



UNIVERSIDAD DE TALCA

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA DE AGRONOMÍA

Medición de firmeza en arándanos:

validación de instrumentos medidores de firmeza de bajo costo y de la percepción táctil

MEMORIA DE TÍTULO

Yeldo Elías Valdés Acevedo

TALCA, CHILE

2019



UNIVERSIDAD DE TALCA

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA DE AGRONOMÍA

Medición de firmeza en arándanos:

validación de instrumentos medidores de firmeza de bajo costo y de la percepción táctil

Por

Yeldo Elías Valdés Acevedo

MEMORIA DE TÍTULO

presentada a la Universidad de Talca como parte de los requisitos para optar al título de

INGENIERO AGRÓNOMO

TALCA, CHILE

2019

CONSTANCIA

La Dirección del Sistema de Bibliotecas a través de su unidad de procesos técnicos certifica que el autor del siguiente trabajo de titulación ha firmado su autorización para la reproducción en forma total o parcial e ilimitada del mismo.



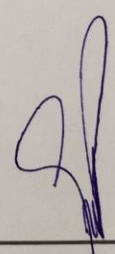
Talca, 2019

APROBACIÓN:



Profesor Co-Guía

Ing. Agrónomo, M.S., Dra. Claudia Moggia Lucchini
Profesor Escuela de Agronomía
Facultad de Ciencias Agrarias
Universidad de Talca



Profesor Co-Guía

Ing. Agrónomo, Dr. Gustavo Lobos Prats
Profesor Escuela de Agronomía
Facultad de Ciencias Agrarias
Universidad de Talca

Fecha de presentación de la Defensa de Memoria: 31 de mayo de 2019

Dedicado a mis padres:

Luis Yeldo Valdés Garrido y Judith de las Rosas Acevedo Alburquenque,

y a mi familia en general.

Agradecimientos

En primer lugar, quisiera agradecerle a la vida esta segunda oportunidad de haber podido estudiar una carrera universitaria. Agradezco a las personas que pude conocer, a los funcionarios de la universidad y de la Facultad de Ciencias Agrarias, en especial a Mary que siempre nos ayuda, Claudio, David, Mónica, el personal de aseo y la directora Gabriela, que fue un gran apoyo en esta etapa de tesista. Todos los momentos vividos, hayan sido malos o buenos, sirvieron para fortalecerme.

Agradecer infinitamente a mi familia, a mis padres Yeldo y Judith, que sin ellos nada hubiese sido posible. Esto es para ellos, porque su esfuerzo por darme las herramientas necesarias fue incondicional y a cambio de nada, solo para que yo pudiese lograr sacar esto adelante. No hay vida suficiente para agradecerles todo lo hecho por ellos. Son lo más importante que tengo.

También quisiera agradecer a mis amigos de infancia y de colegio, ya que siempre fueron un apoyo constante para mí, como también a ex compañeros de mi otra etapa universitaria, primos/as, sobrinos/as y amigos/as que hice en los últimos años que han sido un gran apoyo.

Por último, agradecerles a mis profesores guías Sra. Claudia Moggia y Sr. Gustavo Lobos su apoyo en todo momento, la paciencia y las oportunidades que me brindaron como haber sido ayudante en sus ramos, como también el haberme esperado para terminar este proceso y sus consejos. Muchas gracias a Marcelo Valdés y a Carolina Bravo también por su ayuda en las mediciones de mi tesis, por su buena disposición y el buen ambiente que había en el laboratorio.

Muchas gracias a todos ellos....

RESUMEN

Para evaluar nuevas alternativas en la medición de firmeza en arándanos, se llevó a cabo un estudio de validación de diferentes aparatos medidores de firmeza (Penefel®, Durofel®, Durómetro) y la percepción táctil versus un equipo estándar (FirmTech 2®), en dos variedades de arándanos: una variedad de arbusto alto (*Vaccinium corymbosum* L.) cv. 'Brigitta' y una variedad ojo de conejo, cv. 'Ochlockonee', (*V. ashei* R.). Se hicieron ensayos de comparación para evaluar el grado de asociación (r^2) entre FirmTech 2® y los otros equipos (FirmTech 2® vs. Penefel®, FirmTech 2® vs. Durofel® y FirmTech 2® vs. Durómetro), además de probar los aciertos y desaciertos entre la percepción táctil y los datos obtenidos con FirmTech 2® para fruta de tres categorías de firmeza. En primer lugar, se evaluaron todos los datos obtenidos de las comparaciones (valores generales de firmeza), para luego segregar la fruta por firmeza en tres categorías: blanda ($<140 \text{ gmm}^{-1}$), media ($140\text{-}180 \text{ gmm}^{-1}$) y firme ($>180 \text{ gmm}^{-1}$). Se realizaron análisis con todos los datos y también excluyendo datos extremos de firmeza de FirmTech 2® (<100 y $>220 \text{ gmm}^{-1}$). Al evaluar los valores generales de firmeza, con y sin datos extremos, Penefel® logró las mayores asociaciones ($r^2 >0,6$) en ambos cultivares. Durofel® en cambio obtuvo valores altos solo en la variedad 'Brigitta', y el Durómetro en ninguno de los casos. Al momento de categorizar las firmezas y analizar sin datos extremos, se vio que los grados de asociación disminuyeron considerablemente en los tres aparatos y para cada categoría, con valores entre 0,09 y 0,4, que son considerados desde nulos hasta bajos. En el ensayo de comparación entre firmeza manual (percepción táctil) y FirmTech 2®, los aciertos fueron $> 55\%$, siendo en la categoría media de firmeza en donde se encontraron más aciertos, pero 30% de frutos categorizados manualmente de firmeza media, pertenecían en realidad a la clase de firmeza baja. Los resultados anteriores indican que las alternativas existentes en el mercado no serían útiles en la determinación de la firmeza en arándanos, lo que es un peligro para la industria de frutos frescos. Palabras clave: firmeza, arándano, FirmTech 2®, percepción táctil.

ABSTRACT

In order to evaluate new alternatives in the measurement of firmness of blueberry fruit, a study was developed to compare different firmness devices (Penefel®, Durofel®, Durometer) and the tactile perception, in two cultivars: Brigitta (*Vaccinium corymbosum* L.) and Ochlockonee (*V. ashei* R.). In the case of comparisons between devices, Penefel®, Durofel®, and Durometer were contrasted to FirmTech 2®, by calculating the coefficient of determination (r^2). Additionally, a group of fruit was first assessed by tactile perception and then measured with FirmTech 2® to estimate assertiveness of hand segregation. For the comparisons between devices, regressions were performed using all data, and then data were segregated by firmness categories: soft (<140 gmm⁻¹), medium (140-180 gmm⁻¹) and firm (>180 gmm⁻¹). In all cases, statistical analyses were carried out considering the whole set of data and also excluding extremely high and low values (<100 y >220 gmm⁻¹). When firmness data were analyzed without segregation, Penefel® resulted on the highest coefficients ($r^2 > 0,6$), for both varieties, whereas Durofel® obtained high r^2 only on 'Brigitta'; in contrast, association values for the Durometer were low for all cases. When fruit were segregated by firmness, all association coefficients decreased considerably ($r^2 = 0,09$ to $0,4$). Regarding the analysis for tactile perception, although more than 55% of assertiveness was achieved for the medium-category-fruit, around 30% of those berries (that were manually categorized as medium firmness) corresponded in fact to soft fruit. Previous results indicate that FirmTech 2® remains as the best alternative for determination of firmness in blueberries, when compared to alternative devices available at present. Key words: firmness, blueberry, FirmTech 2®, tactile perception.

ÍNDICE

	Páginas
1 INTRODUCCIÓN	4
1.1 Hipótesis	5
1.2 Objetivo general	6
1.3 Objetivos específicos	6
2 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	7
2.1 Descripción del arándano	7
2.2 Fruto del arándano y sus propiedades	7
2.3 Descripción de variedades usadas en este estudio	8
2.3.1 ‘Brigitta’	8
2.3.2 ‘Ochlockonee’	9
2.4 Parámetros de calidad en general	9
2.5 Firmeza como parámetro de calidad	10
2.5.1 Medición de la firmeza	12
2.5.2 Métodos de medición de firmeza usados en este estudio	13
3 MATERIALES Y MÉTODOS	15
3.1 Ubicación del estudio	15
3.2 Metodología de los ensayos	15
3.3 Equipos utilizados en los ensayos	15
3.3.1 FirmTech 2® (Bioworks Inc., Wamego, KS., USA)	15
3.3.2 Penefel® (Setop, Cavailon, France)	16
3.3.3 Durofel® (Setop, Cavailon, France)	17
3.3.4 Durómetro (Rex Gauge® Durometers, 2018)	18
3.3.5 Percepción táctil	18
3.4 Comparación de equipos:	19
3.4.1 Para valores generales de firmeza	19
3.4.2 Para cada categoría de firmeza	19
3.4.3 Comparación de firmeza manual vs. FirmTech 2®	19
3.5 Análisis de datos	19
4 RESULTADOS	20
4.1 Comparación de equipos: valores generales de firmeza	20
4.2 Comparación de equipos de acuerdo a cada categoría de firmeza	23
4.3 Comparación de firmeza manual vs FirmTech 2®	25
5 DISCUSIÓN	28

6	CONCLUSIONES	31
7	CITAS BIBLIOGRÁFICAS	32

ÍNDICE DE CUADROS

CAPÍTULO 4

	Pág.
Cuadro 4.1:	27
Cuadro de contingencia con los aciertos (si) y desaciertos (no) de la percepción táctil y las categorías de firmeza (blanda, media y firme).	
Cuadro 4.2:	27
Cuadro de la prueba de chi cuadrado ($p \leq 0,05$) para independencia de las variables. Extraído del programa Statgraphics®.	

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO 3

		Pág.
Figura 3.1:	Equipo FirmTech 2®. Cuenta con un tornamesa donde colocar las frutas, una célula de carga con un vástago el cual ejerce la presión en la fruta.	16
Figura 3.2:	Equipo Penefel®. Cuenta con un pedal, el cual activa la célula de carga y el vástago para que realice la presión, y también presenta una teclera con pantalla, con la cual se configura el equipo y se ven los valores de las mediciones.	17
Figura 3.3:	Equipo Durofel®. Cuenta con un vástago en el cuál se ve la medición de la firmeza y una teclera en la cual se configura el aparato y se visualizan las mediciones exactas de firmeza.	17
Figura 3.4:	Durómetro.	18
Figura 3.5:	Percepción táctil de un fruto de arándano.	18

CAPÍTULO 4

		Pág.
Figura 4.1:	Gráficos de dispersión y sus respectivos grados de asociación (r^2), para las variedades 'Brigitta' (A, C y E) y 'Ochlockonee' (B, D y F), sin distinción de firmeza ni datos extremos.	22-23
Figura 4.2:	Gráficos de dispersión y sus respectivos grados de asociación (r^2), para las variedades 'Brigitta' (A, C y E) y 'Ochlockonee' (B, D y F), sin datos extremos.	24-25
Figura 4.3:	Gráficos de dispersión y sus respectivos grados de asociación (r^2), para las variedades 'Brigitta' (A, C y E) y 'Ochlockonee' (B, D y F), para cada categoría de firmeza.	26-27
Figura 4.4:	Gráfico de aciertos (Si) y desaciertos (No) entre la percepción manual y la firmeza medida con FirmTech 2®. "n" representa el número de frutos utilizados.	28

1 INTRODUCCIÓN

El arándano es un cultivo de alto interés en el mundo. Su elevado consumo, motivado por sus características alimenticias que se asocian a un estilo de vida saludable, ha incidido en un aumento de la producción mundial durante los últimos años (González *et al.*, 2013). Según cifras de la FAO (2016) (en Romero, 2016), desde el año 2000 hasta el 2014, la producción de fruta fresca en el mundo se ha incrementado de 257 mil toneladas a 585 mil ton, aproximadamente (Romero, 2016). En este sentido, desde su introducción a finales de los años 1980 (Retamales *et al.*, 2014), Chile no ha sido la excepción; al censo agropecuario de 1997 (INE, 1997) existían 1.172 ha, las que aumentaron a 17.526 ha durante el 2018 (ODEPA, 2019).

Según cifras económicas, de los 5 mil millones de USD FOB que Chile ingresó por exportaciones de fruta fresca a finales del año 2018, el arándano aportó con cerca de 647 millones, representando un 12,9% (Banco Central de Chile, 2019; ODEPA, 2019). Este rápido incremento ha permitido que Chile, se haya convertido en el exportador más importante del hemisferio sur (Retamales *et al.*, 2014), siendo Estados Unidos nuestro principal comprador (González, 2017), aun cuando mercados como el europeo y asiático crecen vertiginosamente (Chilean Blueberry Committee, 2018).

Producto del aumento de la exigencia de los consumidores, los requisitos de los mercados también han incrementado, así como la aparición de nuevos competidores. Esto ha incidido en que los productores/exportadores chilenos tengan que hacer esfuerzos importantes para llegar a los destinos con una fruta de buena calidad, especialmente a países lejanos (González, 2017). Dentro de las características de calidad e importancia a nivel de fruto, destacan el color, dulzor, pruina (“bloom”), firmeza y ausencia de defectos (Undurraga y Vargas, 2013). Una de las características más relevantes es la firmeza; asociándose el ablandamiento con la deshidratación y el daño mecánico, entre otros (Paniagua *et al.*, 2013; González, 2017).

