



UNIVERSIDAD DE TALCA

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA DE AGRONOMÍA

**APLICACIÓN DE LA ESPECTROSCOPIA DE REFLECTANCIA COMO
EVALUACIÓN DE VARIABILIDAD AMBIENTAL ENTRE HUERTOS DE PERAS CV.
PACKHAM'S TRIUMPH CON DAÑO POR SOL**

MEMORIA DE TÍTULO

VALENTINA SOFÍA GONZÁLEZ CASTRO

TALCA-CHILE

2020

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, 2020

APROBACIÓN



Profesor Guía Ing. Agr. Dr. Gustavo A. Lobos Prats
Profesor Escuela de Agronomía
Centro de Mejoramiento Genético y Fenómica Vegetal
Facultad de Ciencias Agrarias
Universidad de Talca - Chile



Profesora Informante Ing. Agr. Dra. Carolina A. Torres Del Campo
Departamento de Horticultura
Centro de Investigación y Extensión de Árboles Frutales
Washington State University – Wenatchee

Fecha de presentación de la Defensa de Memoria: 04 / 11 / 2020

AGRADECIMIENTOS

En primera instancia agradezco a Gustavo Lobos por tener la gran disposición y por acogerme como una de sus tésistas, por enseñarme tanto del mundo del agro y sus nuevos desafíos, pero también por haberme ayudado en como abordar problemáticas. También le agradezco a Carolina Torres, por permitirme realizar mi memoria de título con usted desde un comienzo y porque a pesar de todo siempre estuvo presente en todo el proceso.

También quiero agradecer a mi familia, por su apoyo incondicional frente a cualquier decisión que he tomado y por estar presente todos estos años. A mis amigos que han formado parte de este proceso universitario, les agradezco por entregarme sus consejos y buenas vibras siempre, en momentos buenos y no muy buenos.

Del mismo modo estoy totalmente agradecida de los profesores Patricio Peñailillo, Javier Sánchez y la profesora Claudia Moggia que han marcado mi paso por el pregrado, entregando su disposición, orientación y consejos.

Finalmente, pero no menos importante, quiero agradecer a todas las mujeres feministas, por empoderarse y generar una lucha por el cambio, cambios que nos han permitido como género hoy en día poder votar, estudiar o llevar pantalones, gracias por romper estereotipos y demostrar que no somos el sexo débil, si no que somos valientes, fuertes, libres, capaces de todo y empoderadas. Gracias por querer del mundo algo mejor para todos.

RESUMEN

Durante la última década, por rapidez, facilidad de uso y por ser no destructivo, la espectroscopia de reflectancia ha tomado gran relevancia, permitiendo caracterizar los efectos de condiciones bióticas y abióticas sobre las plantas; en general modelamiento para la estimación de algún carácter de la planta o fruto. Con el objeto de evaluar la habilidad de la técnica en la identificación de diferencias medioambientales en peras Packham's Triumph, de cada huerto (Totoral, Javierana y Refugio; Rengo, Región de O'Higgins, Chile) y nivel de daño estudiado (sano, leve, moderado y severo), durante la temporada 2017/18 se seleccionaron 40 frutos por condición. Una vez cosechada y segregada, la fruta se almacenó en frío convencional (0°C y 90% HR) por diecisiete semanas. Semanalmente y durante cuatro meses, a la fruta se les realizaron mediciones de colorimetría y espectroscopia Vis/NIR (490-950 nm). Tanto los resultados de colorimetría como de la firma espectral demuestran que existen diferencias evidentes en el origen de la fruta (localidad). Al estudiar las reflectancias, es posible identificar que aquellas sin daño o control no presentó diferencias significativas entre huertos, pero si la dañada. Al analizar la longitud de onda 720 nm, es posible afirmar que el comportamiento de Javierana y Refugio son similares pero diferentes de Totoral. Estos resultados demuestran la factibilidad en el uso de esta técnica para seleccionar aquellos frutos que pudieran tener una evolución en postcosecha distinta que obligará a reconsiderar su guarda o capacidad de viaje.

Palabras claves: Packham's Triumph; espectroscopia; espectrómetro; colorimetría.

ABSTRACT

During the last decade, due to its speed, ease of use and being non-destructive, reflectance spectroscopy has taken on great relevance, allowing to characterize the effects of biotic and abiotic conditions on plants, in general modeling to estimate some character of the plant or fruit. With the aim to evaluate the skill of the technique in identifying environmental differences in Packham's Triumph pears, of each garden (Totoral, Javierana and Refugio, Rengo, O'Higgins Region, Chile) and damage level studied (healthy, mild, moderate and severe), during the 2017/18 season, 40 fruits were selected per condition. Once harvested and segregated, the fruit was stored in conventional cold (0 ° C and 90% RH) for seventeen weeks. Weekly for four months, color and spectroscopy Vis / NIR (490-950 nm) measurements were made to the fruit. The results of colorimetry and the spectral signature show that there are obvious differences in the origin of the fruit (location). When studying the reflectance, it is possible to identify that those without damage or control did not present significant differences between orchards, but if the damaged. When analyzing the wavelength 720 nm, it is possible to affirm that the behavior of Javierana and Refugio are similar but different from Totoral. These results demonstrate the feasibility in the use of this technique to select those fruits that might a different postharvest evolution that force to reconsider its storage or travel capacity.

Keywords: Packham's Triumph; spectroscopy; spectrometer; colorimetry.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Hipótesis.....	3
1.2 Objetivo general	3
1.3 Objetivos específicos.....	3
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	4
2.1 Cultivar Packham's Triumph.....	4
2.2 Descripción del daño por sol	4
2.2.1 Factores predisponentes.....	5
2.2.1.1 Temperatura	5
2.2.1.2 Radiación solar	5
2.2.1.3 Humedad relativa	6
2.2.1.4 Velocidad del viento.....	6
2.3 Espectroscopia.....	6
2.3.1 Tecnología NIR	7
3. MATERIALES Y MÉTODOS	9
3.1 Descripción del material vegetal	9
3.2 Evaluaciones	10
3.2.1 Color de piel (H°).....	11
3.2.2 Espectroscopia VIS/NIRS	11
3.2.3 Transformación de datos	12
4. RESULTADOS.....	13
4.1 Colorimetría	13
4.2 Reflectancia espectral.....	22

5.	CONCLUSIONES	28
6.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	29

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Espectro electromagnético (Martelo, 2014)	7
Figura 2	Ubicación de los detectores en espectrómetro de reflectancia NIR (adaptado de Kawano, 2004)	8
Figura 3	Evolución por categoría de daño leve, moderado, severo y control de los parámetros tono (ángulo hue, H°) y a^* de la zona expuesta al sol en peras cv. Packham's Triumph, durante almacenaje en frío convencional (FC), para la temporada 2017/18, en distintas localidades de la comuna de Rengo (Javierana, Refugio y Totoral).	16
Figura 4	Evolución de los parámetros a^* y tono (ángulo Hue, H°) de la zona expuesta al sol en peras cv. Packham's Triumph con diferentes severidades de daño por sol (leve, moderado y severo) y la condición sana (control), durante almacenaje en frío convencional (FC), para la temporada 2017/18, en distintas localidades de la comuna de Rengo (Javierana, Refugio y Totoral).	17
Figura 5	Promedios por huerto de las diferentes categorías de daño por sol, para el espectro 720 nm, con su correspondiente error estándar.	19
Figura 6	Firmas espectrales (A, C, E) de la categoría control de peras cv. Packham's Triumph en las localidades de Javierana, Refugio y Totoral, para las semanas 1, 6 y 17. Además de las comparaciones entre el control (Javierana; J) y cada huerto (Refugio y Totoral), representado por la resta de las reflectancias en cada longitud de onda (B, D, F).	20
Figura 7	Firmas espectrales (A, C, E) de la categoría leve de peras cv. Packham's Triumph en las localidades de Javierana, Refugio y Totoral, para las semanas 1, 6 y 17. Además de las comparaciones entre el control (Javierana; J) y cada	21

huerto (Refugio y Totoral), representado por la resta de las reflectancias en cada longitud de onda (B, D, F).

Figura 8

Firmas espectrales (A, C, E) de la categoría moderado de peras cv. Packham's Triumph en las localidades de Javierana, Refugio y Totoral, para las semanas 1, 6 y 17. Además de las comparaciones entre el control (Javierana; J) y cada huerto (Refugio y Totoral), representado por la resta de las reflectancias en cada longitud de onda (B, D, F). 22

Figura 9

Firmas espectrales (A, C, E) de la categoría severo de peras cv. Packham's Triumph en las localidades de Javierana, Refugio y Totoral, para las semanas 1, 6 y 17. Además de las comparaciones entre el control (Javierana; J) y cada huerto (Refugio y Totoral), representado por la resta de las reflectancias en cada longitud de onda (B, D, F). 23

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 3.1.1	Antecedentes de los huertos comerciales.	10
Cuadro 3.1.2.	Escala de daño por golpe de sol por sol en fruto.	11
Cuadro 4.1.1.	Parámetro de colorimetría a* en la categoría control (sana) de peras Packham's Triumph de distintas localidades (Javierana; Refugio; Totoral, Comuna de Rengo), en diferentes semanas de almacenaje, en la temporada 2017/18.	16
Cuadro 4.1.2.	Parámetro de colorimetría Hue en la categoría control (sana) de peras Packham's Triumph de distintas localidades (Javierana; Refugio; Totoral, Comuna de Rengo), en diferentes semanas de almacenaje, en la temporada 2017/18.	17
Cuadro 4.1.3.	Parámetro de colorimetría a* en la categoría leve de peras Packham's Triumph de distintas localidades (Javierana; Refugio; Totoral, Comuna de Rengo), en diferentes semanas de almacenaje, en la temporada 2017/18.	17
Cuadro 4.1.4.	Parámetro de colorimetría Hue en la categoría leve de peras Packham's Triumph de distintas localidades (Javierana; Refugio; Totoral, Comuna de Rengo), en diferentes semanas de almacenaje, en la temporada 2017/18.	18
Cuadro 4.1.5.	Parámetro de colorimetría a* en la categoría moderado de peras Packham's Triumph de distintas localidades (Javierana; Refugio; Totoral, Comuna de Rengo), en diferentes semanas de almacenaje, en la temporada 2017/18.	18

Cuadro 4.1.6.	Parámetro de colorimetría Hue en la categoría moderado de peras Packham's Triumph de distintas localidades (Javierana; Refugio; Totoral, Comuna de Rengo), en diferentes semanas de almacenaje, en la temporada 2017/18.	19
Cuadro 4.1.7.	Parámetro de colorimetría a* en la categoría severo de peras Packham's Triumph de distintas localidades (Javierana; Refugio; Totoral, Comuna de Rengo), en diferentes semanas de almacenaje, en la temporada 2017/18.	19
Cuadro 4.1.8.	Parámetro de colorimetría Hue en la categoría severo de peras Packham's Triumph de distintas localidades (Javierana; Refugio; Totoral, Comuna de Rengo), en diferentes semanas de almacenaje, en la temporada 2017/18.	20

1. INTRODUCCIÓN

Durante los últimos años, se han hecho evidentes cambios en el clima, los cuales se han manifestado de diferentes formas, como el aumento en las temperaturas medias globales, disminución de las precipitaciones y fenómenos meteorológicos extremos (Fernández, 2013). Muchos de estos factores tendrán repercusiones en la agricultura, como por ejemplo las altas temperaturas, que podrían provocar la pérdida de materia orgánica del suelo dado el aceleramiento de procesos de descomposición de esta, afectando finalmente la fertilidad de suelos (Altieri y Nicholls, 2009).

El conjunto de altas radiaciones y temperaturas, además de baja humedad relativa (Morales-Quintana et al., 2020; Racsko y Schrader, 2012; Yuri et al., 2004) ha generado un incremento de desórdenes fisiológicos en fruta, como lo es el daño por sol o “sunburn”. Este fenómeno, desencadena cambios fisiológicos y bioquímicos en la fruta (Morales-Quintana et al., 2020), causando síntomas como, cambio de coloración en la epidermis expuesta al sol, generando colores bronceados, amarillos, rojizos u blancuzcos, dependiendo del nivel de quemadura. Cuando la lesión es de carácter severo, la fruta se torna de color marrón oscuro (Meheriul, 1993). Pudiendo llegar a comprometer la pulpa del fruto, ya que las bandas de radiación UV-B (280 - 320 nm) y UV-C (< 280 nm) son altamente energéticas y dañinas para los tejidos (Yuri, 2001). Pudiendo desencadenar una mayor predisposición a ataques patogénicos en las áreas afectadas por la lesión solar (Racskó et al., 2005).

