,22	1	1323,22	0,07	0,7992 NS
Fechas	5,22001E6	9	580001,0	28,53	0,0000*
Tratamiento X fechas	599146,0	9	66571,7	3,27	0,0016*
Error	2,03311E6	100	20331,1		
Total	7,85359E6	119			

C.V. 51,67%

CUADRO 25. Análisis de varianza para el contenido total de antocianos totales de frutos de arándano cv. Elliot en los distintos tratamientos y fechas de cosecha

Fuentes de variación	Suma de Cuadrados	GL	Cuadrados Medios	F calculado	P valor
Tratamientos	5145,94	1	5145,94	0,25	0,6205 NS
Fechas	5,17814E6	9	575349,0	27,58	0,0000*
Tratamiento X fechas	598152,0	9	66461,3	3,19	0,0020*
Error	2,08606E6	100	20860,6		
Total	7,8675E6	119			

C.V. 49,91%

CUADRO 26. Análisis de varianza para el contenido total de fenoles totales en pulpa de frutos de arándano cv. Elliot en los distintos tratamientos y fechas de cosecha

Fuentes de variación	Suma de Cuadrados	GL	Cuadrados Medios	F calculado	P valor
Tratamientos	237413,0	1	237413,0	2,10	0,1501 NS
Fechas	1,71003E7	9	1,90004E6	16,83	0,0000*
Tratamiento X fechas	1,00687E6	9	111875,0	0,99	0,4523 NS
Error	1,12881E7	100	112882,0		
Total	2,96327E7	119			

C.V. 39,39%

CUADRO 27. Análisis de varianza para el contenido fenoles totales en piel de frutos de arándano cv. Elliot en los distintos tratamientos y fechas de cosecha

Fuentes de variación	Suma de Cuadrados	GL	Cuadrados Medios	F calculado	P valor
Tratamientos	418666,0	1	418666,0	19,49	0,0000*
Fechas	6,69927E6	9	744363,0	34,65	0,0000*
Tratamiento X fechas	385328,0	9	42814,2	1,99	0,0478*
Error	2,14842E6	100	21484,2		
Total	9,65168E6	119			

C.V. 26,27%

CUADRO 28. Análisis de varianza para el contenido de fenoles totales en frutos de arándano cv. Elliot en los distintos tratamientos y fechas de cosecha

Fuentes de variación	Suma de Cuadrados	GL	Cuadrados Medios	F calculado	P valor
Tratamientos	1,28661E6	1	1,28661E6	8,45	0,0045*
Fechas	1,08435E7	9	1,20484E6	7,92	0,0000*
Tratamiento X fechas	1,64346E6	9	182606,0	1,20	0,3035 NS
Error	1,52177E7	100	152177,0		
Total	1,52177E7	119			

C.V. 20,99%

CUADRO 29. Análisis de varianza para capacidad antioxidante de pulpa en frutos de arándano cv. Elliot en los distintos tratamientos y fechas de cosecha

Fuentes de variación	Suma de Cuadrados	GL	Cuadrados Medios	F calculado	P valor
Tratamientos	4,30923	1	4,30923	38,03	0,0000*
Fechas	9,04861	9	1,0054	8,87	0,0000*
Tratamiento X fechas	4,4909	9	0,498989	4,40	0,0001*
Error	11,3322	100	0,113322		
Total	29,1809	119			

C.V. 42,57%

CUADRO 30. Análisis de varianza para capacidad antioxidante de piel en frutos de arándano cv. Elliot en los distintos tratamientos y fechas de cosecha

Fuentes de variación	Suma de Cuadrados	GL	Cuadrados Medios	F calculado	P valor
Tratamientos	1,43445	1	1,43445	3,27	0,0737 NS
Fechas	138,741	9	15,4157	35,10	0,0000*
Tratamiento X fechas	2,98923	9	0,332137	0,76	0,6566 NS
Error	43,9137	100	0,439137		
Total	187,079	119			

C.V. 44,16%

CUADRO 31. Análisis de varianza para capacidad antioxidante de frutos de arándano cv. Elliot en los distintos tratamientos y fechas de cosecha

Fuentes de variación	Suma de Cuadrados	GL	Cuadrados Medios	F calculado	P valor
Tratamientos	10,7821	1	10,7821	20,83	0,0000*
Fechas	188,253	9	20,917	40,62	0,0000*
Tratamiento X fechas	6,45626	9	0,717363	1,39	0,2014 NS
Error	51,4972	100	0,514972		
Total	256,98856	119			

C.V. 36,69%

CUADRO 32. Análisis de varianza para altura de planta en arbustos de arándano cv. Elliot en distintos tratamientos.

Fuentes de variación	Suma de cuadrados	G.L	Cuadrado Medio	F calculado	P valor
Entre grupos	0,063075	1	0,063075	19,87	0,0012*
Dentro de grupos	0,03175	10	0,003175		
Total	0,094825	11			

C.V. 5,89%

CUADRO 33. Análisis de varianza para ancho de planta en arbustos de arándano cv. Elliot en distintos tratamientos.

Fuentes de variación	Suma de cuadrados	G.L	Cuadrado Medio	F calculado	P valor
Entre grupos	0,072075	1	0,072075	6,00	0,0343*
Dentro de grupos	0,120217	10	0,012021		
Total	0,192292	11			

C.V. 10,84%

CUADRO 34. Análisis de varianza para longitud entre línea y sobre la línea de planta en arbustos de arándano cv. Elliot en distintos tratamientos.

Fuentes de variación	Suma de cuadrados	G.L	Cuadrado Medio	F calculado	P valor
Entre grupos	0,190008	1	0,190008	49,12	0,0000*
Dentro de grupos	0,0386833	10	0,003868		
Total	0,22832	11			

C.V. 10,52%

CUADRO 35. Análisis de varianza para el peso seco de hojas en arbustos de arándano cv. Elliot en distintos tratamientos.

Fuentes de variación	Suma de cuadrados	G.L	Cuadrado Medio	F calculado	P valor
Entre grupos	215,816	1	215,816	12,51	0,0054*
Dentro de grupos	172,543	10	17,2543		
Total	388,359	11			

C.V. 13,45%

CUADRO 36. Análisis de varianza para el peso seco de brotes arbustos de arándano cv. Elliot en distintos tratamientos.

Fuentes de variación	Suma de cuadrados	G.L	Cuadrado Medio	F calculado	P valor
Entre grupos	434,283	1	434,283	9,27	0,0124*
Dentro de grupos	468,484	10	46,8484		
Total	902,767	11			

C.V. 27,76%