Los principales defectos en arándanos de exportación son la pudrición, deshidratación, ablandamiento, daños mecánicos, pérdida de apariencia, desarrollo de desórdenes y pérdida de firmeza (Defilippi *et al.*, 2013; Defilippi y Rivera, 2015). La cantidad de variedades existentes hoy en día es un problema para los exportadores, debido a que sus comportamientos en pre y postcosecha son distintos; a esto se añade la falta de índices de cosecha por variedad, diferencias por zona agroclimática de plantación, y variaciones en cuanto a tasa respiratoria, producción de etileno, susceptibilidad a pudriciones, relación azúcar/ácidos y firmeza (Defilippi *et al.*, 2013; Defilippi y Rivera, 2015). En especial, la dificultad para distinguir el estado de madurez a cosecha, basado sólo en el color externo del fruto, incide en una alta variabilidad en firmeza, tanto a

cosecha como en postcosecha, lo que resulta en unidades comerciales (“clamshells”) con fruta heterogénea (Lobos *et al.*, 2018). En términos de exportación es problemático que haya tanta disparidad en la fruta, ya que, debido a los largos trayectos vía marítima, las diferencias en el producto se acentúan al llegar al consumidor final (Defilippi y Rivera, 2015).

La firmeza de los arándanos se puede medir de forma subjetiva mediante la percepción táctil, o de forma objetiva con instrumentos diseñados específicamente para ello. Estos aparatos suelen ser clasificados como destructivos o no destructivos, sin embargo, no todos están debidamente validados, ya que han sido diseñados para medir la firmeza en otras frutas o materiales. A modo de ejemplo, Penefel® (diseñado para medir firmeza en manzanas, peras y duraznos), Durofel® (para cerezas, duraznos, damascos y tomates), y Durómetro (para diversos materiales y frutas), han sido utilizados para comparación con otros instrumentos nuevos o también para medir en fruta distinta a las predeterminadas. Slaughter y Thompson (2005) contrastaron Durómetro y Penetrómetro con sensores de firmeza no destructivos en peras (*Pyrus communis* L.) cv. ‘Bartlett’, en tanto, Padda *et al.* (2011), compararon el Durómetro, penetrómetro, percepción táctil, resonancia acústica e impactos elásticos con masas de bajo peso en mangos (*Mangifera indica* L.). Otros instrumentos utilizados son el penetrómetro, (medidor de firmeza destructivo), y un aparato llamado Instron®, (dispositivo que mide la resistencia de materiales a la deformación); ambos han sido usados en uvas (Bernstein y Lustig, 1981). En la década de los ‘90, aparecen equipos de mayor costo, pero con mejor precisión, como el FirmTech 2® (Bioworks Inc., Wamego, KS., USA), diseñado específicamente para la medición en frutos de menor tamaño, utilizándose de forma más rutinaria en la investigación (BioWorks Inc., 2018). Otros instrumentos que se han evaluado en cerezas (*Prunus avium* L.) son el MTG (Momentum Transfer Generator) (Washington State Univ., Pullman), Low Mass Impactor (Univ. of California, Davis), UC Firmness Tester (Western Industry Supply Co., San Francisco) (Mitcham *et al.*, 1998).

Dada la gran variabilidad en firmeza que se observa en las unidades comerciales de arándanos, se hace necesario llevar a cabo ensayos para validar la medición táctil y equipamiento de bajo valor comercial, que permitan realizar mediciones objetivas y comparables en el tiempo.

1.1 Hipótesis

La medición de la firmeza en arándanos mediante instrumentos de bajo costo y el uso de la percepción táctil, respecto de un instrumento de mayor costo y precisión, debieran alcanzar asociaciones medias a altas ($r^2 > 0.6$) (Evans, 1996).

1.2 Objetivo general

Determinar el grado de asociación (r^2) de las firmezas registradas con un instrumento de mayor costo y precisión (FirmTech 2®), respecto de aquellas obtenidas mediante aparatos de bajo costo (Penefel®, Durofel® y Durómetro) y el uso de la percepción táctil.

1.3 Objetivos específicos

1. Evaluar el grado de asociación de las mediciones de firmeza registradas con el FirmTech 2® (control) respecto de aquellas obtenidas mediante Penefel®, Durofel® y Durómetro.
2. Cuantificar la efectividad de la percepción táctil de la firmeza respecto de las del equipo FirmTech 2®.
3. Para los objetivos 1 y 2, determinar si existen diferencias en la predicción asociadas a la categoría de firmeza de la fruta (blanda, media y firme).

2 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 Descripción del arándano

El arándano es una planta frutal nativa de Norte América, que pertenece a la familia de las Ericaceas, dentro de la cual está la subfamilia Vaccinioideae, que contiene el género *Vaccinium* (Pritts y Hancock, 1992). Este género abarca a las especies *V. corymbosum* L. (arándano de arbusto alto AAA o “highbush”), *V. ashei* R. (arándano ojo de conejo AOC o “rabbiteye”; sinónimo *V. virgatum* A.), y especies nativas de arándano de arbusto bajo o “lowbush”, como *V. angustifolium* A. (Retamales y Hancock, 2012). La superficie comercial mundial, cerca de 135 mil ha, proviene en su gran mayoría (85%) de las especies *V. corymbosum* y en menor proporción (15%) de *V. ashei*, con una producción que excede las 860 mil ton, incluyendo procesados (Retamales y Hancock, 2012; IBO, 2017). Los arándanos de arbusto bajo tienen una producción cercana a las 206 mil ton, y una superficie mundial no estimada exactamente, debido a que son arbustos silvestres, aunque la mayoría de la producción viene del este de Norteamérica, donde se cultivan cerca de 60 mil ha (García *et al.*, 2013; IBO, 2017).

Según los requerimientos climáticos, el arándano alto se divide en arbusto alto del sur (“Southern Highbush”), que requiere menos horas de frío, y arbusto alto del norte (“Northern Highbush”) que requiere acumular más frío en receso invernal. Algunas variedades Southern son ‘O’Neal’, ‘Legacy’ y ‘Jewel’; en tanto para Northern están ‘Brigitta’, ‘Duke’ y ‘Elliott’. Dentro de rabbiteye están las variedades ‘Ochlockonee’, ‘Brightwell’ y ‘Tifblue’ (Morales, 2017).

2.2 Fruto del arándano y sus propiedades

El fruto del arándano es una baya semi-esférica, que varía en tamaño entre los 0,7 y 1,5 cm de diámetro en madurez y su color va desde azul hasta negro, otorgado por las antocianinas de la piel (Buzeta, 1997; Retamales y Hancock, 2012). Su cobertura tiene una cera protectora llamada pruina (“bloom”), que le otorga una apariencia opaca (Buzeta, 1997; González *et al.*, 2003).

Su composición se caracteriza por un 87% de agua, 15% de carbohidratos, 1,5% de fibra y el restante porcentaje entre proteínas y grasas (Hancock *et al.*, 2003, citado en Retamales y Hancock, 2012). Los azúcares componen algo más del 10% del peso fresco, donde la glucosa y la fructosa son los más importantes, representando un 2,4% (Retamales y Hancock, 2012). Otro

compuesto importante son los antioxidantes, siendo una de las frutas frescas más ricas en este componente, lo que ha hecho que su consumo haya aumentado por sus beneficios a la salud humana (Retamales y Hancock, 2012).

La relación sólidos solubles (SS) y acidez titulable (AT) es uno de los índices de madurez (SS/AT) y calidad a considerar en el arándano. En general, el impulso inicial de compra de un consumidor de arándanos se basa en la apariencia de la fruta y su firmeza (Retamales y Hancock, 2012). Para el sabor, los ácidos orgánicos son importantes, ya que la composición de estos es un atributo característico del género *Vaccinium*, y difiere entre los AAA y los AOC: mientras en el AAA el ácido predominante es el cítrico con un 75% de promedio, en el AOC los ácidos succínicos (50%) y málico (34%) son los predominantes (Ehlenfeldt *et al.*, 1994). Además, según Bremer *et al.* (2008), la composición de los ácidos altera la calidad sensorial, ya que el ácido succínico provee un sabor amargo, y la combinación de ácido málico y cítrico le da un sabor agrio a la fruta.

Un aspecto de importancia acerca de la maduración es su naturaleza climatérica, caracterizada por un incremento en la producción de etileno y la tasa respiratoria durante la madurez. En contraste a otras frutas, el arándano desarrolla su sabor cercano a madurez de consumo, por lo que debe cosecharse en esa fecha, debido a que después de cosecha no mejoran este atributo (Undurraga y Vargas, 2013; Morales, 2017).

2.3 Descripción de variedades usadas en este estudio

2.3.1 'Brigitta'

Es un AAA del norte, proveniente de Australia (1980). Requiere más de 800 horas de frío. Es un arbusto que crece vertical, y que presenta resistencia moderada al invierno, por lo que es importante en zonas que presentan un invierno templado, (Retamales y Hancock, 2012). Sus bayas son firmes, grandes y dulces, con una pequeña cicatriz y una larga vida postcosecha. Es sensible al calor, debido a que se deshidrata y ablanda de forma prematura (González y Morales, 2017). Se han registrado valores de firmeza al momento de cosecha de 1,60 N promedio (Ehlenfeldt y Martin, 2002). En otro estudio, valores similares de firmeza se registraron, con 1,63 N en fruta más inmadura y 1,31 N en fruta más madura (Moggia *et al.*, 2016). Algunos rasgos de calidad para este cultivar, a la hora de exportar, son la acidez titulable, sólidos solubles y el pardeamiento interno. La orientación de las plantas afecta la firmeza de la fruta a cosecha, ya que según Lobos *et al.* (2018), las bayas que estaban orientadas hacia el oeste presentaron mayor firmeza que las que estaban hacia el este. La sobremadurez de la fruta también afecta la

firmeza, disminuyéndola, y constituye una problemática importante al momento de la cosecha, ya que uno de los principales índices de madurez es el color del fruto. De esta forma, fruta con igual apariencia externa puede tener una madurez fisiológica distinta, lo que incide en su potencial de postcosecha; por lo tanto, es importante que la recolección sea lo más frecuente posible (Lobos *et al.*, 2018).

2.3.2 'Ochlockonee'

Es un cultivar de AOC, proveniente de Georgia (2002). Es tardío, con requerimiento de horas frío de 600-800 h. El arbusto es moderadamente vertical, vigoroso, con coronas estrechas y de alta productividad. Sus frutos son grandes, medianamente azules, de firmeza media con una pequeña cicatriz y de sabor dulce. Muestra una buena resistencia al cracking frente a las lluvias (Retamales y Hancock, 2012). En un estudio de NeSmith *et al.* (2003), se calificaron algunos atributos en una escala de 1 a 10, donde 1 era pobre y 10 lo mejor (7 era comercialmente aceptable), como, por ejemplo, cicatriz (8), color (8,2), sabor (7,7), tamaño de planta (9,2) y firmeza (7,7). La resistencia de su piel (punción, con Instron® modelo 1122, Instron Corp., Canton, MA, USA) y la firmeza del fruto (con el instrumento Kramer Shear press, Catalog 2830-018, Instron Corp., Canton, MA, USA) se midieron, resultando en 0,95 N y 0,54 N, respectivamente (Itle y NeSmith, 2017). Para los AOC, en general, es importante mantener la firmeza durante los manejos de postcosecha y almacenaje, y según lo visto por MacLean y NeSmith (2011), el uso de 1-metilciclopropeno (1-MCP) no ayudó en la mantención de la firmeza, e incluso aceleró la producción de etileno.

2.4 Parámetros de calidad en general

Para el mercado de fruta fresca, la calidad de la producción es indispensable, y se define como el nivel de excelencia de un producto, gracias a la combinación de atributos y propiedades, que le dan valor en términos de consumo humano (Kader, 1999).

Los parámetros de calidad más importantes en arándanos están dados por el tamaño, color, apariencia (ausencia de daños), cicatriz de pedúnculo pequeña y seca, sabor, nivel de sólidos solubles, acidez y la firmeza (Gough, 1984; Beaudry, 1992; Retamales y Hancock, 2012; Lobos *et al.*, 2014).

El color es un atributo visual de rápida revisión, que en madurez corresponde a un azul claro determinado por la cantidad de antocianinas y cera de la piel ("bloom"). Esta cera, es sensible al

roce y golpes, por lo tanto, es muy importante una mínima manipulación en la cosecha para su preservación (Defilippi *et al.*, 2013). El color es el índice utilizado actualmente para la cosecha, debiendo el fruto tener entre un 90 y 100% de cubrimiento de color azul (Banse, 2006). Para medir objetivamente este atributo, se utiliza comúnmente un colorímetro, que indica variables mediante una escala (L^* , a^* y b^*). Los valores de L^* indican claridad, (así colores más oscuros entregan valores más bajos); a^* indica la preponderancia de colores rojos o verdes (a^* negativo o positivo, respectivamente), y b^* se refiere a la expresión de componente azul (Retamales y Hancock, 2012).