Los nuevos escenarios climáticos, son relevantes de estudiar, puesto que tendrán repercusiones sobre el rendimiento, producción, calidad, distribución de cultivos, entre otros (Viguera et al., 2017; Bascopé, 2013). En consecuencia, se han implementado nuevas tecnologías de teledetección, las cuales han sido utilizadas para evaluar respuestas generadas por las plantas, frente a diferentes tipos de estrés, ya sean bióticos y/o abióticos (Lobos y Hancock, 2015). Es la espectroscopia de reflectancia, una tecnología de teledetección prometedora, ya que es una metodología no destructiva, rápida y eficiente de utilizar (Roberts et al., 2004).

Un claro ejemplo, es la evaluación de la firma espectral de una planta sana, donde los pigmentos fotosintéticos absorben en los rangos azul (400-500 nm) y rojo (600-700 nm) y reflejan en el rango verde (500-600 nm), de modo que, la respuesta en la región visible (Vis) del espectro

está condicionada por los pigmentos (Caldentey, 2017). Mientras que en la región NIR (770-1300 nm), la reflectancia está condicionada por la estructura del tejido, es decir, por células epidérmicas, parénquima (espacios de aire, espesor de la pared celular, entre otros), estado del agua intra y/o intercelular, compuestos químicos, entre otros. (Christensen, 2004; Aventín., 2017; Cabrera-Bosquet et al., 2012; Silva-Pérez et al., 2018; Torres et al., 2016).

1.1 Hipótesis

La comparación de las firmas espectrales entre huertos, a igual categoría de daño, sería suficiente para determinar diferencias ambientales.

1.2 Objetivo general

Desarrollar una metodología que, a través de la comparación de las firmas espectrales de peras cv. Packham's Triumph con igual nivel de daño, permita identificar diferencias ambientales /GxE entre huertos.

1.3 Objetivos específicos

Validación colorimétrica:

Establecer la concordancia entre las categorías de daño por sol y los parámetros de colorimetría obtenidos para los distintos huertos.

Validación espectral:

Identificar diferencias espectrales relacionadas a variaciones de la severidad del daño por sol en cada ambiente.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 Cultivar Packham's Triumph

En Chile el peral se distribuye entre la Región de Coquimbo y la Región de La Araucanía, siendo las de O'Higgins y del Maule las que disponen del 88% de la superficie nacional (ODEPA, 2018). Entre los cultivares que ocupan mayor superficie se encuentran Packham's 's Triumph (34%), Abate Fetel (18%) y la Forelle (13%) (Lorca, 2018).

Packham's Triumph es un cultivar que presenta floración temprana, floreciendo en Chile a mediados o fines de septiembre (Lorca, 2018), su cosecha es 140 días después de plena flor aproximadamente (Campbell, 2002). Al ser una pera de invierno, requiere de periodos de bajas temperaturas (-1 a 0 °C) para alcanzar una madurez de consumo (Defilippi y Torres, 2015).

En relación con el almacenaje de este cultivar, la temperatura óptima es entre -1 y 0°C, mientras que la humedad relativa varía entre 90 a 95% (Richardson y Gerasopoulos, 1994). Sin embargo, el tiempo máximo de almacenaje varía respecto a la tecnología utilizada, es decir, guardas realizadas en frío convencional (FC) pueden conservarse hasta seis meses, mientras que en atmósfera controlada (AC) se conservan hasta por ocho meses (Kader, 2002a; Richardson et al., 1997).

Para llegar a la madurez de consumo en Packham's Triumph, la fruta debe ser expuesta a bajas temperaturas (-1 a 0°C) por uno a cinco meses, posterior a esto la fruta debe mantenerse a 18°C de tres a cinco días (Richardson y Gerasopoulos, 1994). De esta forma se estimula la síntesis de etileno, una vez que se logra la madurez de consumo, esta hormona produce una rápida senescencia (Moggia et al., 2005).

2.2 Descripción del daño por sol

El daño por sol es un desorden fisiológico que se manifiesta en campo, el cual se caracteriza por generar un cambio de coloración en la epidermis de los frutos expuestos a la radiación solar directa. En peras verdes el área afectada puede observarse de coloración bronceada, amarilla, sonrojada o blanquecina. No obstante, cuando la quemadura solar es severa, la coloración de la

zona expuesta al sol es café oscura o negra, situación que puede llegar a comprometer la pulpa del fruto, facilitando la entrada de patógenos (Calvo y Candan, 2013).

Entre los principales factores que desencadenan el daño por sol en frutos, se encuentran las exposiciones prolongadas a la radiación solares y elevadas temperaturas (> a 30°C). Este desorden fisiológico ocurre generalmente cuando la temperatura de la epidermis supera los 45°C (Calvo y Candan, 2013). Sin embargo, puede variar según otros factores como la humedad relativa (Racsko y Schrader, 2012) y velocidad del viento (Van den Ende, 1999).

2.2.1 Factores ambientales predisponentes

2.2.1.1 Temperatura

Según Schrader et al. (2003) la temperatura máxima del aire esta correlacionada con la temperatura máxima de la superficie del fruto, relacionándose directamente con el nivel de daño por sol (Holmes et al., 2009). Yuri et al. (2004) postula que en Chile la principal causa del desarrollo del daño por sol en manzanas son las elevadas temperaturas. En los estudios del autor se determina que, frutos desprendidos del árbol expuestos a algunas horas de radiación desarrollan quemaduras por sol más graves que los frutos en planta, lo que se atribuiría a la nula transpiración de estos, ocasionando una acumulación térmica mayor en la superficie de la fruta

2.2.1.2 Radiación solar

Según Yuri (2001) el debilitamiento de la capa de ozono podría estar relacionado con la severidad del daño por sol, ya que posibilita una mayor penetración de radiación ultravioleta (UV) a través de la atmósfera. Si bien esta representa entre un 2 – 5% de la radiación global, las bandas de radiación UV-C (< 280 nm) y UV-B (280 – 320 nm) son altamente energéticas, de tal modo que pueden generar daños a nivel tejido, macromoléculas, hasta a nivel de ADN (Jenkins, 2009; Yuri, 2001).

Además, sólo una parte de la radiación que incide en la superficie terrestre es absorbida como energía y utilizada en la fotosíntesis, mientras que el excedente es transformado en calor, aumentando la temperatura de la superficie (Yuri, 2001).

2.2.1.3 Humedad relativa

La humedad relativa (HR) se considera un factor importante en el desarrollo de quemaduras solares, el cual debe estar asociado a la radiación y temperatura (Racsko y Schrader, 2012)

Una planta expuesta a condiciones de alta radiación y temperatura, además de una baja humedad relativa, aumenta su tensión y a su vez aumenta el estrés del fruto, favoreciendo las quemaduras solares (Schrader et al., 2001; Gonda et al., 2006).

Según estudios de Zhang et al. (2007) se ha descubierto que la humedad relativa alta es favorable para la estimulación de componentes de membrana, la actividad 5'-nucleotidasa y para la reducción de quemaduras solares.

2.2.1.4 Velocidad del viento

Estudios realizados por Van den Ende (1999) afirman que la circulación de aire entre los árboles es importante para reducir el riesgo del daño por sol, lo que se justifica con el modelo de Thorpe (1974), donde se menciona que la temperatura que la epidermis del fruto se reduce hasta en 5°C cuando la velocidad del viento aumenta entre 0,3 a 4,0 m/s.

2.3 Espectroscopia

Los diversos tipos de espectroscopia se diferencian según el tipo de luz o energía radiante (Lourenco et al., 2012). Las radiaciones del espectro electromagnético se distinguen según sus longitudes de ondas determinadas, lo que condiciona el tipo de interacción que presenta la radiación con la materia (ICIQ, 2020). Es decir, los espectros de absorción constituyen a la identidad de una molécula, determinando bandas características entre una molécula u otra.

El espectro electromagnético es el conjunto de radiaciones electromagnéticas ordenadas según longitud de onda, frecuencia o energía, además se divide en varias regiones espectrales que abarcan un intervalo continuo de longitudes de onda o frecuencias (Figura 1)

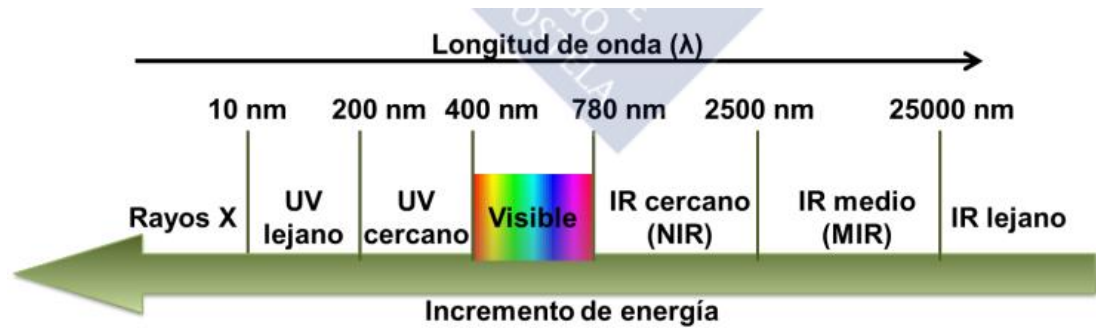


Figura 1. Espectro electromagnético (Martelo, 2014)

2.3.1 Tecnología NIR

La espectroscopia NIR (infrarrojo cercano) es una técnica analítica utilizada para determinar atributos cualitativos y cuantitativos en variados sectores productivos, además de ser una alternativa a los análisis tradicionales de laboratorio para el control de calidad de alimentos (Williams y Norris, 2001; Osborne et al., 1993; Cen y He, 2007).

Este método de análisis destaca especialmente en la agricultura al ser no destructivo para la muestra en estudio, además de ser una técnica fácil y rápida de utilizar, incluso de poseer gran precisión y exactitud mientras que se sigan los procedimientos adecuados para generar modelos de predicción requerido (Roberts et al., 2004; Garrido y Gómez-Cabrera, 1993).

El espectro NIR es el resultado de las absorciones de radiación de los grupos funcionales presentes en las moléculas de una muestra (Burns y Ciurczak, 1992 y 2001; Shenk y Westerhaus, 1995; Bokobza, 1998), por ende, es exclusiva para cada material en estudio (Workman y Shenk, 2004). Los cambios en los valores de absorbancia en las diferentes longitudes de ondas del rango NIRS, son proporcionales a las variaciones de las concentraciones de componentes químicos o de las características físicas del objeto a analizar (Workman y Shenk, 2004).

La tecnología NIRS ha permitido registrar el espectro de muestras sólidas, líquidas y/o gaseosas, variabilidad que conlleva a que existan diferentes ubicaciones los detectores respecto a la muestra. Estos son responsables de captar y medir la radiación que es transmitida, reflejada o ambas por el objeto en estudio (Figura 2) (Shenk y Westerhaus, 1995).

El método más utilizado para analizar muestras sólidas y semisólidas es la reflectancia, en este sistema el haz de luz se difunde a través de la muestra, penetrando en ella e interactuando con las partículas, absorbiendo una determinada cantidad de radiación electromagnética en el rango NIR (780 a 2500 nm) (Shenk et al., 2001; Flores, 2009). Mientras que la energía que no es absorbida

se refleja y es cuantificada por detectores situados en el mismo plano de la muestra (Figura 2) (Flores, 2009).

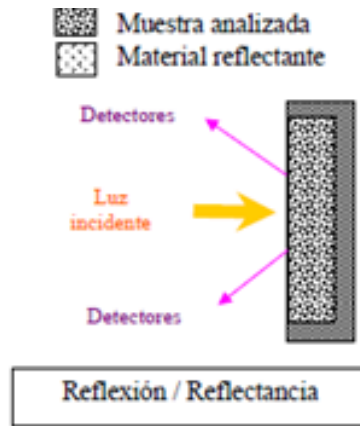


Figura 2. Ubicación de los detectores en espectrómetro de reflectancia NIR (adaptado de Kawano, 2004).