La cantidad de sólidos solubles es otro aspecto de importancia en el arándano. Al acercarse a la madurez, pasando del estado rojo al violáceo, los azúcares totales se incrementan, debido principalmente a un incremento de los azúcares reductores. Según Saftner *et al.* (2008), una diferencia en los sólidos solubles entre cultivares no tiene mucha importancia en la percepción de la dulzura en la fruta; en los cvs. 'Bluegold' y 'Chanticleer' tienen una alta cantidad de sólidos solubles (13,2 y 13%, respectivamente) y 'Lateblue', 'Colville' y 'Duke', que contenían menos sólidos solubles (10,6 10,8 y 10,9% respectivamente), no se observaron grandes diferencias en cada grupo. La relación SS/AT ha sido asociada a la calidad de guarda en postcosecha, en la que se distinguen 3 categorías de valores: (i) relaciones menores a 18 indican una buena calidad de guarda, (ii) valores entre 18 y 32 implican una calidad media, y (iii) calidad de guarda baja para valores mayores a 32 (Galletta *et al.*, 1971). Esta proporción se diferencia entre los tipos de arándano; Ballington *et al.* (1984) reportaron valores promedio de 4,7 para los AAA y de 10,5 para los AOC. En tanto Saftner *et al.* (2008) mencionan que para 'Weymouth' y 'Bluecrop' (dos cultivares de AAA) la proporción de SS/AT fue de 20,1 y 24,9.

2.5 Firmeza como parámetro de calidad

Se puede definir firmeza como la resistencia del fruto a una fuerza o compresión que se le aplique en su superficie (Ballinger *et al.*, 1973; Kinzey y Norconk, 1990). Es un atributo físico importante en los frutos y, al estar relacionado con cambios estructurales y fisicoquímicos, se le considera un buen indicador de madurez, así como de estimación de calidad durante almacenamiento y postcosecha (Barreiro y Ruiz, 1996; Scheidt y Silva, 2017). La firmeza del fruto variará dependiendo de factores como momento de cosecha, hora de cosecha, forma y sistema de almacenamiento, y temperatura/humedad relativa de guarda (Zapata *et al.*, 2010). Respecto a la hora de cosecha y uso de bolsas de atmósfera modificada, Moggia *et al.* (2014) vieron que

la bolsa retuvo la firmeza de los frutos, tanto para la cosecha realizada en la mañana como para la tarde, siendo más determinante en la cosecha de la mañana.

La firmeza está determinada fuertemente por la anatomía física de los tejidos: tamaño, conformación, forma y turgor de la célula, características de la lamela media (mantiene unidas a las células como un enlace) y la pared celular (estructura rígida, que comprende altos niveles de agua 65 %, cadenas de polímeros complejos de celulosa, pectina, hemicelulosa, entre otros componentes) (Toivonen y Brummell, 2008; Scheidt y Silva, 2017). Otro rasgo importante del fruto es el tamaño de la cicatriz, ya que ha sido asociado a la pérdida de firmeza; se vio que los frutos que tenían una cicatriz más grande, habían perdido más firmeza por una mayor pérdida de agua (Moggia *et al.*, 2017). Un elemento importante en la mantención de la firmeza es la concentración de calcio en los tejidos, y una deficiencia de éste puede afectar la calidad del fruto, haciéndolo susceptible a desórdenes fisiológicos, tales como pardeamiento interno, daño por congelamiento y pitting.

La firmeza en los frutos de arándanos va cambiando durante su desarrollo, siendo extremadamente firmes en el estado verde, y que al cambiar a color verde rosa empieza a ablandarse, perdiendo presión hasta el momento de cosecha en estado azul pero a una tasa menor (Barbosa-Cánovas *et al.*, 2003; Moggia *et al.*, 2018). Ballinger *et al.* (1973) indican que los frutos pequeños tienden a ser más firmes que los grandes, y que al pasar de color verde de madurez a rojizo hay ablandamiento de la fruta. Respecto a la fecha de cosecha, indica que varía de un año a otro. Moggia *et al.* (2018) vieron en cvs. 'Brigitta' y 'Duke' como la calidad de los frutos de arándanos cambiaba durante su desarrollo, basándose en el color (verde menos maduro y azul 100% maduro), y la firmeza disminuyó entre un 45-47% de su firmeza inicial, al alcanzar un 75% de color azul (considerada como la primera etapa adecuada de cosecha). Es deseable que las frutas cosechadas conserven una buena firmeza, para tolerar los posibles daños por manipulación luego de la colecta en campo. Una baya resistente es sinónimo de frescor y un mayor periodo de almacenamiento; que se reduce debido al ablandamiento producido por la madurez, haciéndolas más susceptibles a daños mecánicos y la entrada de patógenos (Zapata *et al.*, 2010).

En relación a la temperatura de almacenamiento, la firmeza de los arándanos tiende a mantenerse cuando se almacenan a temperaturas cercanas a 0°C y a una humedad relativa de 90-95%, debido a que se inhiben actividades enzimáticas y producción de etileno, lo que retrasa el ablandamiento (Perkins-Veazie, 2004; Chiabrande *et al.*, 2009). Por otro lado, con altas temperaturas, la firmeza va disminuyendo, ya que se acelera el metabolismo del arándano y de patógenos, lo que incrementa la pérdida de humedad conllevando al ablandamiento y pérdida de

peso de los frutos durante su almacenaje (Ballinger *et al.*, 1973; Paniagua *et al.*, 2013; Paniagua *et al.*, 2014).

La variedad y el genotipo juegan un rol importante en la firmeza de la fruta, lo que a su vez determinaría la resistencia al daño mecánico (Yu *et al.*, 2014). Como se observó en un estudio de Chiabrando *et al.* (2009), la firmeza entre los cultivares 'Bluecrop' y 'Colville' mostró diferencias significativas a medida que iba avanzando el período de almacenamiento. En otro estudio, Zapata *et al.* (2010), trabajó con las variedades 'O'Neal', 'Misty', 'Reveille' y 'Emerald', y la firmeza medida en todas las variedades fue distinta, siendo 'Misty' la más firme, con una fuerza máxima de 1,94 N y 'Reveille' la menos firme, con una fuerza máxima de 1,56 N. Itle y NeSmith (2017) encontraron que entre AAA y AOC no habían diferencias significativas en firmeza, aunque en estudios anteriores se vio que los AOC son más firmes que los AAA (Makus y Morris, 1993; Ehlenfeldt y Martin, 2002; Silva *et al.*, 2005; Souza *et al.*, 2006).

Se ha visto una gran heterogeneidad en firmeza en unidades comerciales de arándanos ("clamshell"), lo que ocurriría por las variaciones en los estados de madurez de la fruta dentro de la misma planta, condiciones ambientales y procedimientos de manejo; todo ello afectaría las proporciones de frutos blandos, medios y firmes tanto en cosecha como en postcosecha (Moggia *et al.*, 2016). Los mismos autores sugieren que independiente de la temporada o el cultivar, la ocurrencia de algún evento ambiental adverso puede aumentar la proporción de fruta blanda durante la exportación y provocar su rechazo en destino.

2.5.1 Medición de la firmeza

La exigencia de calidad en los mercados de destino de la fruta incluye no solo características visuales sino también la firmeza. Defectos en este atributo, junto a la deshidratación y el ablandamiento, provocan la mayor cantidad de rechazos en las embarcaciones (Moggia *et al.*, 2016). Siendo los arándanos tan perecederos, es importante que la calidad de la fruta sea óptima, para asegurar retorno económico (Retamales *et al.*, 2014).

Los frutos se consideran listos para ser cosechados cuando llegan al 100% de color azul, pero como no todos los frutos maduran de forma uniforme en un racimo, los productores prefieren que se acumule fruta azul en los arbustos entre cosechas (Gough, 1984; Lobos *et al.*, 2014). Esto significa que se cosecha fruta con un mismo color, pero en diferente estado fisiológico, lo que se traduce en un problema para los envíos a mercados distantes por vía marítima, ya que son

alrededor de 50 días de viaje, y la heterogeneidad tiende a incrementarse con mayores períodos de almacenamiento (Lobos et al., 2017; Moggia et al., 2018).

A pesar de la importancia de la firmeza en la percepción por parte del consumidor, este atributo se ha medido, principalmente, de manera subjetiva mediante la percepción táctil (compresión del fruto entre los dedos); sin embargo, se hace cada vez más recurrente la medición con instrumentos diseñados especialmente para medir firmeza. Estos instrumentos se basan en la fuerza requerida para alcanzar una cierta deformación, hecha por un vástago o sonda (Barbosa-Cánovas et al., 2003). En arándanos, se ha usado el equipo FirmTech 2® en diversos estudios para medir firmeza (Prussia, et al., 2006; Saftner et al., 2008; Yang et al., 2009; Lobos et al., 2014; Moggia et al., 2017; entre otros).

2.5.2 Métodos de medición de firmeza usados en este estudio

Para la medición de la firmeza en arándanos, no hay un método estandarizado, y es por eso que muchas técnicas e instrumentos han sido probados. Hay mediciones de tipo subjetiva o instrumental (Chiabrande et al., 2009). La percepción táctil es una medición simple y rápida, que consiste en tomar un fruto entre los dedos índice y pulgar, ejerciendo una leve presión, y así definir si es blando, medio o firme. Sin embargo, este método subjetivo, depende de la experiencia de la persona y demanda tiempo y trabajo debido al número de muestras a medir (Jiang et al., 2016; Portal frutícola, 2018).

Actualmente se utilizan métodos más objetivos a través de mediciones instrumentales con equipos especiales. Estos equipos se pueden clasificar en destructivos y no destructivos, en base a que las muestras se destruyan y queden inutilizables (destructivos) o que no se destruyan y puedan reutilizarse para ser medidas (Studman, 1999). Entre los equipos destructivos se encuentran el Penefel® y Durómetro, y en la clasificación de no destructivos se encuentran el Durofel® y FirmTech 2®, ya que ejercen presión sobre los frutos sin provocar ruptura de la piel (Studman, 1999; Núñez et al., 2008; Chiabrande et al., 2009).

El FirmTech 2® es considerado el instrumento estándar “de facto”, tanto en la investigación como en la industria. Sin embargo, dado su costo, su uso no se ha masificado. Mide firmeza gracias a un vástago de carga unido a un motor, que ejerce presión sobre las frutas dispuestas en 25 espacios de un tornamesa. La medición se basa en la fuerza promedio para deformar la superficie de la fruta en 1 mm (la pendiente de una curva de fuerza-deformación) (Tetteh, 2002; Saftner et al., 2008). Si bien se puede configurar la presión ejercida por el equipo, se ha visto

que, aunque sea clasificado como no destructivo, ocasiona un pequeño daño en el fruto a nivel de subepidermis y pulpa (Allan-Wojtas *et al.*, 2001; Tetteh, 2002).

Hay otros instrumentos que miden firmeza y que no ejercen contacto mecánico directo con la fruta, por lo tanto, no dañan la fruta (Li *et al.*, 2011). Estos aparatos usan otras propiedades para predecir firmeza, como la acústica, sonido, y ultrasonido, los cuales miden el tiempo transcurrido de la transmisión del sonido a través de la fruta, donde las tasas de transmisión en aumento serían un indicativo de fruta más blanda (Muramatsu *et al.*, 1997; Sugiyama *et al.*, 1998). Adicionalmente se han utilizado imágenes de resonancia magnética, las cuales miden firmeza mediante la respuesta de protones a un campo magnético externo (Stroshine *et al.*, 1991). Se vio que a medida que la fruta iba madurando y ablandando, la cantidad de protones aumentaba. Prussia *et al.* (1994) diseñaron un medidor de firmeza en base a un sensor láser, que mide la deformación creada por un breve soplo de aire presurizado en la superficie de la fruta. Bajo una presión constante de aire, la fruta más firme se deformaría menos. Este aparato nunca se usó en frutas pequeñas, hasta que Li *et al.* (2011) lo probaron en arándanos, comparándolo con el FirmTech 2®, y se demostró la eficacia del instrumento en la medición de firmeza de arándanos al mostrar una alta correlación ($r^2= 0,80$), e incluso ofrece un nuevo índice para evaluar elasticidad y una mejor evaluación de textura.

Dado lo anterior, la industria está interesada en encontrar algún instrumento de menor costo, que pueda reemplazar el uso del FirmTech 2® con similares niveles de precisión. Entre ellos: a) Penefel®; recomendado para manzanas, peras y duraznos (Setop., Cavailon, France); b) Durofel®; diseñado para frutos suaves (cerezas, duraznos, damascos y tomates) (Setop., Cavailon, France), y c) Durómetro; que ha sido utilizado en varios materiales, incluyendo frutas como peras y mangos (Slaughter y Thompson, 2005; Padda *et al.*, 2011; Rex Gauge® Durometers, 2018). Adicionalmente, se busca cuantificar la certeza de la medición táctil.

3 MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Ubicación del estudio

Este ensayo se llevó a cabo en el laboratorio de Ecofisiología de Postcosecha, perteneciente a la Facultad de Ciencias Agrarias, ubicado en el Campus Lircay de la Universidad de Talca.

3.2 Metodología de los ensayos

La fruta facilitada por el Comité de Arándanos de Chile, correspondió a los cvs. 'Brigitta' y 'Ochlockonee'. La metodología consistió en medir la firmeza de los frutos, a nivel ecuatorial, por ambas caras; la primera medición se realizó con el equipo FirmTech 2®, y la segunda medición, en la cara opuesta del fruto, con uno de los equipos alternativos. Esto se repitió, con grupos de frutos diferentes, en cada comparación entre equipos: FirmTech 2® vs, Penefel®, FirmTech 2® vs. Durofel® y FirmTech 2® vs. Durómetro.

3.3 Equipos utilizados en los ensayos

3.3.1 FirmTech 2® (Bioworks Inc., Wamego, KS., USA)

La fruta era dispuesta apoyando la zona ecuatorial sobre un plato rotatorio con disponibilidad para 25 frutos. Al hacer funcionar el equipo, el plato gira y cada arándano queda ubicado bajo el vástago, el que presionando la fruta y estima la fuerza utilizada (gmm^{-1}). Antes de la medición, se calibró el vástago con una masa de referencia (250 g de masa, 43 mm de diámetro y 21 mm de alto). El equipo se configuró con 200 g máximo y 15 g mínimo de fuerza de compresión, velocidad de vástago de 16 mms^{-1} y 1,57 rps para el plato rotatorio, según lo señalado por Ehlenfeldt *et al.* (2002) y Saftner *et al.* (2008).

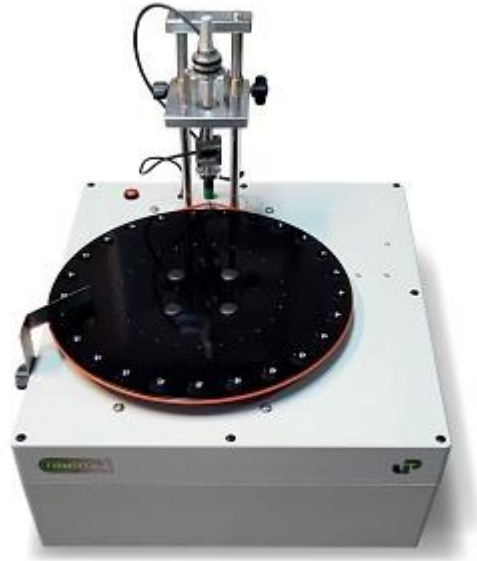


Figura 3.1: Equipo FirmTech 2®. Cuenta con un tornamesa donde colocar las frutas, una célula de carga con un vástago el cual ejerce la presión en la fruta.

3.3.2 Penefel® (Setop, Cavillon, France)

La fruta se posicionaba en cada espacio de la bandeja plástica (externa al aparato). La bandeja con la fruta se ubicaba debajo del vástago, el cual fue adaptado con una pieza circular de metal, asemejando el vástago del FirmTech 2®. La medición se realizaba mediante la presión de un pedal conectado al Penefel. Como este equipo no cuenta con un plato rotatorio, la bandeja se iba moviendo manualmente de manera que la fruta a medir quedara debajo del vástago. Los parámetros de configuración fueron: umbral 100 (valor mínimo) y profundidad 5; ésta última se definió previo análisis de distintas profundidades 2, 5, 10, 20, 40 y 80 y su grado de asociación con los valores del FirmTech 2®. Luego de probar con las profundidades que obtuvieron los mejores niveles de asociación (5, 10 y 20), se decidió trabajar con 5, debido a que obtuvo los mejores resultados (datos no mostrados).

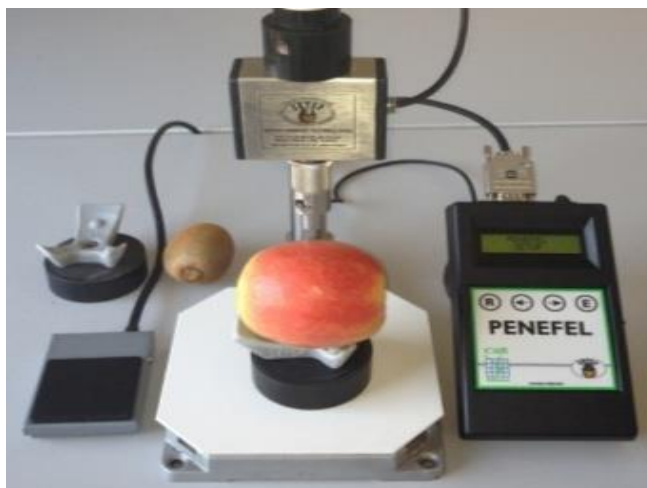


Figura 3.2: Equipo Penefel®. Cuenta con un pedal, el cual activa la célula de carga y el vástago para que realice la presión, y también presenta una teclera con pantalla, con la cual se configura el equipo y se ven los valores de las mediciones.

3.3.3 Durofel® (Setop, Cavailon, France)

Al igual que con el Penefel®, la fruta se posicionaba en bandejas plásticas, y con los dedos índice y pulgar se sostenía la fruta, mientras que con la otra mano se realizaba la compresión. El vástago utilizado fue el que se usa en cerezas (2,5 cm²). Se le hizo una modificación al vástago, al agregársele una golilla de metal, para que quedara con una medida más acorde al tamaño del fruto.



Figura 3.3: Equipo Durofel®. Cuenta con un vástago en el cuál se ve la medición de la firmeza y una teclera en la cual se configura el aparato y se visualizan las mediciones exactas de firmeza.

3.3.4 Durómetro (Rex Gauge® Durometers, 2018)

La medición de firmeza realizada con Durómetro sigue el mismo procedimiento que para el Durofel®.



Figura 3.4: Durómetro.

3.3.5 Percepción táctil

Para la categorización de firmeza de forma manual, se requirió la ayuda de una persona con experiencia en percepción manual (técnico encargado del laboratorio, con más de 5 años de práctica). La fruta se tomaba entre los dedos índice y pulgar, se ejercía una leve compresión para luego, según la sensación de firmeza, clasificar los frutos en una de las tres categorías consideradas (blanda, media o firme).



Figura 3.5: Percepción táctil de un fruto de arándano.

3.4 Comparación de equipos:

3.4.1 Para valores generales de firmeza

Con los datos de firmeza obtenidos con cada instrumento, se realizaron análisis de regresión en cada comparación de dos tipos: 1) con datos extremos, que incluye todos los datos registrados y, 2) sin datos extremos, eliminando aquellos valores que se consideran poco probables en una exportación comercial (< 100 y > 220 gmm⁻¹). No se realizó una categorización de firmeza.

3.4.2 Para cada categoría de firmeza

Los frutos fueron medidos con FirmTech 2®, y en función del resultado, asignados en alguna de las tres categorías: blanda (<140 gmm⁻¹), media (140-180 gmm⁻¹) y firme (>180 gmm⁻¹). Para cada una de las comparaciones (FirmTech 2® vs. Penefel®, FirmTech 2® vs. Durofel® y FirmTech 2® vs. Durómetro), se realizaron análisis de regresión al igual que en la modalidad anterior: considerando o no datos extremos.

3.4.3 Comparación de firmeza manual vs. FirmTech 2®

Para esta prueba, se utilizó la información obtenida de ambos cvs., en conjunto y para cada categoría. Se estudió el número de aciertos (si)/desaciertos (no) entre la categorización manual (blanda, media y firme) y la correspondiente al FirmTech 2®: blanda (<140 gmm⁻¹), media (140-180 gmm⁻¹) y firme (>180 gmm⁻¹).

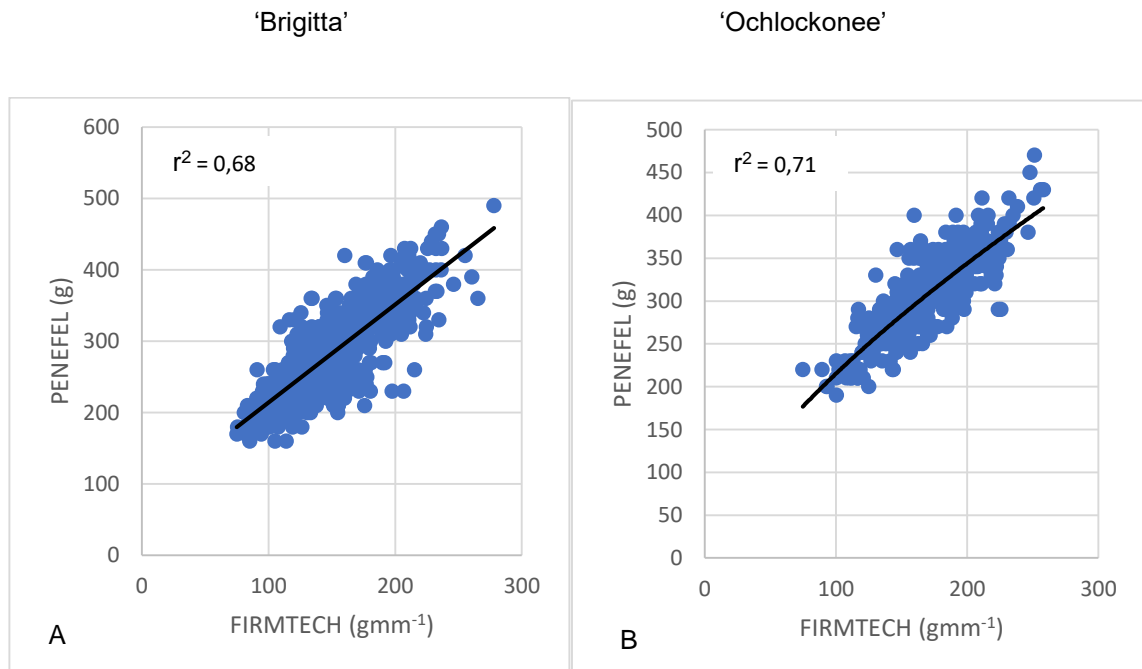
3.5 Análisis de datos

Los datos obtenidos de las diferentes comparaciones fueron sometidos a análisis de correlación y regresión. Para ello se utilizaron los programas Microsoft Excel®, y Statgraphics Centurion® XVI Versión 16.2.04 (Statgraphics Technologies, Inc. Virginia, USA). Se calcularon los valores de coeficiente de determinación (r) y su nivel de significancia ($p \leq 0.05$). La comparación de firmeza manual vs. FirmTech 2® fue analizada mediante prueba de chi-cuadrado ($p \leq 0.05$).

4 RESULTADOS

4.1 Comparación de equipos: valores generales de firmeza

En esta comparación, se tomaron todos los datos obtenidos por variedad, incluyendo los datos extremos y sin discriminar por categoría de firmeza de los frutos. En la variedad 'Brigitta', Durofel® obtuvo el mayor grado de asociación ($r^2 = 0,68$), el que es relativamente alto, seguido de Penefel® y Durómetro (Figura 4.1 A, C y E). Cabe destacar, que la diferencia entre Durofel® y Penefel® es pequeña, mientras que el Durómetro se aleja de los otros dos instrumentos, obteniendo un valor intermedio. Para la variedad 'Ochlockonee', Penefel® también obtuvo el mayor grado de asociación ($r^2 = 0,71$), seguido de Durofel® y Durómetro (Figura 4.1 B, D y F). Es de interés señalar que, en esta variedad, los valores se diferencian con mayor claridad, ya que hay más diferencia entre cada uno de los niveles de asociación y, que en el caso del Durómetro, su grado de asociación es extremadamente bajo ($r^2 = 0,097$).