La espectroscopia de reflectancia es una de las tecnologías de teledetección que ha tomado importancia en la agricultura, ya que es capaz de predecir las respuestas generadas por las plantas y/o frutos frente a efectos de estrés bióticos y/o abióticos (Torres et al., 2016; Grandón et al., 2019; Lobos et al., 2019). Algunas de las áreas donde ha sido utilizada es en estudios relacionados en eco fisiología (Lobos et al., 2014), postcosecha (Grandón et al., 2019; Sazo, 2015; Clark et al., 2003; Fan et al., 2009), enología (Martelo, 2014) entre otras áreas. Respuestas que se pueden analizar a través de la firma espectral, la cual se define como una representación gráfica de las variaciones electromagnéticas reflejadas para cada longitud de onda, que se relacionada con la absorción de ciertas longitudes de ondas, mostrando características específicas u condiciones a las fueron o son sometidas las plantas (Garbulsky et al., 2011).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Descripción del material vegetal

Durante la temporada 2017/18, la empresa exportadora “DOLE Food Company”, cosechó peras del cultivar Packham’s Triumph de tres huertos comerciales de la Región Libertador General Bernardo O’Higgins, Chile (Cuadro 1).





Cuadro 3.1.1 Antecedentes de los huertos comerciales.

HUERTO	TOTORAL	JAVIERANA	REFUGIO
Ubicación	34°23’11,02” S 70°51’56,56” O	34°34’52,8” S 70°54’40,7” O	34° 23’34,85” S 70°56’38,97” O
Año de plantación	2010	1989	1981
Distancia de plantación (m)	2,5 x 5, 0	2,5 x 4,5	3,5 x 5,5
Orientación	Oriente- poniente	Norte- sur	Norte- sur
Patrón	Franco	Franco	Franco
Densidad de plantación (pl ha⁻¹)	800	888	519
Cosecha	06/02/2018	08/02/2018	14/02/2018
DDPF*	131	136	139

*Días después de plena flor

Una vez que la fruta fue recepcionada en la planta de proceso de la empresa en San Fernando, el personal entrenado seleccionó visualmente, frutos con diferente grado de daño por sol. Por cada huerto, se seleccionaron 40 frutos por categoría, las que consistieron en severo, moderado, y leve y aparentemente sana o control (Cuadro 3.1.2).

Cuadro 3.1.2. Escala de daño por golpe de sol por sol en fruto.

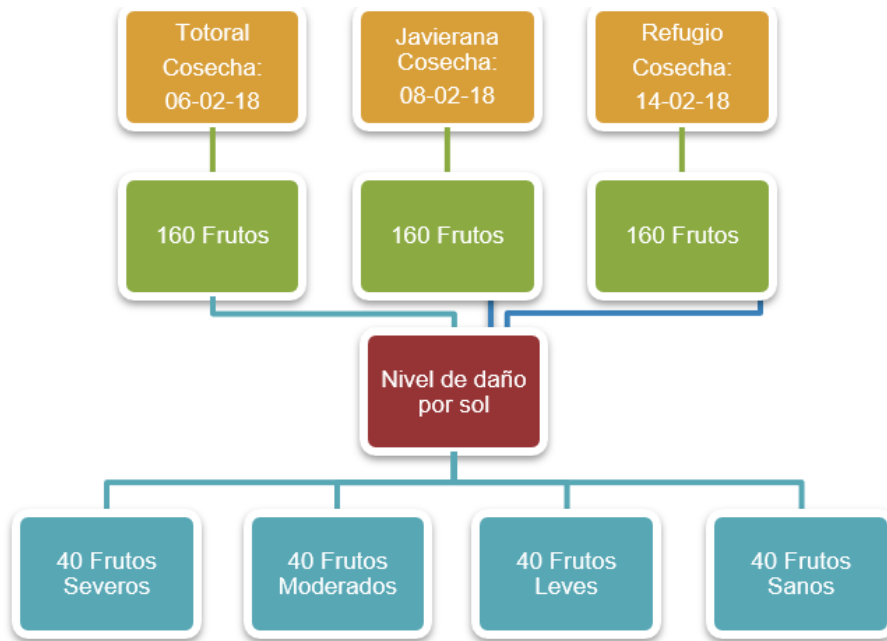
			
<p>Sano (control)</p>	<p>Leve</p>	<p>Moderado</p>	<p>Severo</p>
<p>Coloración verde sin daño aparente</p>	<p>Coloración amarilla en la cara expuesta al sol</p>	<p>Coloración amarilla- anaranjada en la cara expuesta al sol</p>	<p>Coloración rojiza en la cara expuesta al sol</p>

3.2 Evaluaciones

La fruta fue enviada al Centro de Pomáceas de la Universidad de Talca (Talca - Chile), para ser almacenadas en frío convencional a 0°C con 90% de humedad relativa, por 21 semanas, siendo analizadas en 17 ocasiones.

Desde la llegada de la fruta al Laboratorio de Postcosecha del centro, se realizó una caracterización semanal por colorimetría y espectrometría de reflectancia. Con ambas técnicas, en aquella fruta con golpe de sol, las mediciones se realizaron en el centro del área dañada (cara expuesta al sol). Sin embargo, para frutos control (sin daño aparente), la lectura se dirigió a la zona ecuatorial de una cara al azar.

Diagrama 1. Resumen de frutos estudiados.



3.2.1 Color de piel (H°)

Con un colorímetro Minolta CR-200 (Ramsey, New Jersey, USA), se midió luminosidad (L) en un rango de 0 (negro) hasta 100 (blanco), a^* (tonalidades rojas si $a^* > 0$ y verdes si $a^* < 0$) y b^* (tonalidades amarillas si $b^* > 0$ y azul si $b^* < 0$)

Para cuantificar el ángulo Hue (H° ; tono) y croma (C; saturación) se utilizó:

$$\text{Ángulo Hue} = \tan^{-1}(b * a *)$$

$$\text{Croma} = \sqrt{a * ^2 + b * ^2}$$

Dado que existieron valores $a^* < 0$ y $b^* \geq 0$, se sumó 180° al valor calculado del ángulo Hue, en los casos donde $a^* > 0$ y $b^* \geq 0$ se mantiene el valor del ángulo, para poder reflejar el tono en el diagrama de circunferencia de 0° a 360° (McGuire, 1992; Jha, 2010).

3.2.2 Espectroscopia VIS/NIRS

En la medición de reflectancia se utilizó un espectrómetro portátil JAZ EL 350 Ocean Optics, (Dunedin, Florida, USA) con un rango espectral entre 350 y 1023 nm. La calibración del equipo

se realizó con un disco de fondo de cerámica blanca estándar 1-SL Ocean Optics (Dunedin, FL, USA), mientras que la calibración oscura fue realizada cubriendo la sonda con una funda negra.

3.2.3 Diseño y análisis estadístico

Para el siguiente estudio, se utilizaron los siguientes análisis estadísticos:

Los datos obtenidos de las 18 mediciones de colorimetría, desde cosecha a final de almacenaje, fueron procesados y analizados mediante un análisis de varianza (ANOVA) simple, para establecer posibles diferencias entre huertos para los parámetros de colorimetría estudiados (a^* ; ángulo hue). Cuando mostró diferencias significativas el ANOVA se utilizó la separación de medias, mediante la prueba LSD ($p \leq 0,05$). Todos los análisis estadísticos mencionados se realizaron a través el software Statgraphics Centurion XVI.I (Warrenton, USA)

Mientras que los datos obtenidos de las mediciones de espectroscopia de reflectancia fueron descargados en formato XML, al graficar el espectro original se obtiene una nube de puntos, por lo que se realiza una interpolación LOESS (regresión local) de la nube, con el fin de eliminar el ruido para revelar características y/o componentes de las señales de gran importancia. Por ende, a través de la interpolación realizada, se extrajeron valores del espectro entre 490 a 950 nm.

Con el fin de explorar la capacidad de la reflectancia espectral para identificar variabilidad ambiental entre huertos cercanos (distancia máxima de 26,3 km entre ellos), se utilizó la metodología propuesta por Lobos et al. (2019). En resumen, para magnificar las diferencias en las firmas espectrales (representación gráfica de la reflectancia) entre huertos para una categoría determinada, los valores promedio de reflectancia por longitud de onda de un huerto particular se le restaron la de los otros dos huertos (Javierana – Refugio y Javierana - Totoral). Finalmente, se graficaron las diferencias de reflectancia entre ambientes; esta representación gráfica permite comparar cambios con relación a la primera medición (línea horizontal en $y = 0$) pero también entre huertos (superposición entre las líneas que representan cada resta).

4. RESULTADOS

4.1 Colorimetría

Los parámetros de colorimetría a^* y ángulo hue entregaron información relevante con respecto a las tres localidades estudiadas. Tanto a^* como el ángulo hue, mostraron tendencias similares en las diferentes categorías de daño por sol y el control, pudiendo diferenciar los niveles de severidad y el control (sin daño aparente) que presentaron los frutos a lo largo de la guarda, pero la caracterización del color es diferente para cada localidad (Figura 4).

Durante el periodo de almacenaje en FC, se encontró diferencia entre las categorías de daño, por huerto, puesto que existieron cambios en la tonalidad, según el nivel de severidad de lesión solar (Figura 4). Al igual que el estudio de Contreras et al., (2008), la fruta control presentó un mayor ángulo, mientras que las con lesiones leves y moderadas mostraron un ángulo similar, sin embargo, la categoría severa fue la que obtuvo ángulos más pequeños. Comportamiento que se mantuvo durante todo el tiempo de almacenaje.

Es importante destacar que, desde el punto de vista visual e instrumental, la fruta control no presentó diferencias de tonalidades evidentes entre huertos en el primer mes de almacenaje, caso opuesto a lo que ocurre en frutos con algún nivel de lesión solar (Figura 3C, E, G). Sin embargo, el parámetro a^* de frutos control si mostró diferencias entre huertos, donde Refugio y Totoral mantuvieron un comportamiento similar durante gran parte del almacenaje, distinto de Javierana. (Figura 3B), lo cual también se pudo corroborar con la separación de medias descritas en el Cuadro 4.1.1.

Al analizar las localidades en las categorías leves y moderadas se observó, que a partir de la semana 11 apreciaron diferencias notorias entre la fruta leve de las tres localidades, para ambos parámetros analizados, mientras que la fruta moderada tendió a presentar diferencias más notorias a partir de la semana 15 (Figura 3C, D, E, F). Aun así, la categoría leve para ambos parámetros de colorimetría mostró mayor similitud entre los huertos Refugio y Totoral (Cuadro 4.1.3; Cuadro 4.1.4). Mientras que en el nivel de daño moderado se obtuvo una mayor similitud entre las localidades de Javierana y Refugio (Cuadro 4.1.5; Cuadro 4.1.6).

En relación con la condición de daño severo se obtuvo que los distintos huertos tienen una tendencia similar durante el almacenaje (Figura 3G, H), pero se pudieron diferenciar las localidades a través de los parámetros a^* y Hue. Pero a través del ANOVA se determinó que con relación al parámetro a^* las localidades de Refugio y Totoral tienden a ser más similares, a diferencia del ángulo hue que presentó similitud entre los huertos Javierana y Refugio (Cuadro 4.1.7; Cuadro 4.1.3)

El menor grado de rubor en fruta se presentó en la localidad de Javierana (Figura 4), en categorías con severidad de daño, lo que se pudo deber a factores de manejo, como la estructura del árbol, la cual puede afectar la exposición de la fruta a la luz solar directa (Parchomchuk y Meheriuk, 1996). La nutrición mineral también puede tener efecto positivo frente al daño, ya que cantidades óptimas de nitrógeno aplicadas, pueden mejorando el vigor de las plantas y proporcionando protección para la fruta frente las quemaduras solares (Racskó et al., 2006).

Si bien existen muchos factores involucrados en el desarrollo del daño por sol en fruta, es fundamental no exponer a la planta a muchos factores de estrés, que pueden ser controlados, para que de esta forma se reduzca el porcentaje de frutos dañados. Aun así, cuando un fruto crece en un ambiente de elevadas temperaturas, este genera una mayor resistencia a sufrir daño por sol (Raffo, 2005).

Por otra parte, se observó una variación en la coloración en los frutos durante el almacenaje para cada una de las categorías de daño por sol y el control (sin daño aparente). Este fenómeno se debió a la degradación de clorofila, a causa de presencia de etileno, generando amarillamiento u pérdida de color de la fruta, la cual se ve favorecida por el almacenaje en frío convencional (FC) (Moggia et al., 2005). Almacenaje que promueve una rápida y mayor acumulación de etileno, en comparación a un almacenaje en atmósfera controlada (AC), por lo que el FC es menos efectivo para la retención de color en la epidermis de peras (Moggia et al., 2005).