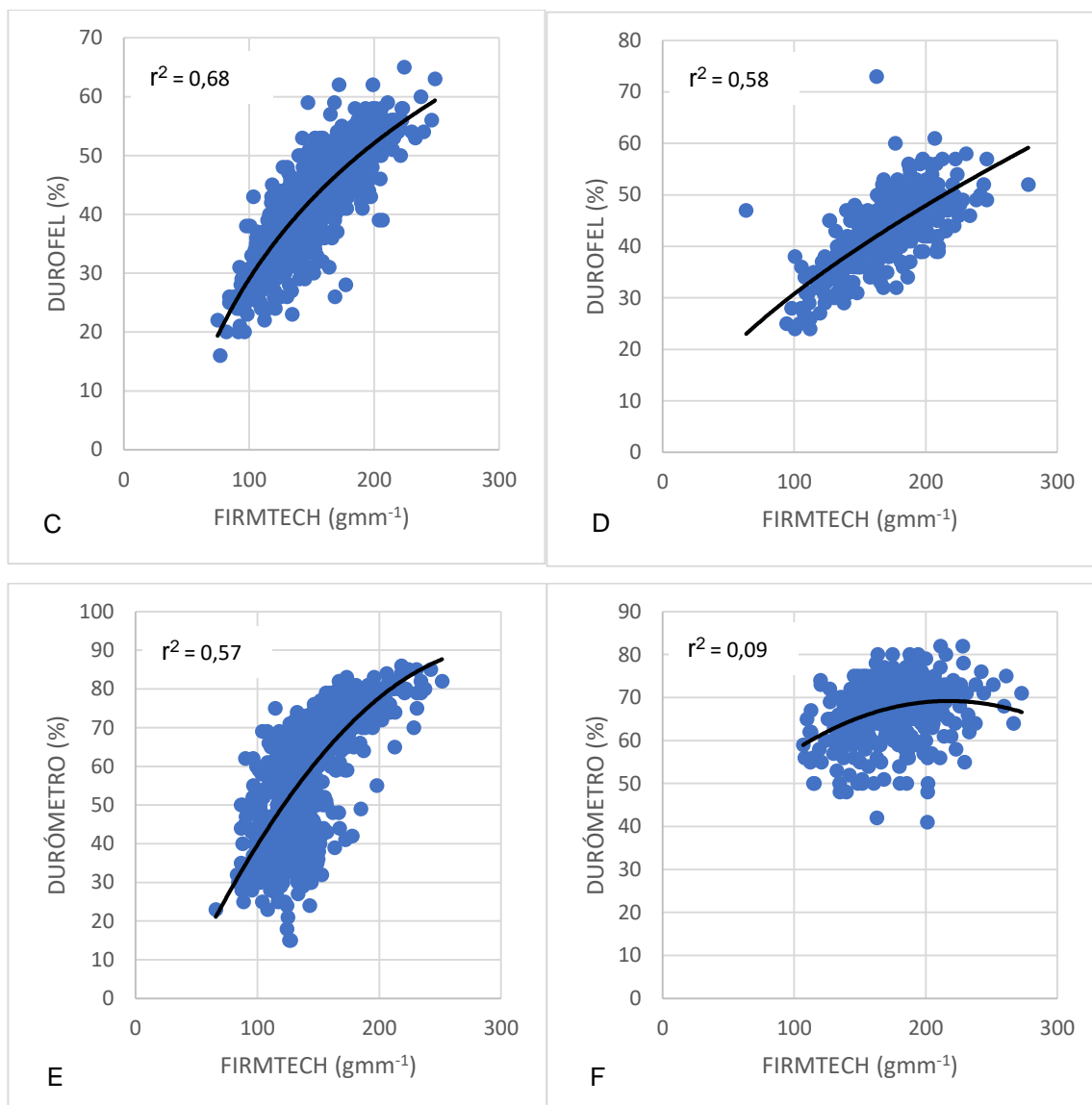


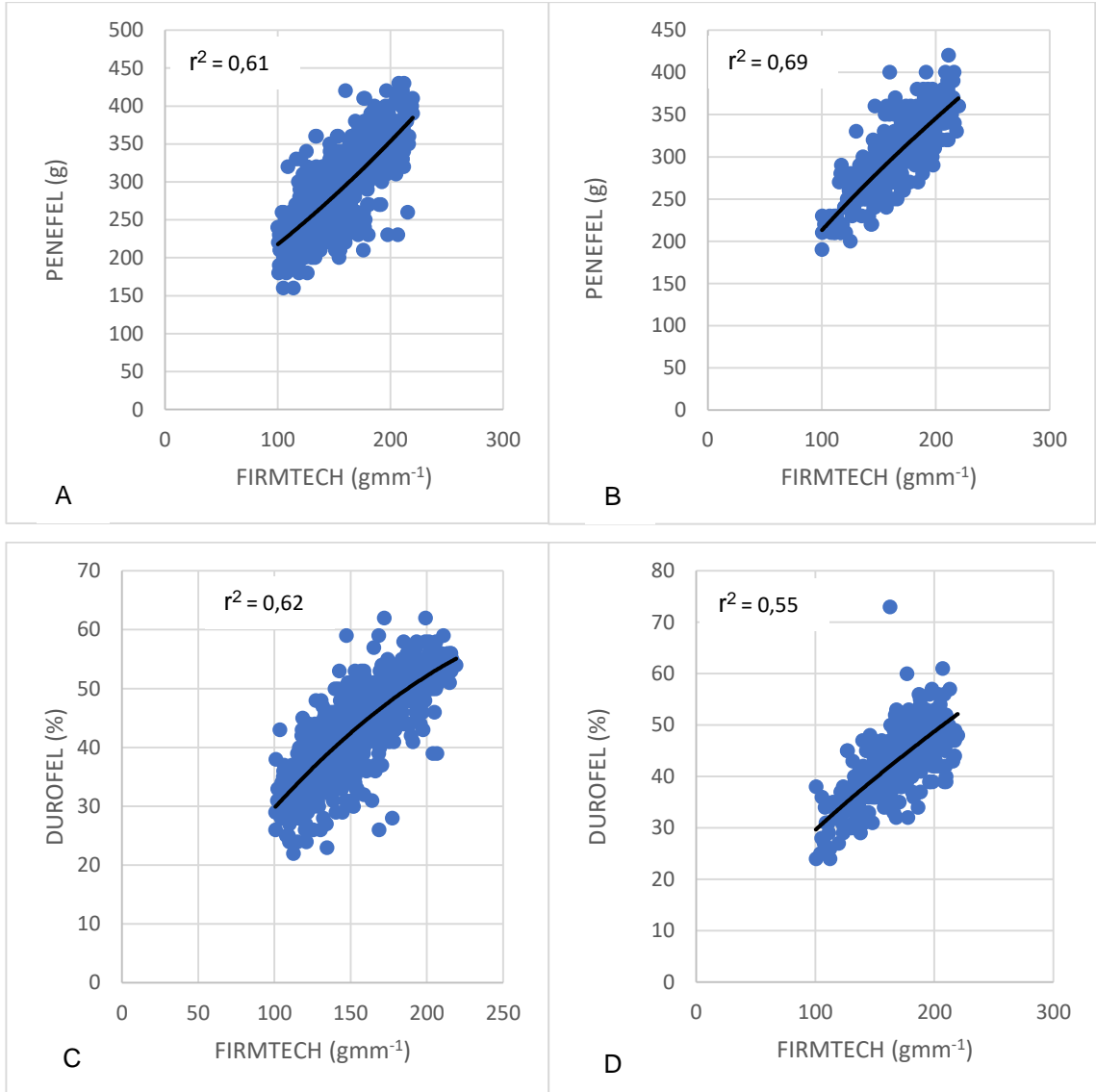
Figura 4.1. Gráficos de dispersión y sus respectivos grados de asociación (r^2), para las variedades 'Brigitta' (A, C y E) y 'Ochlockonee' (B, D y F), sin distinción de firmeza ni datos extremos.

En el caso del análisis sin datos extremos (excluyendo aquellos que estaban en el rango de <100 y >220 gmm^{-1} , considerados como poco probables en una exportación comercial). En este caso los grados de asociación bajaron levemente respecto del análisis anterior. Así, los resultados para 'Brigitta' indican que Durofel® obtuvo el mayor grado de asociación con $r^2=0,62$, seguido de Penefel® y Durómetro cuyos valores de r^2 fueron de 0,61 y 0,54, respectivamente (Figura 4.2, A, C y E). Por otra parte, los resultados de 'Ochlockonee' fueron que Penefel® obtuvo el mayor

grado de asociación ($r^2 = 0,69$), seguido de Durofel® ($r^2 = 0,56$); sin embargo, para el Durómetro la asociación fue prácticamente nula ($r^2 = 0,097$; Figura 4.2, B, D y F).

'Brigitta'

'Ochlockonee'



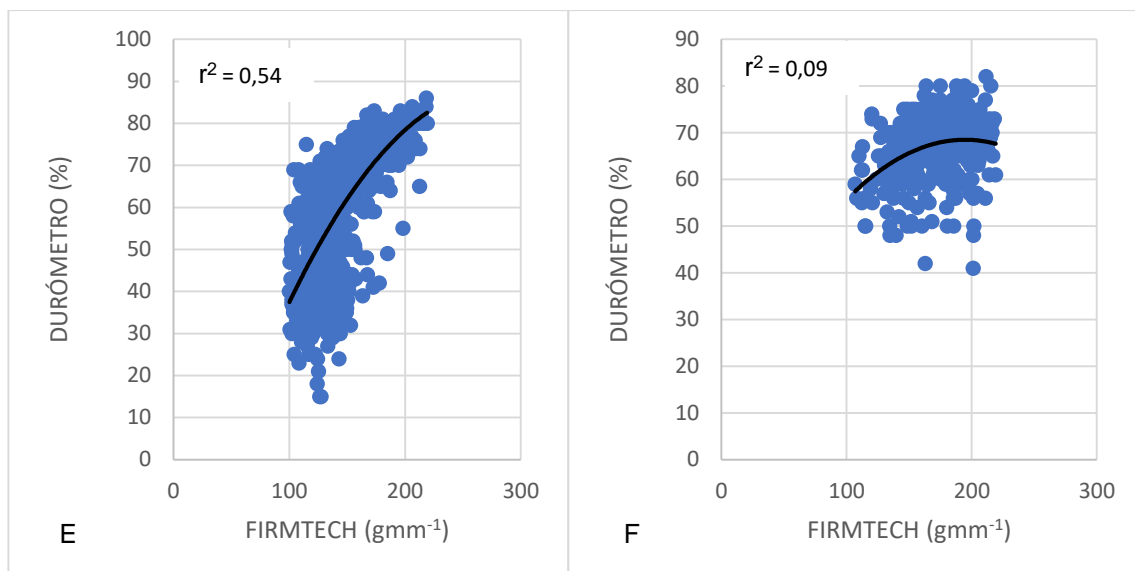


Figura 4.2. Gráficos de dispersión y sus respectivos grados de asociación (r^2), para las variedades ‘Brigitta’ (A, C y E) y ‘Ochlockonee’ (B, D y F), sin datos extremos.

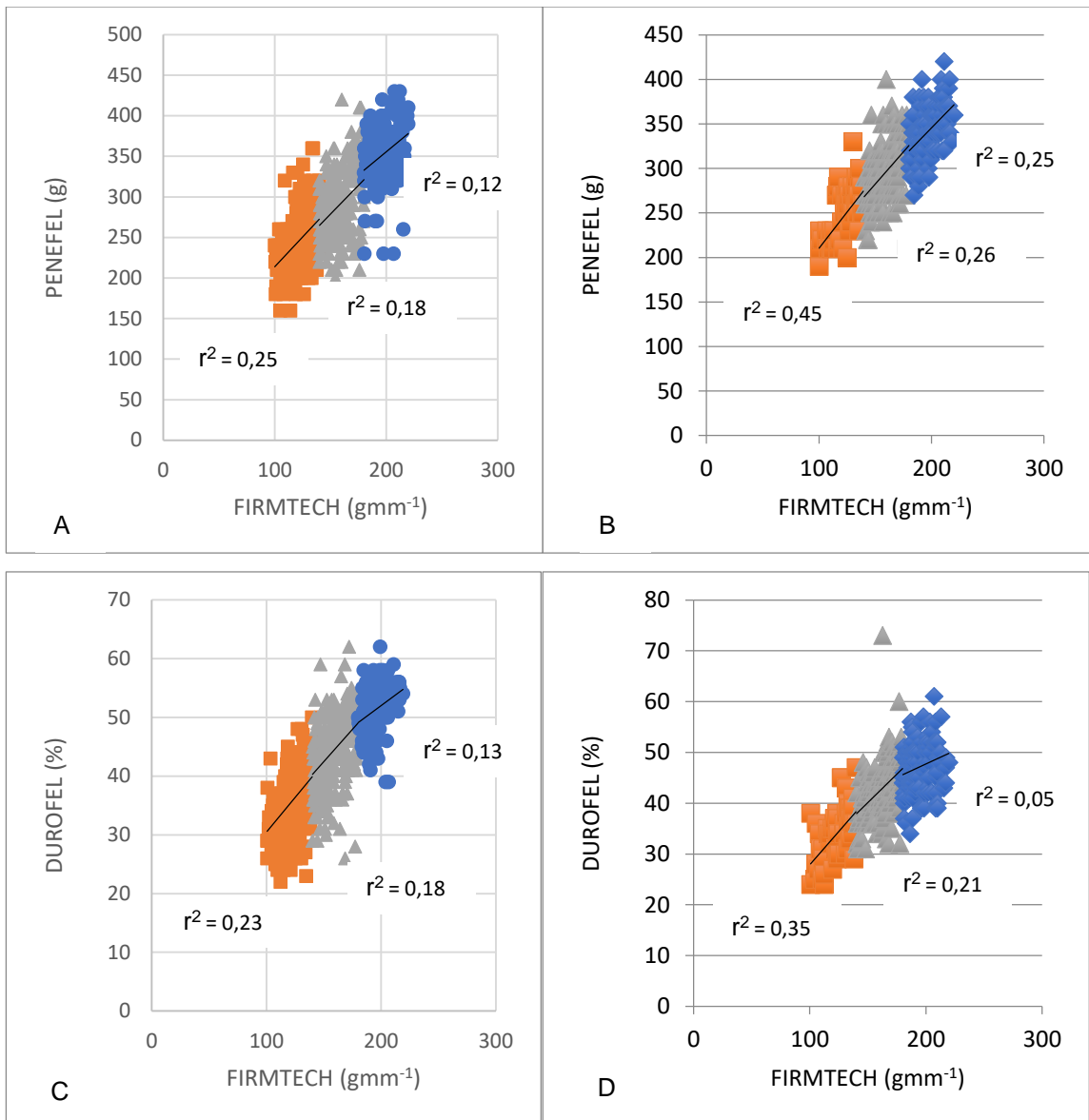
4.2 Comparación de equipos de acuerdo a cada categoría de firmeza

Para esta comparación se tomaron en cuenta cada una de las categorizaciones de firmeza, excluyendo los valores extremos. Bajo esta modalidad de análisis, los niveles de asociación disminuyeron sustancialmente (Figura 4.3, Cuadro 4.1). En el caso de ‘Brigitta’ (Figura 4.3, A, C y E, Cuadro 4.1), la categoría blanda en Penefel® obtuvo el mayor grado de asociación, sin embargo, sólo fue de $r^2 = 0,25$; seguida de la categoría media y firme (con valores de 0,18 y 0,12, respectivamente). En tanto en Durofel®, la categoría blanda también obtuvo el mayor nivel de asociación ($r^2 = 0,23$), luego la categoría media y finalmente la firme (valores menores como 0,18 y 0,13 respectivamente). Por otra parte, en Durómetro, cambió la tendencia, ya que la categoría media fue la que obtuvo el mejor grado de asociación ($r^2 = 0,31$), a continuación, la blanda y la firme ($r^2 = 0,11$ y 0,08, respectivamente). Estos valores son considerados relativamente bajos, por lo que el grado de asociación entre los aparatos sería considerado bajo.