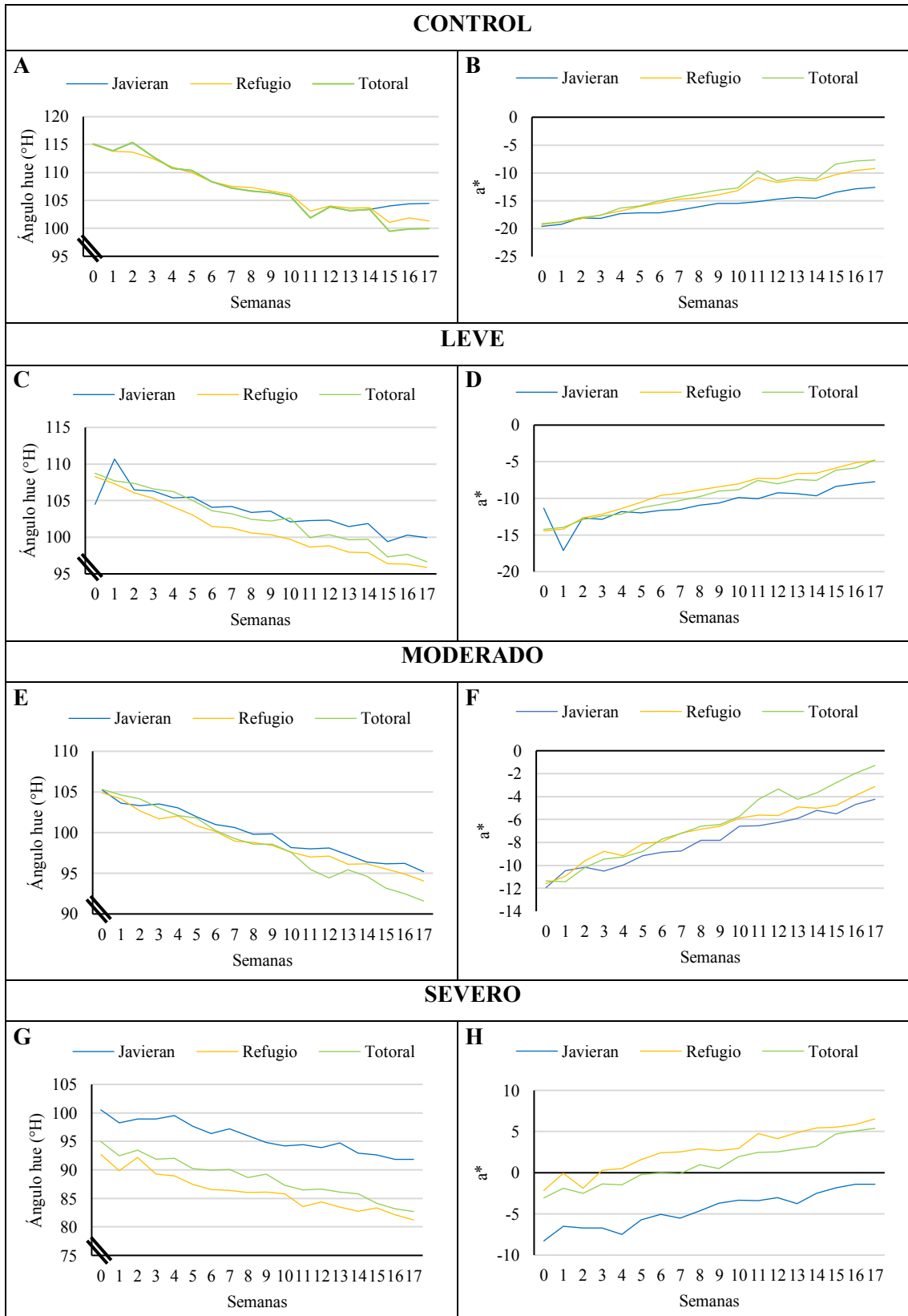


Figura 3. Evolución por categoría de daño leve, moderado, severo y control de los parámetros tono (ángulo hue, H°) y a* de la zona expuesta al sol en peras cv. Packham's Triumph, durante almacenaje en frío convencional (FC), para la temporada 2017/18, en distintas localidades de la comuna de Rengo (Javierana, Refugio y Totoral).

Cuadro 4.1.1. Parámetro de colorimetría a* en la categoría control (sana) de peras Packham's Triumph de distintas localidades (Javierana; Refugio; Totoral, Comuna de Rengo), en diferentes semanas de almacenaje, en la temporada 2017/18.

SEMANAS DE MEDICIONES	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
JAVIERANA	-19,5 a	-19,2 a	-18,1 a	-18,1 a	-17,2 a	-17,1 a	-17,1 a	-16,6 a	-16,0 a	-15,4 a	-15,4 a	-15,1 a	-14,7 a	-14,3 a	-14,5 a	-13,4 a	-12,8 a	-12,5 a
REFUGIO	-19,2 a	-18,8 ab	-18,2 a	-17,5 ab	-16,8 ab	-15,9 b	-15,4 b	-14,6 b	-14,4 b	-13,9 b	-13,1 b	-10,8 b	-11,6 b	-11,2 b	-11,4 b	-10,3 b	-9,5 b	-9,2 b
TOTAL	-19,1 a	-18,7 b	-18,1 a	-17,6 b	-16,2 b	-15,9 b	-14,9 b	-14,3 b	-13,7 b	-13,1 b	-12,7 b	-9,6 b	-11,4 b	-10,7 b	-11,1 b	-8,4 c	-7,8 c	-7,6 b
VALOR-P	0,1864	0,1044	0,6691	0,0806	0,0176	0,0020	0,0000	0,0000	0,0001	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000

Promedios en una misma columna seguidos por la misma letra, no difieren estadísticamente según prueba LSD.

No significativo = $p > 0,05$; significativo $p \leq 0,05$; altamente significativo = $p \leq 0,01$.

Cuadro 4.1.2. Parámetro de colorimetría Hue en la categoría control (sana) de peras Packham's Triumph de distintas localidades (Javierana; Refugio; Totoral, Comuna de Rengo), en diferentes semanas de almacenaje, en la temporada 2017/18.

SEMANAS DE MEDICIONES	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
JAVIERANA	115,5 a	114,4 a	113,9 a	113,5 a	112,2 a	111,9 a	110,7 a	110,2 a	109,7 a	109,6 a	108,8 a	108,2 a	108,5 a	107,6 a	107,6 a	105,4 a	106,3 a	105,8 a
REFUGIO	115 a	113,8 a	113,6 a	112,5 ab	111,1 a	110 a	108,3 a	107,5 a	107,2 a	106,7 a	106 a	103,1 a	104 a	103,6 a	103,7 a	101,1 a	101,8 b	101,3 a
TOTORAL	115,1 a	113,8 b	115,3 a	112,9 b	110,7 b	110,3 b	108,4 b	107,1 b	106,7 b	106,3 b	105,6 b	101,8 b	103,8 b	103,2 b	103,3 b	99,4 b	99,8 c	99,9 b
VALOR-P	0,1132	0,0561	0,3721	0,0228	0,0028	0,0003	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000

Promedios en una misma columna seguidos por la misma letra, no difieren estadísticamente según prueba LSD.

No significativo = $p > 0,05$; significativo $p \leq 0,05$; altamente significativo = $p \leq 0,01$.

Cuadro 4.1.3. Parámetro de colorimetría a^* en la categoría leve de peras Packham's Triumph de distintas localidades (Javierana; Refugio; Totoral, Comuna de Rengo), en diferentes semanas de almacenaje, en la temporada 2017/18.

SEMANAS DE MEDICIONES	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
JAVIERANA	-11,3 a	-17,1 a	-12,6 a	-12,8 a	-11,8 a	-11,9 a	-11,6 a	-11,5 a	-10,9 a	-10,6 a	-9,8 a	-10,1 a	-9,2 a	-9,3 a	-9,6 a	-8,3 a	-8,1 a	-7,7 a
REFUGIO	-14,4 a	-14,2 b	-12,6 a	-12,1 a	-11,3 a	-10,5 ab	-9,5 ab	-9,2 ab	-8,8 ab	-8,4 b	-8 ab	-7,2 b	-7,3 ab	-6,6 b	-6,5 b	-5,8 b	-5,1 b	-4,8 b
TOTORAL	-14,2 b	-13,9 b	-12,9 a	-12,4 a	-12,1 a	-11,2 b	-10,7 b	-10,3 b	-9,7 b	-9,1 b	-8,8 b	-7,5 b	-8 b	-7,4 b	-7,5 b	-6,2 b	-5,8 b	-4,7 b
VALOR-P	0,0003	0,0000	0,9221	0,6063	0,547	0,1184	0,0199	0,0126	0,0204	0,0148	0,0608	0,0011	0,0456	0,0034	0,0004	0,0078	0,0027	0,001

Promedios en una misma columna seguidos por la misma letra, no difieren estadísticamente según prueba LSD.

No significativo = $p > 0,05$; significativo $p \leq 0,05$; altamente significativo = $p \leq 0,01$.

Cuadro 4.1.4. Parámetro de colorimetría Hue en la categoría leve de peras Packham's Triumph de distintas localidades (Javierana; Refugio; Totoral, Comuna de Rengo), en diferentes semanas de almacenaje, en la temporada 2017/18.

SEMANAS DE MEDICIONES	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
JAVIERANA	104,4 a	110,6 a	106,4 a	106,3 a	105,3 a	105,4 a	104,1 a	104,1 a	103,3 a	103,5 a	102,1 a	102,2 a	102,3 a	101,4 a	101,8 a	99,4 a	100,2 a	99,9 a
REFUGIO	108,2 b	107,3 a	106,1 a	105,3 a	104,1 ab	103 b	101,4 b	101,2 b	100,5 b	100,3 ab	99,6 ab	98,6 a	98,8 a	97,9 ab	97,8 a	96,3 a	96,3 a	95,8 a
TOTORAL	108,7 b	107,6 b	107,3 a	106,5 a	106,2 b	105,1 b	103,6 b	103,2 b	102,4 b	102,2 b	102,6 b	99,9 b	100,3 b	99,6 b	99,6 b	97,2 b	97,6 b	96,6 b
VALOR-P	0,0001	0,0000	0,2908	0,2915	0,0507	0,0086	0,0074	0,0051	0,0070	0,0079	0,0654	0,0017	0,0014	0,0026	0,0002	0,0088	0,0015	0,0017

Promedios en una misma columna seguidos por la misma letra, no difieren estadísticamente según prueba LSD.

No significativo = $p > 0,05$; significativo $p \leq 0,05$; altamente significativo = $p \leq 0,01$.

Cuadro 4.1.5. Parámetro de colorimetría a^* en la categoría moderado de peras Packham's Triumph de distintas localidades (Javierana; Refugio; Totoral, Comuna de Rengo), en diferentes semanas de almacenaje, en la temporada 2017/18.

SEMANAS DE MEDICIONES	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
JAVIERANA	-11,9 a	-10,4 a	-10,1 a	-10,5 a	-9,9 a	-9,1 a	-8,8 a	-8,7 a	-7,7 a	-7,8 a	-6,5 a	-6,5 a	-6,2 a	-5,9 a	-5,1 a	-5,5 a	-4,6 a	-4,2 a
REFUGIO	-11,5 a	-10,9 a	-9,6 a	-8,7 ab	-9,1 a	-8,1 a	-7,9 a	-7,2 b	-6,8 ab	-6,5 ab	-5,8 a	-5,6 a	-5,6 ab	-4,9 ab	-5 a	-4,7 a	-3,8 a	-3,1 a
TOTORAL	-11,3 a	-11,4 a	-10,2 a	-9,4 b	-9,2 a	-8,7 a	-7,7 a	-7,2 b	-6,5 b	-6,4 b	-5,7 a	-4,2 b	-3,3 b	-4,2 b	-3,6 b	-2,7 b	-1,9 b	-1,2 b
VALOR-P	0,6261	0,2319	0,5205	0,0182	0,3551	0,1777	0,1174	0,0069	0,0934	0,0537	0,2885	0,0031	0,058	0,0397	0,0534	0,0025	0,0004	0,0004

Promedios en una misma columna seguidos por la misma letra, no difieren estadísticamente según prueba LSD.

No significativo = $p > 0,05$; significativo $p \leq 0,05$; altamente significativo = $p \leq 0,01$.

Cuadro 4.1.6. Parámetro de colorimetría Hue en la categoría moderado de peras Packham's Triumph de distintas localidades (Javierana; Refugio; Totoral, Comuna de Rengo), en diferentes semanas de almacenaje, en la temporada 2017/18.

SEMANAS DE MEDICIONES	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
JAVIERANA	105,2 a	103,6 a	103,3 a	103,5 a	103,1 a	101,9 a	100,9 a	100,6 a	99,8 a	99,8 a	98,1 a	98 a	98,1 a	97,2 a	96,3 a	96,2 a	96,1 a	95,1 a
REFUGIO	104,9 a	104,1 a	102,7 ab	101,6 ab	102 a	100,8 a	100,1 a	98,9 a	98,7 a	98,4 a	97,6 a	97 ab	97,1 ab	96,1 ab	96,2 ab	95,5 b	94,9 b	94,1 b
TOTORAL	105,3 a	104,6 a	104,1 b	103,1 b	102,1 a	101,8 a	100,2 a	99,2 b	98,5 a	98,5 a	97,5 a	95,4 b	94,4 b	95,4 b	94,6 b	93,1 b	92,4 b	91,5 b
VALOR-P	0,8251	0,3327	0,1421	0,0367	0,3172	0,1987	0,4183	0,0281	0,1923	0,116	0,6684	0,018	0,0405	0,0805	0,0692	0,0028	0,0002	0,0008

Promedios en una misma columna seguidos por la misma letra, no difieren estadísticamente según prueba LSD.

No significativo = $p > 0,05$; significativo $p \leq 0,05$; altamente significativo = $p \leq 0,01$.

Cuadro 4.1.7. Parámetro de colorimetría a* en la categoría severo de peras Packham's Triumph de distintas localidades (Javierana; Refugio; Totoral, Comuna de Rengo), en diferentes semanas de almacenaje, en la temporada 2017/18.

SEMANAS DE MEDICIONES	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
JAVIERANA	-8,2 a	-6,4 a	-6,7 a	-6,6 a	-7,4 a	-5,6 a	-5,1 a	-5,5 a	-4,6 a	-3,7 a	-3,3 a	-3,3 a	-3 a	-3,7 a	-2,4 a	-1,8 a	-1,3 a	-1,3 a
REFUGIO	-2,1 b	-0,1 b	-1,8 b	0,2 b	0,5 b	1,6 b	2,4 b	2,5 b	2,8 b	2,7 b	2,9 b	4,7 b	4,1 b	4,8 b	5,4 b	5,5 b	5,8 b	6,5 b
TOTORAL	-3,1 b	-1,8 b	-2,4 b	-1,3 b	-1,4 b	-0,2 b	-0,002 c	-0,1 c	0,9 b	0,5 c	1,9 b	2,4 c	2,5 b	2,9 b	3,1 c	4,7 b	5,1 b	5,3 b
VALOR-P	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000

Promedios en una misma columna seguidos por la misma letra, no difieren estadísticamente según prueba LSD.

No significativo = $p > 0,05$; significativo $p \leq 0,05$; altamente significativo = $p \leq 0,01$.

Cuadro 4.1.8. Parámetro de colorimetría Hue en la categoría severo de peras Packham's Triumph de distintas localidades (Javierana; Refugio; Totoral, Comuna de Rengo), en diferentes semanas de almacenaje, en la temporada 2017/18.

SEMANAS DE MEDICIONES	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
JAVIERANA	100,5 a	98,2 a	98,9 a	98,9 a	99,5 a	97,6 a	96,3 a	97,1 a	96 a	94,8 a	94,2 a	94,4 a	93,8 a	94,7 a	92,9 a	92,6 a	91,8 a	91,8 a
REFUGIO	92,7 a	89,8 a	92,1 a	89,2 b	88,9 b	87,4 b	86,5 b	86,4 b	86 a	86,1 b	85,8 a	83,5 b	84,3 a	83,4 a	82,7 b	83,3 a	82,1 a	81,2 a
TOTORAL	94,9 b	92,5 b	93,4 b	91,9 c	92,1 c	90,2 c	89,9 c	90,1 c	88,6 b	89,2 c	87,2 b	86,5 c	86,6 b	86,1 b	85,8 c	84,1 b	83,1 b	82,6 b
VALOR-P	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000

Promedios en una misma columna seguidos por la misma letra, no difieren estadísticamente según prueba LSD.

No significativo = $p > 0,05$; significativo $p \leq 0,05$; altamente significativo = $p \leq 0,01$.

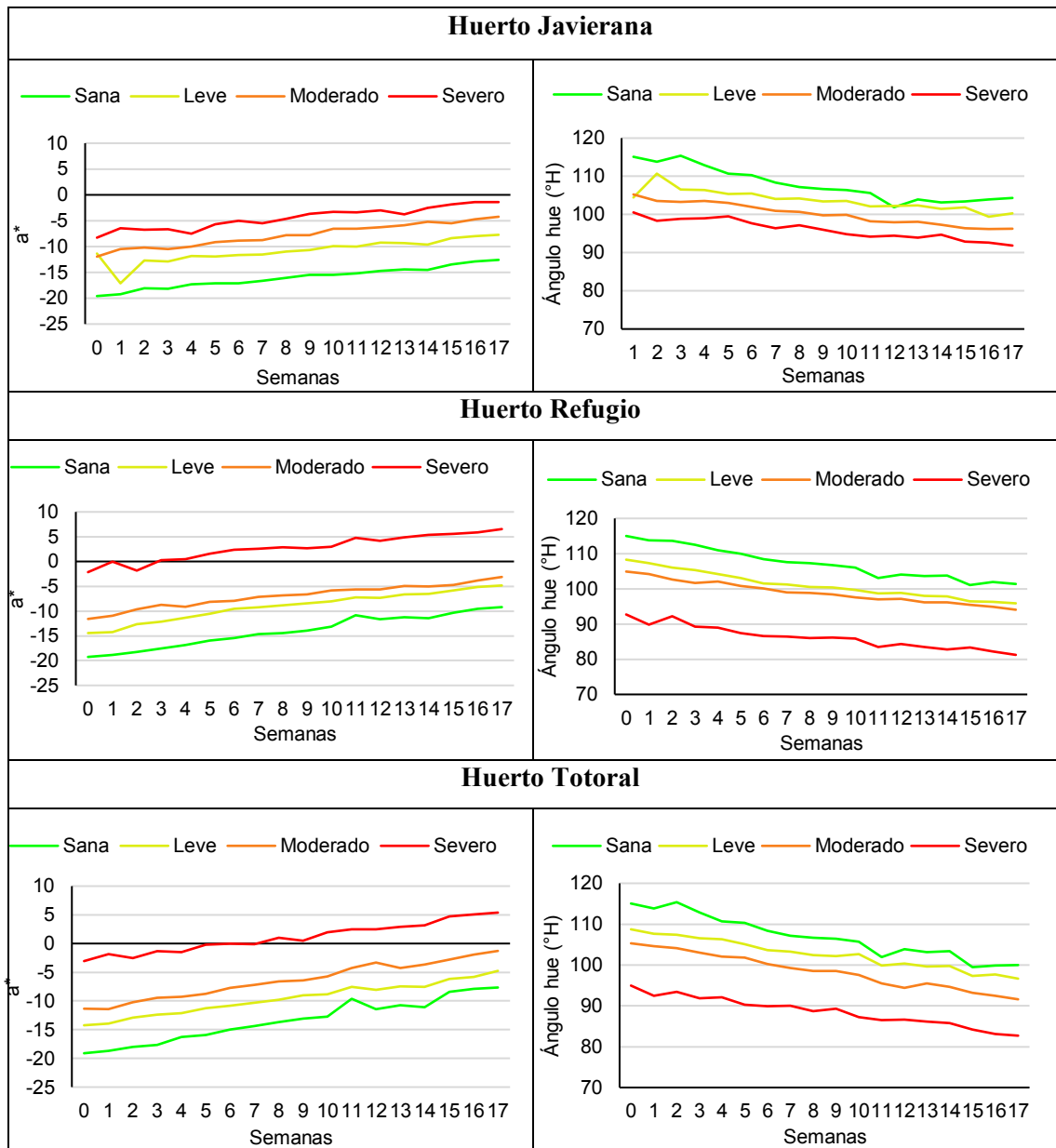


Figura 4. Evolución de los parámetros a^* y tono (ángulo Hue, H°) de la zona expuesta al sol en peras cv. Packham's Triumph con diferentes severidades de daño por sol (leve, moderado y severo) y la condición sana (control), durante almacenaje en frío convencional (FC), para la temporada 2017/18, en distintas localidades de la comuna de Rengo (Javierana, Refugio y Totoral).

4.2 Reflectancia espectral

En todas las mediciones (nivel de daño y fecha de evaluación), se aprecian dos picos importantes, el primero en la región visible y el segundo en el infrarrojo cercano (Figura 6, 7, 8, 9). Mientras que este último permanece en torno a los 720 nm, la reflectancia del primero tiende a disminuir durante el almacenaje (Figura 6, 7, 8, 9).

Sin embargo, a medida que aumenta la severidad del daño, el primer pico se desplazó de los 555 a los 620 nm, comportamiento que se repite en otros estudios realizados, con frutos que presentaron diferentes niveles de daño por sol y sin daño aparente (Torres et al., 2016; Parada, 2015).

A diferencia de lo que ocurre con la firma espectral de la fruta que presentó algún grado de daño por quemadura solar, el tratamiento control no muestra diferencias entre huertos en la primera medición (Figura 6.), aun cuando los frutos aparentemente sanos fueron cosechados de distintas zonas del árbol, a diferentes fechas. No obstante, las firmas del control evolucionan de manera diferente durante la guarda (Figura 6), lo que sustenta el hecho que, en la medida que la fruta se desarrolla en condiciones ambientales diferentes, estas pueden ser detectadas mediante el análisis de la firma espectral. Como lo indica Lobos et al. (2019) en su estudio realizado en cinco cultivares distintos de *Vaccinium spp*, expuestos a condiciones ambientales diferentes o como el estudio de Sazo (2015), para detectar pardeamiento interno en manzanas cv. Cripps Pink en diferentes zonas agroclimáticas. Aun así, es necesario explicar porque al momento de cosecha dichas diferencias no son evidentes, sin embargo, sería posible que dicha fruta se desarrollara en la parte más interna de la planta, con una menor exposición al sol directo.

En la medida que la severidad del daño aumenta, también lo hacen las diferencias entre huertos, lo que sería esperable dada la intensidad del daño en ambientes particulares (Figura 7B, D, F; 8B, D, F; 9B, D, F). Cuando se analizó la información en los 720 nm (Figura 5), se observaron claras las diferencias. El tratamiento control sin grandes variaciones, mientras que el resto de los niveles que presentaron daño (leve, moderado y severo) variaron en mayor medida para la localidad de Totoral.

Las variabilidades espectrales pueden estar condicionadas por los escenarios de cada uno de los huertos (Peirs et al., 2003; Lobos et al., 2019), lo que pudo condicionar las diferentes tonalidades de quemadura en la misma categoría de daño. Sin embargo, el año de plantación de Totoral es más reciente, que el de Javierana y Refugio, además en esta localidad existe una

orientación de plantación oriente-poniente (Cuadro 3.1.1), diferente a los otros dos huertos, lo que podría estar relacionado a los resultados obtenidos. Por ende, se puede deducir que parte de la fruta con grado de severidad pudo ser recolectada del lado sur de la planta, ya que en huertos dispuestos oriente-poniente tiende a tener una mayor la incidencia en el lado sur de las plantas (Barber y Sharpe, 1971). Como también se podría determinar por la capacidad de las plantas a desarrollar una especie de memoria para el estrés, donde esta puede proporcionar mecanismos de defensa, con el fin que las plantas puedan aclimatarse frente a condiciones de estrés, y a su vez proporcionar protección contra futuros daños, inducidos por potenciales condiciones ambientales (Karadar et al., 2018). Lo que podría traducirse como que, al ser un huerto más joven, este tiene un nivel de maduración menor y a su vez ha sido sometido a otros efectos ambientales, los que estarían condicionando su comportamiento frente a situaciones de estrés.