En el cv. ‘Ochlockonee’ (Figura 4.3, B, D y F) (Cuadro 4.1), los resultados arrojaron que en Penefel®, la categoría blanda obtuvo el mayor nivel de asociación ($r^2 = 0,45$), luego la media y la firme ($r^2 = 0,26$ y 0,25, respectivamente). En tanto en Durofel®, la tendencia fue la misma que la de Penefel®, con la categoría blanda presentando el mayor grado de asociación ($r^2 = 0,35$, en tanto para media y firme fue de 0,21 y 0,05 respectivamente). En el caso del Durómetro, la categoría media obtuvo un $r^2 = 0,04$, seguida de la blanda y la firme, con valores inferiores a 0.01.

'Brigitta'

'Ochlockonee'



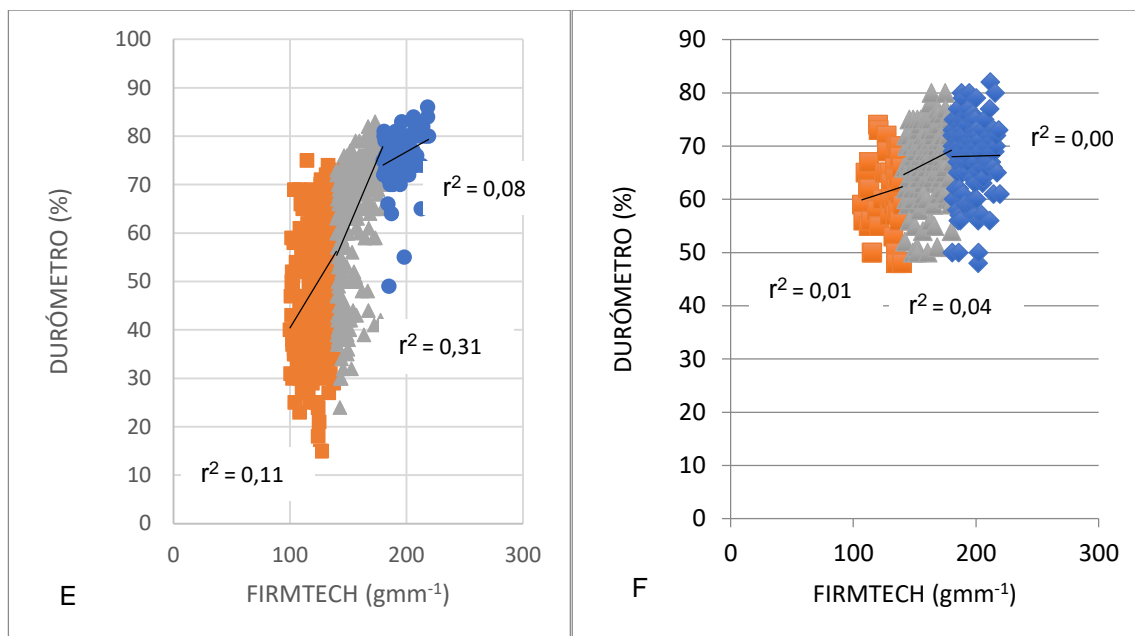


Figura 4.3. Gráficos de dispersión y sus respectivos grados de asociación (r^2), para las variedades 'Brigitta' (A, C y E) y 'Ochlockonee' (B, D y F), para cada categoría de firmeza.

4.3 Comparación de firmeza manual vs FirmTech 2®

Los resultados (Figura 4.4) muestran que los aciertos fueron el 55, 63 y 60% para fruta de las categorías blanda, media y firme, respectivamente. Específicamente en la categoría blanda del 44,6% de fruta mal clasificada, 39,2% pertenecía a la categoría media y 5,39% a la categoría firme. Por su parte, en la firmeza media, hay un 36,83% mal clasificado, donde un 30% corresponde a fruta blanda (180 frutos de 600) y un 6,83% es fruta firme (41 frutos de 600). En la categoría firme, hay un 39,92% de desacierto, donde un 4,33% correspondía a fruta blanda (52 frutos de 1200), y un 35,58% correspondía a fruta de firmeza media (427 frutos de 1200).

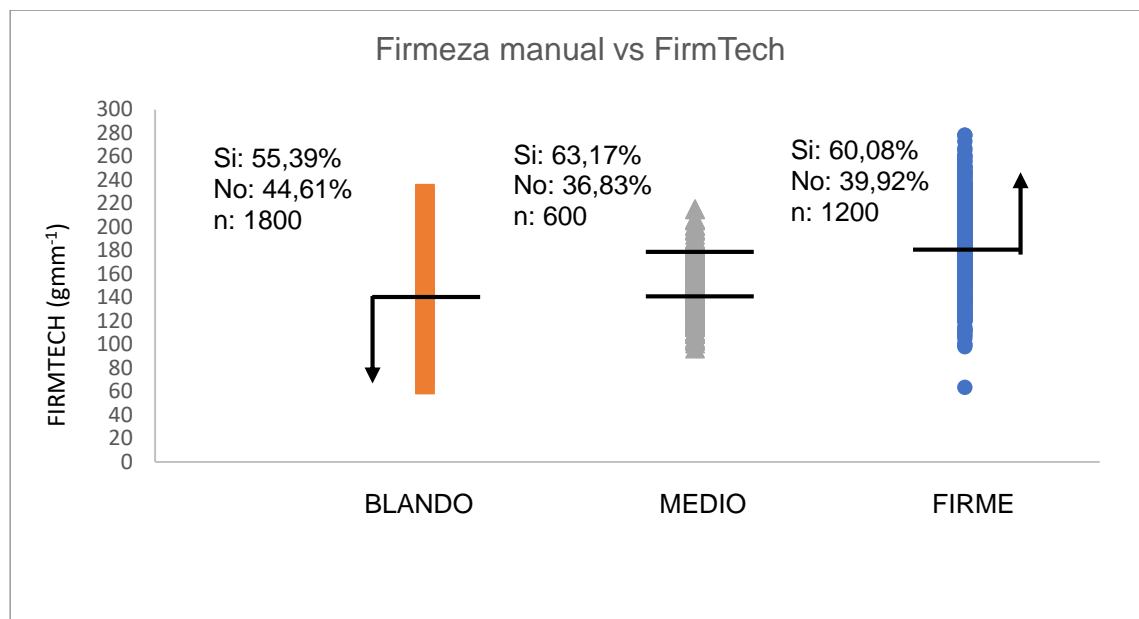


Figura 4.4. Gráfico de aciertos (Si) y desaciertos (No) entre la percepción manual y la firmeza medida con FirmTech 2®. “n” representa el número de frutos utilizados.

Con los datos de aciertos y desaciertos, se hizo una tabla de contingencia (Cuadro 4.2), para saber si éstos están relacionados, junto a una prueba de chi cuadrado ($p \leq 0,05$) (Cuadro 4.3). Según los datos mostrados en el Cuadro 4.2, el 50% del total era fruta blanda, donde el 27,69% fue si (acierto) y un 22,31% fue no (desacierto). En tanto en la categoría media (que representa un 16,67% del total de frutas), un 10,53% fue de acierto y un 6,14% de desacierto. Finalmente, en la categoría firme (representando un 33,33% del total), un 20,03% fue de acierto y un 13,31% de desacierto. Del total de fruta, un 58,25% fue de acierto y un 41,75% de desacierto. De ese 58,25%, la categoría que obtuvo el mayor porcentaje y número de aciertos fue la blanda, con un 27,69% y 997 frutos respectivamente. Respecto a la prueba de chi cuadrado (Cuadro 4.3), el valor-p (0,0011) indica que los aciertos y las categorías de firmeza están relacionados.

Cuadro 4.1. Cuadro de contingencia con los aciertos (si) y desaciertos (no) de la percepción táctil y las categorías de firmeza (blanda, media y firme).

	Aciertos (Si)	Desaciertos (No)	Total por Fila
Blanda	997 27,69%	803 22,31%	1800 50,00%
Media	379 10,53%	221 6,14%	600 16,67%
Firme	721 20,03%	479 13,31%	1200 33,33%
Total por Columna	2097 58,25%	1503 41,75%	3600 100,00%

Cuadro 4.2. Cuadro de la prueba de chi cuadrado ($p \leq 0,05$) para independencia de las variables. Extraído del programa Statgraphics®.

Prueba	Estadístico	Gl	Valor-P
Chi-Cuadrada	13,681	2	0,0011

5 DISCUSIÓN

El análisis de todos los datos, en ambos cultivares, sin distinción entre las clases de firmeza arrojó una capacidad predictiva para Penefel® considerada alta de acuerdo a lo señalado por Evans (1996); los r^2 fueron mayores a 0,6, para ambos análisis, con y sin exclusión de datos extremos. Sin embargo, para los otros dos equipos (Durofel® y Durómetro), los resultados fueron menos consistentes, ya que variaron dependiendo del cultivar. Por otra parte, hubo una tendencia a mayor capacidad predictiva de los tres equipos analizados en el cultivar 'Brigitta', respecto de 'Ochlockonee'.

En otros estudios comparativos de aparatos medidores de firmeza en frutas, Mitcham *et al.* (1998) probaron el FirmTech 1® y otros instrumentos medidores de firmeza en cerezas, incluyendo la percepción táctil. Se utilizó un penetrómetro (que se asemeja al Penefel® en el modo de funcionamiento, a excepción de que con el Penefel® no se debe remover piel al fruto para hacer la medición), y se discute que la falta de exactitud del operador puede afectar a las mediciones, debido al ángulo, velocidad, profundidad o aceleración usadas para hacer la medición, así como también la inconsistencia en el área de contacto de la fruta. Por otra parte, también se determinó que la percepción táctil fue menos precisa para medir que el penetrómetro y el FirmTech 1®, siendo este último el más preciso. En nuestro estudio, un mismo operador realizó todas las mediciones, con el fin de minimizar la variabilidad que se produce por la manipulación, sin embargo, no se logró el nivel de precisión del equipo FirmTech 2®. Una diferencia en la medición manual con el presente estudio, es que el operador usó dos bolas de goma (una suave y una dura) para estimar la firmeza de las muestras, en cambio en el presente estudio, se realizó directamente la presión entre los dedos.

Al separar los lotes de fruta según su firmeza, las asociaciones fueron notablemente menores, resultando los mayores r^2 para todas las categorías con Penefel® (rango de 0,12 a 0,45). Por su parte dentro de las categorías, los frutos blandos, tanto para Penefel® como Durofel®, fueron los de mayor asociación con el FirmTech 2®. Basado en lo anterior, los resultados de mayor relevancia debieran apuntar a predecir principalmente la categoría blanda, que es potencialmente peligrosa en las exportaciones; en este caso los valores de predicción sólo fluctuaron entre 0.43 y 0.25, lo que podría considerarse regular a ineficiente (Evans, 1996) y, por lo tanto, estos equipos no serían adecuados para el fin propuesto, al menos en arándanos.

En una evaluación de medidores de firmeza no destructivos en peras de variedad 'Bartlett', Slaughter y Thompson (2005) compararon tres métodos de medición con el medidor estándar

para la industria de peras que es el penetrómetro: dos métodos no destructivos que usan la desaceleración del impacto en la fruta y la transmisión acústica a la pulpa de la fruta (mesocarpo), y un Durómetro. Los resultados fueron que el Durómetro tuvo el mejor grado de asociación con el penetrómetro, aunque su relación no fue lineal. Una regresión logarítmica dio un alto grado de asociación ($r^2 = 0,90$) a bajas firmezas entre el Durómetro y el penetrómetro. Este resultado coincide en parte, con los obtenidos en este estudio, ya que los aparatos tuvieron mejores grados de asociación con el FirmTech 2® en la categoría blanda, si bien los r^2 fluctuaron entre 0,24 y 0,45 y entre 0,24 y 0,35 para Penefel® y Durofel®, respectivamente. Cabe destacar que el Durómetro se usaba con un soporte de palanca, a diferencia del presente estudio en donde se usó manualmente (al igual que el Durofel®), lo que pudo haber afectado a las mediciones por la manipulación del aparato.