Además, la variabilidad espectral a su vez puede estar condicionada por características físicas de la epidermis del fruto, como por ejemplo el contenido irregular de lípidos cuticulares, que hacen que el análisis espectral no sea homogéneo, al existir errores en la absorción de la luz (Solovchenko et al., 2010).

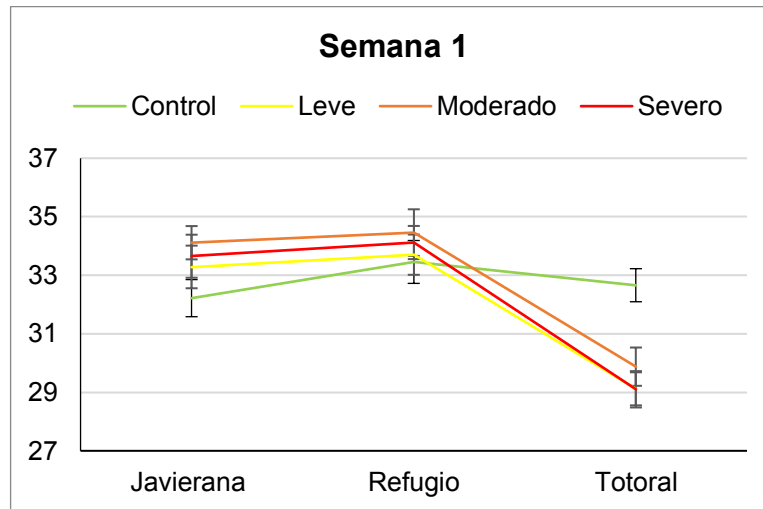


Figura 5. Promedios por huerto de las diferentes categorías de daño por sol, para el espectro 720 nm, con su correspondiente error estándar.

J= Javierana; R= Refugio; T= Totoral

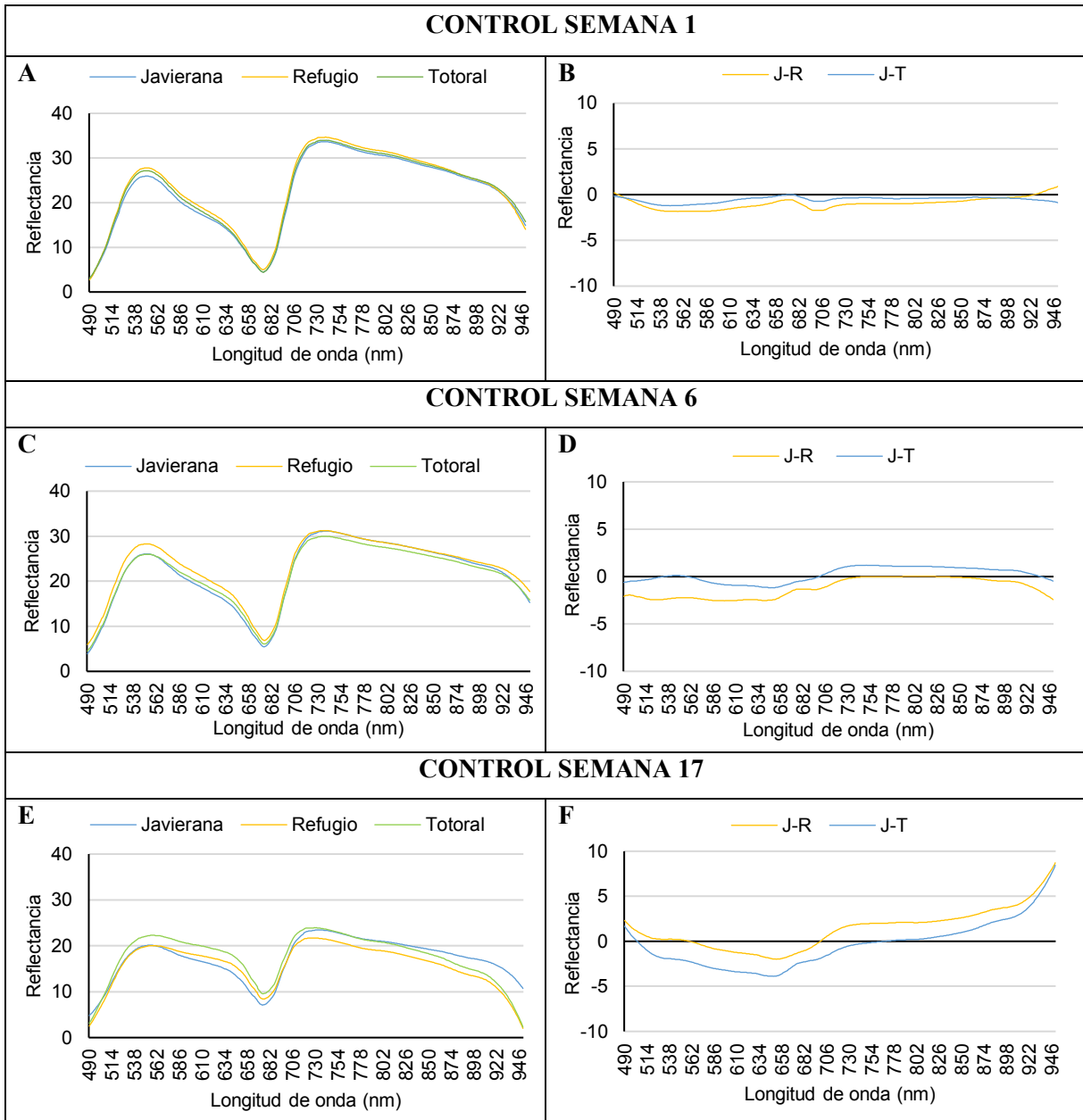


Figura 6. Firmas espectrales (A, C, E) de la categoría control de peras cv. Packham's Triumph en las localidades de Javierana, Refugio y Totoral, para las semanas 1, 6 y 17. Además de las comparaciones entre el control (Javierana; J) y cada huerto (Refugio y Totoral), representado por la resta de las reflectancias en cada longitud de onda (B, D, F)

J= Javierana; R= Refugio; T= Totoral

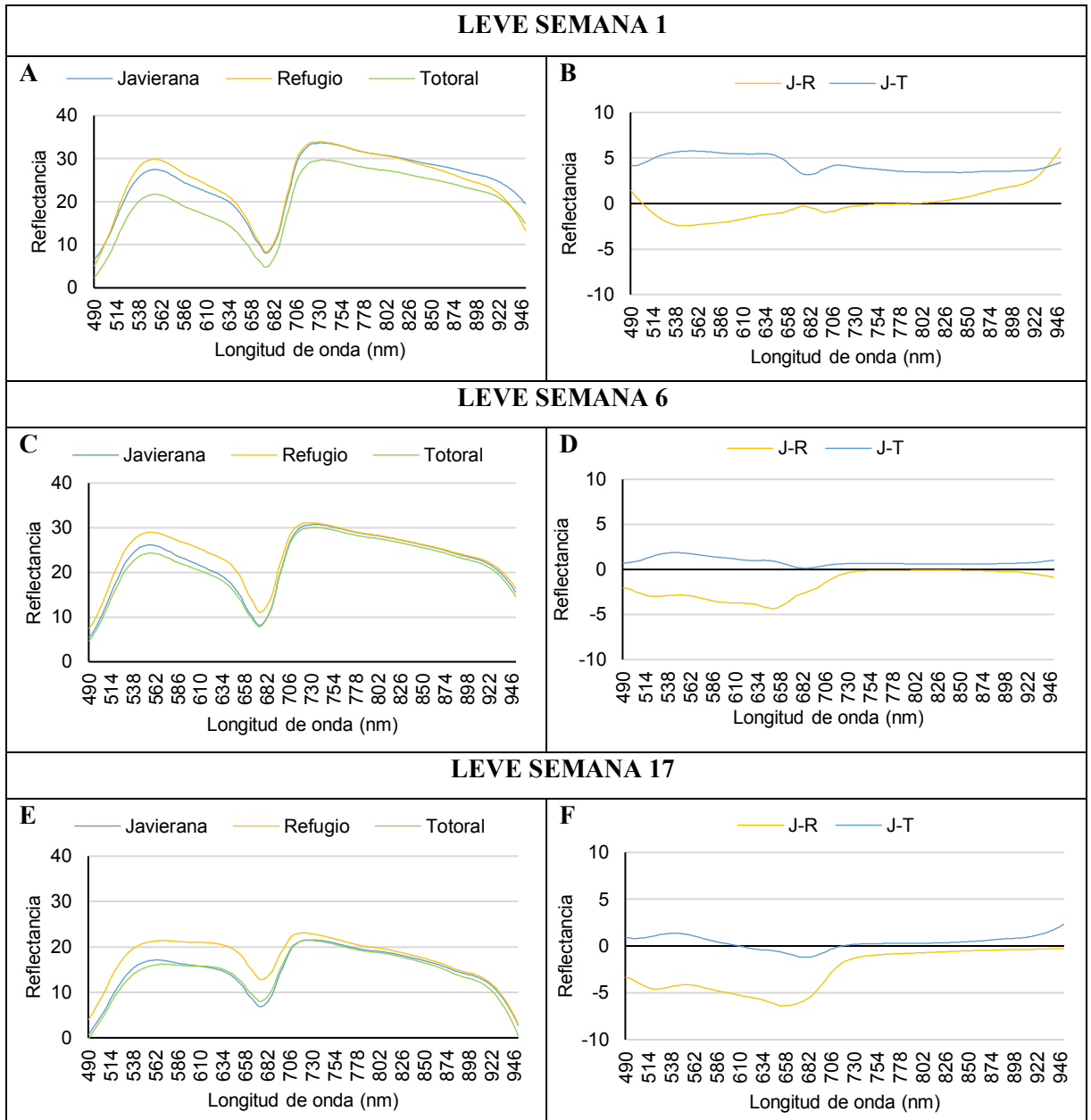


Figura 7. Firmas espectrales (A, C, E) de la categoría leve de peras cv. Packham's Triumph en las localidades de Javierana, Refugio y Totoral, para las semanas 1, 6 y 17. Además de las comparaciones entre el control (Javierana; J) y cada huerto (Refugio y Totoral), representado por la resta de las reflectancias en cada longitud de onda (B, D, F).

J= Javierana; R= Refugio; T= Totoral

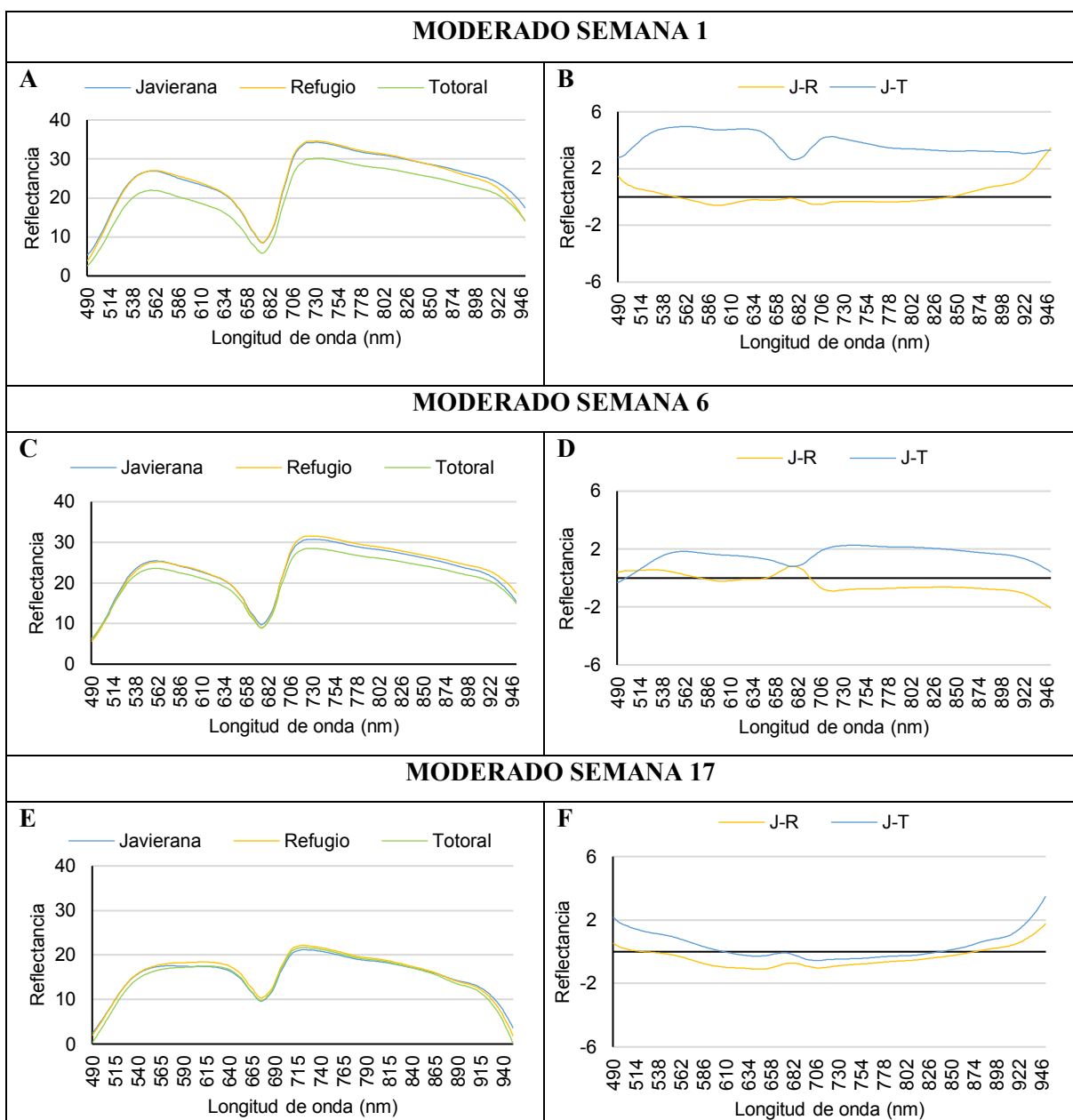


Figura 8. Firmas espectrales (A, C, E) de la categoría moderado de peras cv. Packham's Triumph en las localidades de Javierana, Refugio y Totoral, para las semanas 1, 6 y 17. Además de las comparaciones entre el control (Javierana; J) y cada huerto (Refugio y Totoral), representado por la resta de las reflectancias en cada longitud de onda (B, D, F)

J= Javierana; R= Refugio; T= Totoral

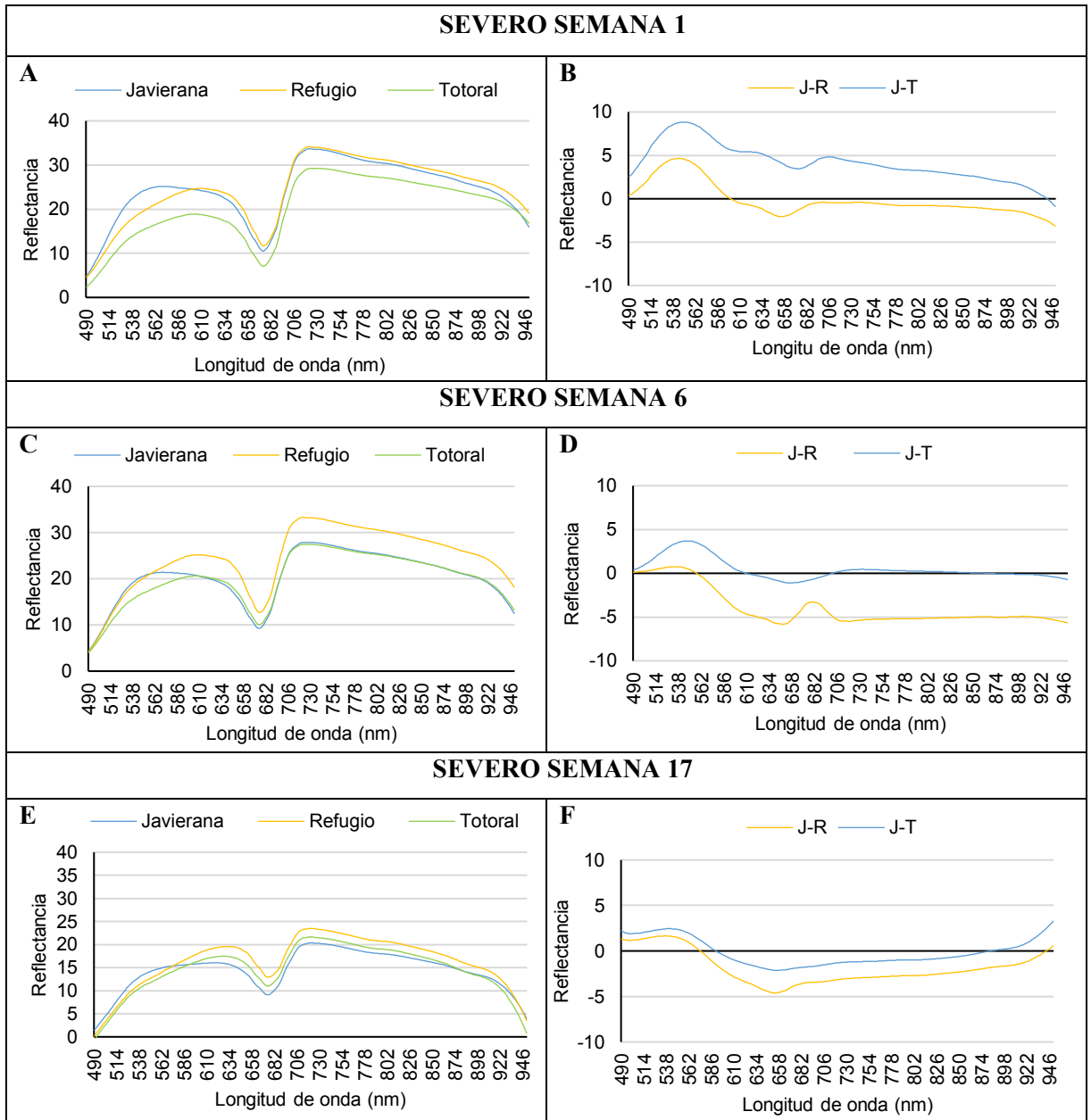


Figura 9. Firmas espectrales (A, C, E) de la categoría severo de peras cv. Packham's Triumph en las localidades de Javierana, Refugio y Totoral, para las semanas 1, 6 y 17. Además de las comparaciones entre el control (Javierana; J) y cada huerto (Refugio y Totoral), representado por la resta de las reflectancias en cada longitud de onda (B, D, F).

5. CONCLUSIONES

Con relación a la colorimetría existe una relación entre las categorías de daño por sol seleccionadas visualmente y los parámetros de colorimetría obtenidos para los distintos huertos, además aun midiendo color se pueden detectar diferencias entre los huertos para un mismo daño.

La metodología de contraste de firmas espectrales aplicada es consistente para observar diferencias entre localidades distintas, ya que mostró que el comportamiento de distintos huertos es similar en fruta control (sin daño aparente). Aun cuando los frutos fueron cosechados de variadas zonas del árbol y se le asignó una cara aleatoria para realizar las mediciones.

Los resultados obtenidos sugieren que sería factible detectar, a cosecha (ej., 720 nm), diferencias ambientales que podrían estar asociadas a una senescencia acelerada, obligando a ser comercializada con mayor rapidez de la postcosecha.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AltierI, Miguel A.; Nicholls, Clara I. 2009. Cambio climático y agricultura campesina: impactos y respuestas adaptativas. LEISA revista de agroecología, vol. 14, 5-8 p. Recuperado en: https://www.researchgate.net/profile/Clara_Nicholls/publication/260387270_Los_impactos_del_cambio_climatico_sobre_las_comunidades_campesinas_y_de_agricultores_tradicionales_y_sus_respuestas_adaptativas/links/545119c90cf24884d886f845.pdf. Consultado el 26 de septiembre del 2020.
- Aventín P. C. 2017. Utilización de sensores multiespectrales e hyperespectrales embarcados en RPAS con el objetivo de dosificar abonos en cultivos. Barcelona, España, Escola superior d'agricultura, Universitat Politècnica de Catalunya. 65 p.
- Barber, H.N., Sharpe, P.J.H., 1971. Genetics and physiology of sunscald of fruits. *Agric Met.* 8, 171–175.
- Bascopé A. 2013. Cambio climático impacto en la agricultura heladas y sequía. Informa de ODEPA. Ministerio de agricultura oficina de estudios y políticas agrarias, Gobierno de Chile. Recuperado en: <https://www.odepa.gob.cl/wp-content/uploads/2013/12/cambioClimatico2013.pdf>, Consultado el 27 de septiembre de 2020.
- Bokobza, L. 1998. Near infrared spectroscopy. *J. Near Infrared Spectrosc.* 6, 3-17.
- Burns, D.A., Ciurczak, E.W. 1992. Handbook of Near Infrared Analysis. Burns, D.A., Ciurczak, E.W. (Eds.). Practical spectroscopy series. 13. Marcel Dekker, Inc. New York, USA.
- Cabrera-Bosquet, L.; Crossa, J.; von Zitzewitz, J.; Serret, M.D.; Araus, J.L. 2012. High-throughput phenotyping and genomic selection: The frontiers of crop breeding converge. *J. Integr. Plant Biol.* 54, 312–320.
- Caldentey P., 2017. Utilización de sensores multiespectrales e hyperespectrales embarcados en rpas con el objetivo de dosificar abonos en cultivos. Barcelona, Cataluña, España, Escola superior d'agricultura, Universitat Politècnica de Catalunya. 65 p.
- Calvo G y Candan AP. 2013. Guía para la identificación de fisiopatías en manzanas y peras. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Recuperado en:

<https://inta.gob.ar/documentos/guia-para-lidentificacion-de-fisiopatias-en-manzanas-y-peras>. Consultado el 14 de junio de 2020.

- Campell, J., 2002. European Pear Varieties. Agfact H4.1.13. 2nd edicion. 5-7-13.
- Cen, H. and He, Y. 2007. Theory and application of near infrared reflectance spectroscopy in determination of food quality. Trends Food Sci. Tech. 18, 72-83.
- Clark, C.J., McGlone, V.A., and Jordan, R.B. 2003. Detection of Brownheart in braeburn apple by transmission NIR spectroscopy. Postharvest Biology and Tecchnology. 28(1), 87-96.
- Contreras, C., Zoffoli, J. P., Alcalde, J. A., & Ayala, M. 2008. Evolución del daño por insolación de manzanas' Granny Smith'durante el almacenaje refrigerado.Ciencia e investigación agraria, 35(2), 147-157.
- Cheng, G., Duan, X., Shi, J., Lu, W., Luo, Y., Jiang, W., Jiang, Y., 2008. Effects of reactive oxygen species on cellular wall disassembly of banana fruit during ripening. Food Chem. 109 (2), 319–324.
- Christensen, L. K. 2004. NPK Deficiencies Discrimination by use of Spectral and Spatial Response. PhD Dissertation. The Royal Veterinary and Agricultural University. Recuperado en: https://www.unihohenheim.de/fileadmin/einrichtungen/mpt/PhD_Projects/Christensen-phd2004.pdf, Consultado el 27 de septiembre de 2020.
- Defilippi B., Torres C.A., 2015. Maduración en Peras. Calidad y condición en postcosecha. Boletín técnico, Volumen 15, n°1. Centro de Pomáceas. Universidad de Talca. Talca, Chile. 8 p.
- Fan, G., Zha, J. and Dub, R. 2009. Determination of soluble solids and firmness of apples by Vis/ NIR transmittance. Journal of Food Engineering. 93, 416-420.
- Fernández, J. L. U. 2013. El cambio climático: sus causas y efectos medioambientales. Anales de la real academia de medicina y cirugía de Valladolid, no 50, p. 71-98. Recuperado en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4817473>, Consultado el 27 de septiembre del 2020.
- Flores Rojas, K. U. 2009. Determinación no destructiva de parámetros de calidad de frutas y hortalizas mediante espectroscopía de reflectancia en el infrarrojo cercano, Córdoba, Argentina, Departamento de Bromatología y Tecnología de los Alimentos, Universidad de Córdoba, 183 p.