Padda *et al.* (2011) estudiaron métodos para analizar los cambios físico-químicos durante el desarrollo del fruto del mango, entre ellos, la firmeza. Se determinó de forma no destructiva a través de la percepción táctil, Durómetro, resonancia acústica e impacto elástico con masas livianas, y también de forma destructiva con un penetrómetro tradicional. Realizaron un análisis discriminante canónico, que sirve para ver si existen diferencias significativas entre grupos de objetos respecto a un conjunto de variables medidas para los mismos (ya que además de la firmeza, midieron color de piel y pulpa, materia seca y sólidos solubles totales). Los resultados fueron que el Durómetro y el penetrómetro obtuvieron los mejores coeficientes discriminantes, seguidos por la percepción táctil, resonancia acústica y finalmente el impacto elástico. Para la percepción táctil, lo hicieron de la misma manera que en el presente estudio (se presionaba la fruta por los costados con los dedos), aunque usaron una escala hedónica de 1 a 5, donde 1 era fruta sobre madura (que se deformaba fácil ante una pequeña presión) y 5 que era muy firme, a diferencia del actual estudio, donde se categorizaba entre 3 alternativas. Al igual que el estudio mencionado anteriormente, en el caso del Durómetro, éste estaba sujeto a un soporte con palanca, por lo que la medición siempre se realizaba de la misma manera, eliminando el error por operador. Los resultados obtenidos con el Durómetro se expresaban como el promedio de dos mediciones separadas (una en cada costado de la fruta), a diferencia de éste estudio, donde un costado del arándano se usó para la medición con FirmTech 2®, y el otro para el aparato correspondiente a la comparación que se estaba haciendo.

En kiwis (*Actinidia deliciosa*), Hopkirk *et al.* (1996) probaron cuatro nuevos aparatos (prototipos) para medir firmeza (“Softsense” [HortResearch, Ruakura] que calcula el “tiempo de fijación” del rebote de la medición en la fruta (1), “Softness meter” [Massey University, Palmerston North] mide la deformación de la superficie de la fruta ante una carga (2), “Kiwipoke” [Industrial Research Limited, Auckland] usa una pequeña colisión balística contra la fruta como medición de

firmeza (3), y “Massey Twist Tester” [Massey University, Palmerston North] que mide la fuerza requerida para rotar un pequeño plato a través de la pulpa de la fruta), en comparación a un penetrómetro Effegi (modelos FT 011 y FT 327. Facchini, Alfonsine, Italia) tradicional. La fruta que ellos utilizaron, era de calidad de exportación y se almacenó a 0 °C durante 25 semanas, durante las cuales les iban haciendo las pruebas, midiendo primero con los aparatos no destructivos y dejando para el final el Massey Twist Tester. Usaron análisis de varianza para ver si había diferencias entre huerto y entre frutas. No solo buscaban un aparato que midiese tan bien la firmeza como el penetrómetro tradicional, sino que también discutieron la facilidad de uso, la habilidad de poder diferenciar entre diferentes líneas de frutas y que fuera capaz de detectar un ablandamiento acelerado de los frutos durante su almacenamiento. Uno de los objetivos de nuestro estudio era definir la factibilidad de utilizar aparatos de menor costo y mayor facilidad de uso, como el Durómetro, el Penefel® o el Durofel®. Efectivamente Durofel® es utilizado comercialmente en cerezas para diagnosticar la firmeza de la fruta a cosecha y en almacenaje (Belge *et al.*, 2017; Chiabrando y Giacalone, 2018); sin embargo, nuestros resultados no permiten concluir que esto sea igualmente factible en arándanos.

La percepción táctil (Fig. 4.4) mostró una coincidencia > 55% con los valores de FirmTech 2®, sin embargo, 30% de los frutos categorizados manualmente como de firmeza media, pertenecían en realidad a la clase de firmeza baja. Los resultados ponen en evidencia la importancia de unificar los criterios de medición de la firmeza en arándanos. Para las exportaciones es peligroso, debido a que se clasificó fruta que realmente era blanda, como media o firme, lo que puede tener repercusiones en destino.

Las investigaciones que han sido revisadas para esta discusión, en general difieren con el presente estudio, ya que en la comparación de los equipos suele incluirse factores adicionales que afectan a la firmeza de los frutos como el tipo y tiempo de almacenamiento. Adicionalmente se incluyen otros elementos estadísticos como media, varianza y composición de residuos. La mayoría de los estudios más actuales busca también una alternativa no destructiva y accesible para medir firmeza, y que sobre todo sea portátil para ser usado en terreno. Los resultados sugieren que se debe seguir utilizando el FirmTech 2®, pero con un nuevo diseño más actualizado, debido a que es un aparato grande e incómodo de transportar, aparte de usar electricidad y usar un sistema operativo de computador no actualizado (Windows XP).

6 CONCLUSIONES

Al analizar los niveles de asociación con las tres categorías de firmeza agrupadas y considerando datos extremos, los valores más elevados de r^2 (0.68 a 0.71) fueron para Penefel® en ambos cultivares; Durofel® fue capaz de generar niveles altos de asociación ($r^2 > 0,6$) sólo para el cv. 'Brigitta'. El Durómetro en cambio, no logró valores de asociación $> 0,6$. En el análisis sin datos extremos, los valores de los grados de asociación disminuyeron levemente, pero se mantuvieron cercanos o mayores a 0.6 (Penefel® en ambos cultivares y Durofel® sólo en 'Brigitta'). Nuevamente el Durómetro no alcanzó valores niveles de asociación $> 0,6$.

Por otra parte, todas las asociaciones disminuyeron notablemente cuando se analizaron los frutos para cada categoría por separado y analizar sin datos extremos. Los valores más elevados de r^2 fueron para frutos blandos, y se dieron con Penefel® y Durofel®, sin embargo, no serían adecuados para una predicción certera, ya que fluctuaron entre 0,24 y 0,45. El Durómetro en cambio, alcanzó los niveles de asociación más altos en la categoría media de ambos cultivares, pero los valores fueron prácticamente nulos. Queda en evidencia que no da lo mismo considerar o no los valores extremos en los análisis.

Respecto a la percepción táctil, mostró una coincidencia $> 55\%$ con los valores de firmeza del FirmTech 2®, sin embargo, 30% de frutos categorizados manualmente de firmeza media, pertenecían en realidad a la clase de firmeza baja.

Dado los resultados obtenidos previamente, es que se pone en evidencia la importancia de unificar criterios de medición de la firmeza en arándanos.

7 CITAS BIBLIOGRÁFICAS

Allan-Wojtas, P., Forney, C., Carbyn, S., y Nicholas, K. 2001. Microstructural indicators of quality-related characteristics of blueberries-an integrated approach. *Lebensmittel wissenschaft und technologie*, 34: 23-32.

Ballinger, W., Kushman, L., y Hamann, D. 1973. Factors affecting the firmness of highbush blueberries. *Journal of the American society for horticultural science*, 98: 583-587.

Ballington, J., Ballinger, W., Swallow, W., Galletta, G., y Kushman, L. 1984. Fruit quality characterization of 11 *Vaccinium* species. *Journal of the American society for horticultural science*, 103: 30-134.

Banco Central de Chile. 2019. Comercio Exterior: Indicadores de comercio exterior, cuarto trimestre 2018. Santiago, Chile. Recuperado en: <https://www.bcentral.cl/web/quest/comercio-exterior>. Consultado el: 01 de abril de 2019.

Banse, G. 2006. Revista agrícola especial de arándanos II. Temuco. El Diario Austral. Sociedad Periodística Araucanía S.A. 31 p.

Barbosa-Cánovas, G., Fernández-Molina, J., Alzamora, S., Tapia, M., López-Malo, A., y Welti, J. 2003. Handling and preservation of fruits and vegetables by combined methods for rural areas: technical manual. FAO agricultural services bulletin 149. Food and agriculture organization of the United Nations, Rome, Italy. 99 p. Recuperado en: http://hubrural.org/IMG/pdf/fao_barbosa_canovas.pdf. Consultado el: 19 de julio de 2018.

Barreiro, P., y Ruiz, A. 1996. Propiedades mecánicas y calidad de frutos. Definiciones y medidas instrumentales. *Revista Fruticultura Profesional*, N° 77: 48-51.

Beaudry, R. 1992. Blueberry quality characteristics and how can they be optimized. *Annual report of the Michigan state horticultural society*, 122: 140-145.

Belge, B., Goulao, L., Comabella, E., Graell, J., y Lara, I. 2017. Refrigerated storage and calcium dips of ripe 'Celeste' sweet cherry fruit: Combined effects on cell wall metabolism. *Scientia horticulturae*, 219: 182-190.

Bernstein, Z., y Lustig, I. 1981. A new method of firmness measurement of grape berries and other juicy fruits. *Vitis* no. 20. The Jordan valley committee for agricultural research. Beth-Yerach, Israel. 7 p. Recuperado en: <http://www.vitis-vea.de/admin/volltext/e018109.pdf>. Consultado el: 03 de mayo de 2018.

BioWorks Inc. 2018. The BioWorks FirmTech® Fruit Firmness Tester. Wamego, KS., USA. Recuperado en: <http://www.bio-works.us/thefirmtech.html> . Consultado el: 03 de mayo de 2018.

Bremer, V., Crisosto, G., Molinar, R., Jimenez M., Dollahite S., y Crisosto C. 2008. San Joaquin Valley blueberries evaluated for quality attributes. *California agriculture*, 62: 91-96. <https://doi.org/10.3733/ca.v062n03p91>.

Buzeta, A. 1997. Chile: Berries para el 2000. Primera edición. Fundación Chile. Santiago, Chile. 133 p.

Chiabrando, V., Giacalone, G., y Rolle, L. 2009. Mechanical behaviour and quality traits of highbush blueberry during postharvest storage. *Journal of the science of food and agriculture*, 89: 989-992.

Chiabrando, V., y Giacalone, G. 2018. Factors affecting the quality of fresh-cut sweet cherry. *Acta horticulturae*, 1209: 103-108. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2018.1209.15>.

Chilean Blueberry Committee. 2018. Resumen del mercado global del arándano. Santiago, Chile. Recuperado en: <http://www.comitedearandanos.cl/resumen-del-mercado-global-del-arandano-3/>. Consultado el: 11 de mayo de 2018.

Defilippi, B., Robledo, P., y Becerra, C. 2013. Capítulo 9: Manejo de cosecha y poscosecha en arándano, pp 107-120. En: Undurraga, P., y Vargas, S. 2013. Manual del arándano. Boletín INIA N° 263. 120 p. Instituto de Investigaciones Agropecuarias INIA, Centro regional de investigación Quilamapu, Chillán, Chile. Recuperado en: <http://www2.inia.cl/medios/biblioteca/boletines/NR39094.pdf>. Consultado el: 12 de septiembre de 2018.

Defilippi, B., y Rivera, S. 2015. Análisis de indicadores de calidad y condición de arándanos obtenidos en distintos periodos de almacenaje y uso de tecnologías de poscosecha para mercados lejanos de exportación. INIA. Recuperado en: http://www.inia.cl/wp-content/uploads/2015/08/1_cropcheck_arandanos.pdf. Consultado el: 11 de septiembre de 2018.

Ehlenfeldt, M., Meredith, F., y Ballington, J. 1994. Unique organic acid profile of rabbiteye vs. highbush blueberries. *HortScience*, 29: 321-323.

Ehlenfeldt, M., y Martin Jr., R. 2002. A survey of fruit firmness in highbush blueberry and species-introgressed blueberry cultivars. *HortScience*, 37: 386–389.

Evans, J. 1996. *Straightforward statistics for the behavioural sciences*. Brooks/Cole Pub. Co., Pacific Groove. 600 p.

Galletta, G., Ballinger, W., Monroe, R., y Kushman, L. 1971. Relationships between fruit acidity and soluble solids levels of highbush blueberry clones and fruit keeping quality. *Journal of the American society for horticultural science*, 86: 758-762.

García, J., García, G., y Ciorda, M. 2013. Situación actual del cultivo del arándano en el mundo. *En: Tecnología Agroalimentaria. Boletín informativo de SERIDA N° 12*. SERIDA. Gobierno del Principado de Asturias. Asturias, España, pp 5-8.

González, A., Subercaseaux, J., y Ellena, M. 2013. ARÁNDANOS: Optimización de la productividad de la mano de obra y tecnologías para el incremento de calidad y condición en el sur de Chile. *Boletín INIA N° 277*. INIA. Ministerio de Agricultura. Vilcún, Chile. 182 p. Recuperado en: <http://biblioteca.inia.cl/medios/biblioteca/boletines/NR39074.pdf>. Consultado el: 02 de mayo de 2018.

González, A., y Morales, C. 2017. Capítulo 1: Variedades de arándanos, pp. 11-19. *En: Morales, C. Manual de manejo agronómico del arándano. Boletín INIA N° 6*. INIA-INDAP. Ministerio de Agricultura. Santiago, Chile. 98 p. Recuperado en: <https://www.indap.gob.cl/docs/default-source/default-document-library/manual-arandanos.pdf?sfvrsn=0>. Consultado el 01 de octubre de 2018.