- Garbulsky, M.F.; Peñuelas, J.; Gamon, J.; Inoue, Y.; Filella, I. 2011. The photochemical reflectance index (PRI) and the remote sensing of leaf, canopy and ecosystem radiation use efficiencies. *Remote Sens. Environ.*, 115, 281–297.
- Garrido, A., Guerrero, J.E., Gómez-Cabrera, A. 1993. Posibilidades y limitaciones de la aplicación de la técnica NIRS en la evaluación nutricional de alimentos para el ganado. In *Nuevas Fuentes de Alimentos para la Producción Animal IV*. Gómez-Cabrera, A., De-Pedro-Sanz, E.J. (Eds.). Consejería de Agricultura y Pesca, Junta de Andalucía, Sevilla, España. p. 243-255.
- Gil, G., 2012. *Fruticultura: Madurez de la fruta y manejo de postcosecha. Fruta de clima templado y subtropical*. Tercera edición. Pontificia Universidad Católica de Chile. 493p.
- Gonda, I., Lakatos, L., Rakonczas, N., y Holb, I. 2006. The effect of summer pruning on solar radiation conditions in apple orchards. *International Journal of Fruit Science* 12, 87 – 91.
- Grandón, S., Sanchez-Contrerasa, J., Torres, C. A., 2019. Prediction models for sunscald on apples (*Malus domestica* Borkh.) cv. Granny Smith using Vis-NIR reflectance. *Postharvest Biology and Technology* 151, 36–44
- Holmes, R., Crisera, M., y Brown, G. 2009. Harvest and postharvest options for heat-affected apples and pears. *Australian Fruitgrower* 3(2), 8 –10.
- Institut Calatà d'Investigació Química (ICIQ). 2020. Espectroscopia. Técnicas, Nuestros apuntes ICIQ. Instituto de Investigaciones Químicas de Cataluña Tarragona, España. 3 p. Recuperado en: <http://labvirtual.iciq.es/es/espectroscopia/>, Consultado el: 24 de septiembre de 2020.
- Jenkins, G. I. 2009. Signal transduction in responses to UV-B radiation. *Annual Review of Plant Biology* 60, 407 – 431.
- Jha, S. N. 2010, *Nondestructive Evaluation of Food Quality: Theory and Practice*. Springer Science & Business Media. Ludhiāna, India. 288 p.
- Kader, A.A. 2002. Modified atmospheres during transport and storage. pp 157-168. Kader A.A. (Ed). *Postharvest technology of horticultural crops*. Third edition. Ed. University of California. California, USA. 535 p.
- Karadar, M., Neuner, G., Kranner, I., Holzinger, A., Buchner, O., 2018. Solar irradiation levels during simulated long- and short-term heat waves significantly influence heat survival, pigment and ascorbate composition, and free radical scavenging activity in alpine *Vaccinium gaultherioides*. *Physiol. Plant.* 163 (2), 211–230.

- Kawano, S. 2004. Sampling and sample presentation. In *Near-Infrared Spectroscopy. Principles, Instruments, Applications*. Siesler, H.W., Ozaki, Y., Kawata, S., Heise, H.M. (Eds.). Wiley-VCH, Weinheim, Germany. 115-124 p.
- Lobos, G. A., Escobar-Opazo, A., Estrada, F., Romero-Bravo, S., Garriga, M., Del Pozo, A., ... & Caligari, P. 2019. Spectral reflectance modeling by wavelength selection: studying the scope for blueberry physiological breeding under contrasting water supply and heat conditions. *Remote Sensing*, 11(3), 329.
- Lobos, G.A.; Poblete-Echeverría, C.; Ahumada, L.; Zúñiga, M.; Romero, S.; Escobar, A.; Caligari, P.D.S. 2014. Fast and non-destructive prediction of gas exchange in olive orchards (*Olea europaea* L.) under different soil water conditions. *Acta Horti*, 1057, 329–334.
- Lobos, Gustavo A.; Hancock, James F. 2015. Breeding blueberries for a changing global environment: a review. *Frontiers in Plant Science* 6, 14 p.
- Lorca, A., 2018. Situación del peral en Chile: Principales cultivares, costos y perspectivas. *Boletín técnico Centro de Pomáceas*. Volumen n°18. Universidad de Talca. Talca, Chile. 14 p.
- Lourenco, N.D., Lopes, J.A., Almeida, C.F., Sarraguca, M.C., & Pinheiro, H.M. 2012. Bioreactor monitoring with Spectroscopy and chemometrics: A review. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 404(4), 1211-1237. <https://link.springer.com/article/10.1007/s00216-012-6073-9>
- Martelo Vidal, M. J. 2014. Desarrollo de métodos rápidos basados en espectroscopia UV-VIS-NIR para el análisis de vinos, Galicia, España, Departamento de química analítica, nutrición y bromatología, Universidad de Santiago de Compostela. 373 p.
- McGuire, RG (1992). Informe de medidas de color objetivas. *HortScience* 27 (12), 1254-1255.
- Meheriuk, M. 1993. CA storage conditions for apples, pears and nashi. *CA*. 93, p. 832.
- Moggia, Claudia, Pereira, Marcia, Yuri, José Antonio, & Moya, María A. 2005. Evolución de Madurez en Pre y Postcosecha y Potencialidad de Almacenaje de Peras Packham's Triumph. *Agricultura Técnica* 65(3), 246-257. Recuperado en: <https://dx.doi.org/10.4067/S0365-28072005000300002>. Consultado el 25 de septiembre de 2020.

- Morales-Quintana, L., Waite, J. M., Kalcsits, L., Torres, C. A., & Ramos, P. (2020). Sun injury on apple fruit: Physiological, biochemical and molecular advances, and future challenges. *Scientia Horticulturae* 260, 108866 p.
- Nicolai, B., Beullens, K., Bobelyn, E., Peirs, A., Saeys, W., Theron, K., Lammertyna, J., 2007. Nondestructive measurement of fruit and vegetable quality by means of NIR spectroscopy. *Postharvest Biology and Technology* 46, 99-118.
- Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA). 2016. CATASTRO FRUTÍCOLA PRINCIPALES RESULTADOS Región del Maule/ Julio 2016. Recuperado en: <https://www.odepa.gob.cl/wp-content/uploads/2016/08/Catastro-Fruticola-VII-Maule-2016.pdf>. Consultado el 27 de agosto del 2019.
- Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA). 2018. CATASTRO FRUTÍCOLA PRINCIPALES RESULTADOS Región de O'Higgins / Julio 2018. Recuperado en: <https://www.odepa.gob.cl/wp-content/uploads/2018/08/CatastroOhiggins2018.pdf> Consultado el 27 de agosto del 2019.
- Osborne, B.G., Fearn, T., Hindle, P. 1993. *Practical NIR Spectroscopy with Applications in Food and Beverage Analysis*. Longman Scientific and Technical. London, UK.
- Parada S. C., 2015. Uso de la reflectancia como indicador no destructivo para predecir el daño por sol en manzanas cv. Granny Smith. Memoria para optar al título de Ingeniero Agrónomo. Talca, Chile, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad de Talca. 57 p.
- Peirs, A., Scheerlinck, N., Nicolai, B.M. 2003. Temperature compensation for near infrared reflectance measurement of apple fruit soluble solids contents. *Postharvest Biol. Technol.* 30, 233-248.
- Racskó, J., Schrader, L.E., 2012. Sunburn of apple fruit: historical background, recent advances and future perspectives. *Crit. Rev. Plant. Sci* 31 (6), 455–504.
- Racskó, J., Szabó, Z., Nyéki, J., 2005. Importance of supraoptimal radiance supply and sunburn effects on apple fruit quality. *Acta Biol. Szeged.* 49 (2), 111–114.
- Racskó, J., Szabo, Z., Soltesz, M., Nyeki, J., Dussi, M.C., 2006. Effect of nitrogen fertilization on sunburn injury and fruit cracking of apple. *Int. Hort. Cong. Seoul* 27, 124 p.
- Raffo, D. 2005. Efecto de las altas temperaturas sobre la calidad de los frutos. *Revista Rompecabezas*. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria INTA, 40 p.

- Richardson, D., and D. Gerasopoulos. 1994. Controlled atmosphere recommendations for pear fruits and storage chilling satisfaction requirements for ripening winter pears. *Acta Hort.* 367,452-454.
- Richardson, D., and E. Kupferman. 1997. Controlled atmosphere storage of pears. *Postharvest Horticulture Series* 16 (2): 31-35.
- Roberts C. A., Workman Jr., J., Reeves III., J. B. 2004. *Near-Infrared Spectroscopy In Agriculture*. 822 p.
- Sazo F.I., 2015. *Uso de la espectroscopia Vis/ NIR para el estudio de pardeamiento interno en manzanas cv. Cripps Pink*. Memoria para optar al título de Ingeniero Agrónomo. Talca, Chile, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad de Talca. 73 p.
- Schrader, L. E., Zhang, J., y Duplaga, W. K. 2001. Two types of sunburn in apple caused by high fruit surface (peel) temperature. *Plant Health Progress*. 86, 376 – 389.
- Schrader, L. E., Zhang, J., y Sun, J. 2003. Environmental stresses that cause sunburn of apple. *Acta Horticulturae* 618, 397 – 405.
- Shenk, J.S., Westerhaus, M.O. 1995. *Analysis of Agriculture and Food Products by Near Infrared Reflectance Spectroscopy*. Monograph, NIRSystems, Inc., 12101 Tech Road, Silver Spring. MD 20904. USA.
- Shenk, J.S., Workman J., Westerhaus, M. 2001. Application of NIR spectroscopy to agricultural products. In *Handbook of Near Infrared Analysis*. 2nd Edition. Burns, D.A., Ciurzac, E.W. (Eds.). Marcel Dekker, Nueva York. (USA). 419-474 p.
- Silva-Perez, V.; Molero, G.; Serbin, S.P.; Condon, A.G.; Reynolds, M.P.; Furbank, R.T.; Evans, J.R. 2018. Hyperspectral reflectance as a tool to measure biochemical and physiological traits in wheat. *Journal of Experimental Botany* 69, 483–496.
- Solovchenko, A.E., Chivkunova, O.B., Gitelson, A.A., Merzlyak, M.N., 2010. Non-destructive estimation pigment content, ripening, quality and damage in apple fruit with spectral reflectance in the visible range. *Fresh Produce* 4 (1),91–102.
- Thorpe MR. 1974. Radiant heating of apples. *Journal of Applied Ecology* 11, 755 – 760.
- Torres, C. A., León, L., & Sánchez-Contreras, J. 2016. Spectral fingerprints during sun injury development on the tree in Granny Smith apples: A potential non-destructive prediction tool during the growing season. *Scientia Horticulturae*, 209, 165-172.
- Torres, C.A., Andrews, P.K., Davies, N.M., 2006. Physiological and biochemical responses of fruit exocarp of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) mutants to natural photooxidative conditions. *J. Exp. Bot.* 57 (9), 1933–1947.

- Van den Ende, B. 1999. Sunburn management. *Compact Fruit Tree* 32(1), 13 – 14.
- Viguera, B; Martínez-Rodríguez, MR; Donatti, C; Harvey, CA; Alpízar, F. 2017. Impactos del cambio climático en la agricultura en Centroamérica, estrategias de mitigación y adaptación. Materiales de fortalecimiento de capacidades técnicas del proyecto CASCADA (Conservación Internacional - CATIE). Turrialba, Costa Rica. 47 p.
- Williams P.C. and Norris K. 2001. *Near-Infrared Technology in the Agricultural and Food Industries*, 2nd edition. American Association of Cereal Chemists, Inc. St. Paul, Minnesota, USA.
- Workman, J.Jr., Shenk, J. 2004. Understanding and using the near-infrared spectrum as an analytical method. In *Near-Infrared Spectroscopy in Agriculture*. Roberts C.A., Workman, J., Reeves III, J.B. (Eds.). ASA, CSSA y SSSA, Inc., Madison, Wisconsin, USA, 3-10 p.
- Yuri, J. A., Lepe, V., Moggia, C., Bastias, R. y Bertschinger, L. 2004. Sunburn on apple. *Schweiz. Zeitschr. Obstund Weinbau* 8, 7 – 10.
- Yuri, J.A. 2001. El daño por sol en manzanas. *Revista Frutícola (Chile)* 3, 89-96.
- Zhang, J-G., Di, B., Li, Y-L., Zhang, J-Q., Sun, J., y Liu, Y. 2007. Effect of microenvironments and exogenous substance application on 5'-nucleotidase activities in apple peel. *Frontiers of Agriculture in China* 1: 67 – 71.