González, A. 2017. Adaptación de la metodología Cropcheck para el cultivo de arándanos en el sur de Chile. *Boletín INIA N° 346*. INIA. Ministerio de Agricultura. Vilcún, Chile. 142 p. Recuperado en: <http://www2.inia.cl/medios/biblioteca/boletines/NR40580.pdf> . Consultado el: 02 de mayo de 2018.

Gough, R. 1984. *The highbush blueberry and its management*. First Edition. Food products press. New York, USA. 272 p.

Hancock, J., Luby, J., y Beaudry, R. 2003. Fruits of the *Ericaceae*. In: Trugo, L., Fingas, P., y Caballero, B. (eds) Encyclopedia of food science, food technology and nutrition. Academic press. London, UK, pp 2762-2768.

Hopkirk, G., Maindonald, J., y White, A. 1996. Comparison of four new devices for measuring kiwifruit firmness. *New Zealand journal of crop and horticultural science*, 24: 273-286.

Instituto nacional de estadísticas (INE). 1997. VI Censo nacional agropecuario. INE. Santiago, Chile. 222 p.

International Blueberry Organization. 2017. World blueberry statistics and global market analysis. Recuperado en: <https://static1.squarespace.com/static/581373dbe4fcb5675436dbf7/t/58dd0a421b10e38a0a19447f/1490881114392/Cort+Brazelton+GBC2017.pdf> . Consultado el: 30 de mayo de 2018.

Ihle, A., y NeSmith, S. 2017. Evaluation of fruit quality traits in southern highbush and rabbiteye blueberries. *Acta horticulturae*, 1180: 393-400. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2017.1180.54>.

Jiang, Y., Li, C., y Takeda, F. 2016. Nondestructive detection and quantification of blueberry bruising using near-infrared (NIR) hyperspectral reflectance imaging. *Scientific reports*, 6: 35679. <https://doi.org/10.1038/srep35679>.

Kader, A. 1999. Fruit maturity, ripening, and quality relationships. *Acta horticulturae*, 485: 203-208.

Kader, A., Hess-Pierce, B., y Almenar, E. 2003. Relative contributions of fruit constituents to soluble solids content measured by a refractometer. *HortScience*, 38: 323 (abstract).

Kinzey, W., y Norconk, M. 1990. Hardness as a basis of fruit choice in two sympatric primates. *American journal of physical anthropology*, 81: 5-15.

Li, C., Luo, J., y Maclean, D. 2011. A novel instrument to delineate varietal and harvest effects on blueberry fruit texture during storage. *Journal of the science of food and agriculture*, 91: 1653-1658.

Lobos, G., Callow, P., y Hancock, J. 2014. The effect of delaying harvest date on fruit quality and storage of late highbush blueberry cultivars (*Vaccinium corymbosum* L.). *Postharvest biology and technology*, 87: 133-139.

Lobos, G., Moggia, C., Retamales, J., y Sánchez, C. 2014. Effect of mechanized (self-propelled or shaker) vs. hand harvest on fruit quality of blueberries (*Vaccinium corymbosum* L.) in postharvest. *Acta horticulturae*, 1017: 141-145.

Lobos, G., Bravo, C., Valdés, M., Graell, J., Lara, I., Beaudry, R., y Moggia, C. 2018. Within-plant variability in blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.): maturity at harvest and position within the canopy influence fruit firmness at harvest and postharvest. *Postharvest biology and technology*, 146: 26-35.

MacLean, D., y NeSmith, S. 2011. Rabbiteye blueberry postharvest fruit quality and stimulation of ethylene production by 1-methylcyclopropene. *HortScience*, 46: 1278-1281.

Makus, D., y Morris, J. 1993. A comparison of fruit of highbush and rabbiteye blueberry cultivars. *Journal of food quality*, 16: 417-428.

Mitcham, E., Clayton, M., y Biasi, W. 1998. Comparison of devices for measuring cherry fruits firmness. *HortScience*, 33: 723-727.

Moggia, C., Lobos, G., y Retamales, J. 2014. Modified atmosphere packaging in blueberries: effect of harvest time and moment of bag sealing. *Acta horticulturae*, 1017: 153-158. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2014.1017.16>.

Moggia, C., Beaudry, R., Retamales, J., y Lobos, G. 2017. Variation in the impact of stem scar and cuticle on water loss in highbush blueberry fruit argue for the use of water permeance as a selection criterion in breeding. *Postharvest biology and technology*, 132: 88-96. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2017.05.019>.

Moggia, C., Graell, J., Lara, I., González, G., y Lobos, G. 2017. Firmness at harvest impacts postharvest fruit softening and internal browning development in mechanically damaged and non-damaged highbush blueberries (*Vaccinium corymbosum* L.). *Frontiers in plant science*, 8: 535. <http://doi.org/10.3389/fpls.2017.00535>.

Moggia, C., Graell, J., Lara, I., Schmeda-Hirschmann, G., Thomas-Valdés, S., y Lobos, G. 2016. Fruit characteristics and cuticle triterpenes as related to postharvest quality of highbush blueberries. *Acta horticulturae*, 211: 449–457. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.09.018>.

Moggia, C., González, C., Lobos, G., Bravo, C., Valdés, M., Lara, I., y Graell, J. 2018. Changes in quality and maturity of 'Duke' and 'Brigitta' blueberries during fruit development: postharvest implications. *Acta horticulturae*, 1194: 1495-1501. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2018.1194.209>.

Morales, C. 2017. Manual de manejo agronómico del arándano. Boletín INIA N° 6. INIA-INDAP. Ministerio de Agricultura. Santiago, Chile. 98 p. Recuperado en: <https://www.indap.gob.cl/docs/default-source/default-document-library/manual-arandanos.pdf?sfvrsn=0>. Consultado el 17 de mayo de 2018.

Muramatsu, N., Sakurai, N., Yamamoto, R., Nevins, D., Takahara, T., y Ogata, T. 1997. Comparison of nondestructive acoustic method with an intrusive method for firmness measurement of kiwifruit. *Postharvest biology and technology*, 12: 221–228.

NeSmith, S., Draper, A., y Spiers, J. 2003. 'Ochlockonee' rabbiteye blueberry. *HortScience*. 38: 1448-1449.

Núñez, A., Sánchez, E., Ruiz, J. y NeSmith, S. 2008. Calidad de poscosecha en cultivares de arándano (*Vaccinium* sp.) sometidos a períodos de prealmacenamiento y y temperaturas. *Agricultura técnica en México*, 34: 453-457.

Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA). 2019. Boletín fruta fresca, marzo 2019 con información a febrero de 2019. Ministerio de Agricultura, Gobierno de Chile. Recuperado en: <https://www.odepa.gob.cl/publicaciones/boletin-fruta-fresca-marzo-de-2019>. Consultado el: 01 de abril de 2019.

Padda, M., do Amarante, C., García, R., Slaughter, D., y Mitcham, E. 2011. Methods to analyze physico-chemical changes during mango ripening: A multivariate approach. *Postharvest biology and technology*, 62: 267-274.

Paniagua, A., East, A., y Heyes, J. 2013. Moisture loss is the major cause of firmness change during postharvest storage of blueberry. *Postharvest biology and technology*, 79: 13-19.

Paniagua, A., East, A., y Heyes, J. 2014. Interaction of temperature control deficiencies and atmosphere conditions during blueberry storage on quality outcomes. *Postharvest biology and technology*, 95: 50-59.

Perkins-Veazie, P. 2004. Blueberry. In: Gross, K., Wang, C., y Saltveit, M. (Eds.), *The Commercial Storage of Fruits, Vegetables, and Florist and Nursery Stocks*, vol.66. USDA, ARS, Beltsville.

Portal frutícola. 2018. Columna técnica: Pérdida de firmeza en arándano, complejidades de un atributo clave de calidad, por Bruno Defilippi. Las Condes, Santiago, Chile. Recuperado en: <https://www.portalfruticola.com/noticias/2018/04/10/columna-tecnica-perdida-de-firmeza-en-arandano-complejidades-de-un-atributo-clave-de-calidad-por-bruno-defilippi/>. Consultado el: 30 de julio de 2018.

Pritts, M., Hancock, J., y Strik, B. 1992. *Highbush blueberry production guide*. Cooperative extension. Ithaca, New York, USA. 200 p.

Prussia, S., Astleford, J., Hewlett, B., y Hung, Y. 1994. Non-destructive firmness measuring device. US Patent 5372030.

Prussia, S., Tetteh, M., Verma, B., y NeSmith, D. 2006. Apparent modulus of elasticity from FirmTech 2 firmness measurements of blueberries. *Transactions of the ASABE*, 49: 113-121.

Retamales, J., y Hancock, J. 2012. *Blueberries*. First edition. CABI. London, UK. 323 p.

Retamales, J., Palma, M., Morales, Y., Lobos, G., Moggia, C., y Mena, C. 2014. Blueberry production in Chile: current status and future developments. *Revista brasileira de fruticultura*, 36: 58-67.

Rex Gauge® Durometers 2018. What is a durometer. Buffalo Grove, IL., USA. Recuperado en: <https://www.durometer.com/technical-information/> . Consultado el: 04 de mayo de 2018.

Romero, C. 2016. *El arándano en el Perú y en el mundo: producción, comercio y perspectivas 2016*. Primera edición. MINAGRI Perú. Lima, Perú. 42 p.

Saftner, R., Polashock, J., Ehlenfeldt, M., y Vinyard, B. 2008. Instrumental and sensory quality characteristics of blueberry fruit from twelve cultivars. *Postharvest biology and technology*, 49: 19-26.

Scheidt, T., y Silva, F. 2017. High pressure processing and storage of blueberries: effect on fruit hardness. *High pressure research*, 38: 80-89. <https://doi.org/10.1080/08957959.2017.1402895>.

Setop Giraud Technologie. Contrôle de la qualité gustative des fruits. Cavaillon, France. Recuperado en: http://www.setop.eu/produit_controle_qualite_conditionnement_fruits-categorie_id-22-rubrique-Agreage-qualite-des-fruits-link-qualite-gustative-fruit-melon-agreage-selection%20varietale.html. Consultado el: 05 de agosto de 2018.

Silva, J., Marroquin, E., Matta, F., Garner Jr, J., y Stojanovic, J. 2005. Physicochemical, carbohydrate and sensory characteristics of highbush and rabbiteye blueberry cultivars. *Journal of the science of food and agriculture*, 85: 1815-1821.

Slaughter, D., y Thompson, J. 2005. Evaluation of non-destructive firmness detectors for Bartlett pears. Biological and agricultural engineering department, UC Davis. California, USA. Recuperado en: http://www.calpear.com/_pdf/research-reports/2005/Postharvest/Slaughter%20-%20Thompson%20-%20Evaluation%20of%20Non-Destructive%20Firmness%20Detectors%20for%20Bartlett%20Pears.pdf. Consultado el: 01 de abril de 2019.

Sousa, M., Curado, T., Lavadinho, C., y Moldão-Martins, M. 2006. A survey of quality factors in highbush and rabbiteye blueberry cultivars in Portugal. *Acta horticulturae*, 715: 567-572.

Stroshine, R., Cho, S., W.K, W., Kurtz G., y Baianu, I. 1991. Nuclear magnetic resonance sensing of fruit firmness and ripeness. ASAE Paper No 91-6565. ASAE, St Joseph, MI.

Studman, C. 1999. Part 3.1 Fruit and vegetable quality, pp. 243-271. In: Bakker-Arkema, F., DeBaerdemaeker, J., Almirante, P., Ruiz-Altisent, M., and Studman, C (eds.) *CIGR Handbook of agricultural engineering*, volumen IV: Agro-processing engineering. First edition. American society of agricultural engineers. St. Joseph, Michigan, USA. 527 p.

Sugiyama, J., Katsurai, T., Hong, J., Koyama, H., y Mikuriya, K. 1998. Melon ripeness monitoring by a portable firmness tester. *Transactions of the ASAE* 41: 121-127.

Tetteh, M. 2002. Measuring blueberry firmness and modeling quality changes for delays in cooling using the FirmTech II. University of Georgia, Athens, Georgia, USA. 97 p.

Toivonen, P., y Brummell, D. 2008. Biochemical bases and appearance and texture changes in fresh-cut fruit and vegetables. *Postharvest biology and technology*, 48: 1-14.

Undurraga, P., y Vargas, S. 2013. Manual del arándano. Boletín INIA N° 263. 120 p. Instituto de Investigaciones Agropecuarias INIA, Centro Regional de Investigación Quilamapu, Chillán, Chile. Recuperado en: <http://www2.inia.cl/medios/biblioteca/boletines/NR39094.pdf>. Consultado el: 11 de mayo de 2018.

Yang, W., Harpole, J., Finn, C., y Strik, B. 2008. Evaluating berry firmness and total soluble solids of newly released highbush blueberry cultivars. *Acta horticulturae*. 810. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2009.810.115>.

Yu, P., Li, C., Takeda, F., y Krewer, G. 2014. Visual bruise assessment and analysis of mechanical impact measurement in southern highbush blueberries. *Applied engineering in agriculture*, 30: 29-37.

Zapata, L., Malleret, A., Quinteros, C., Lesa, C., Vuarant, C., Rivadeneira, M., y Gerard, J. 2010. Estudio sobre cambios de la firmeza de bayas de arándanos durante su maduración. *Ciencia, docencia y tecnología*, 41: 159-171.