



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL COMAHUE
Facultad de Ciencias y Tecnología de los Alimentos

Trabajo Integrador para acceder al título de:
“Especialista en Calidad e Inocuidad de Alimentos”

TITULO: ANÁLISIS DE VARIABILIDAD ESPACIO–TEMPORAL DE LA
CALIDAD DE PERAS WILLIAMS EN UN MONTE FRUTAL

Autor:

Ingeniera Agrónoma Dolores del Brio

Tutor:

PhD. Pablo Daniel Reeb

Villa Regina-RIO NEGRO-2018

RESUMEN

El Alto Valle de Río Negro y Neuquén constituye la principal zona de producción de frutales de pepita de Argentina. La pera Williams es una de las variedades más cultivadas en la región, y su principal destino es la exportación. Conocer los rendimientos y la calidad de la fruta de los montes comerciales permitiría mejorar la organización de las actividades y ajustar el manejo de los mismos, haciendo más eficiente la etapa productiva. El objetivo de este trabajo fue evaluar la variabilidad espacial de la calidad de la fruta proveniente de una parcela de pera Williams, y analizar si existe alguna relación entre dicha variabilidad y los rendimientos. Para ello se evaluó la calidad de la fruta al momento de cosecha y luego de tres meses de conservación. Además se analizó la variabilidad espacial y temporal de los rendimientos, y se delimitaron zonas diferenciales de rendimiento (baja, mediana y alta producción). Se observó que existe una marcada variabilidad espacial en los rendimientos y que algunos parámetros de calidad se ven afectados por dicha variabilidad.

Palabras clave: zonas diferenciales, índices de madurez, *Pyrus communis*.

AGRADECIMIENTOS

A mi co-director de beca, Dr. Darío Fernández, por darme la oportunidad de llevar a cabo este trabajo en las instalaciones de la experimental INTA Alto Valle y en el marco de mi beca doctoral.

A mi director de beca, PhD. Pablo Daniel Reeb, por dedicarme su tiempo, brindarme sus conocimientos y acompañarme como tutor en este proceso.

A Gabriela Calvo y Eduardo Insua de INTA por permitirme el uso del laboratorio y enseñarme a utilizar sus equipos para realizar las determinaciones.

A los técnicos del grupo de Fruticultura y de Ingeniería en Biosistemas de INTA por su gran ayuda a la hora de realizar los trabajos de cosecha.

A Mariela Curetti, por su gran ayuda y predisposición durante las horas de trabajo a campo. También por compartir conmigo todos sus conocimientos y experiencias.

Agradezco especialmente a mi familia, mi padre, mis hermanas, mi marido y mis hijos, por brindarme siempre su apoyo, su amor, y su paciencia.

Y por último quisiera destacar a mi madre, por su ayuda incondicional y por inculcarme siempre la importancia y el valor del estudio y el conocimiento.

INDICE

1. INTRODUCCION	3
1.1. Producción nacional de frutales de pepita	3
1.2. Calidad de peras	3
1.3. Índices de madurez	4
1.4. Madurez fisiológica, organoléptica y comercial	7
1.5. Evolución de los índices de madurez y cosecha	8
1.6. Variabilidad espacial de la calidad y el rendimiento	9
2. FUNDAMENTACIÓN DEL ESTUDIO PROPUESTO	10
3. OBJETIVOS	10
4. MATERIALES Y MÉTODOS	11
4.1. Ubicación y características del monte	11
4.2. Mapas de rendimiento y determinación de zonas diferenciales	11
4.3. Análisis de la variabilidad temporal de rendimiento	13
4.4. Determinación de perímetro de tronco	13
4.5. Selección de muestras para evaluación de calidad	13
4.6. Determinación de firmeza de pulpa	14
4.7. Determinación del color de epidermis	15
4.8. Determinación del contenido de sólidos solubles totales	15
4.9. Determinación de acidez titulable	16
4.10. Determinación del porcentaje de degradación de almidón	16
4.11. Análisis estadístico de los datos	17
4.11.1. Estadísticos descriptivos y ajuste de modelos lineales mixtos	17
4.11.2. Análisis de Componentes Principales (ACP)	18
4.11.3. Análisis Factorial Múltiple (AFM)	18
5. RESULTADOS	19
5.1. Calidad de la fruta	19
5.1.1. Temporada 2017-2018	19
5.1.2. Temporada 2016-2017	24

5.1.3. Temporada 2015-2016	25
5.2. Variabilidad espacial del rendimiento	26
5.3. Variabilidad temporal del rendimiento	27
5.4. Calidad versus rendimiento	29
5.4.1. Temporada 2017-2018. Calidad en cosecha y poscosecha vs rendimiento	29
5.4.2. Análisis Factorial Múltiple:	31
6. CONCLUSIONES	35
7. BIBLIOGRAFIA	36

1. INTRODUCCION

1.1. Producción nacional de frutales de pepita

Los frutales de pepita en Argentina representan aproximadamente el 30% de la producción nacional de frutas. El Alto Valle de Río Negro y Neuquén constituye la principal zona de producción de frutales de pepita, representando el 90% del total producido, mientras que Mendoza participa con el 10% de la producción nacional. Existen alrededor de 27.000 ha implantadas de peras y 24.400 ha de manzana en todo el Alto Valle (Ministerio de Hacienda y Finanzas Públicas, 2016).

El destino principal de la fruta es el consumo en fresco, tanto para mercado externo como para mercado interno. Disponer de grandes cantidades de fruta de calidad en contraestación de los principales mercados del Hemisferio Norte, permitieron la inserción y permanencia de nuestro país dentro del mercado mundial de peras y manzanas. Argentina es uno de los principales exportadores mundiales de peras frescas alcanzando en el año 2017 unas 273.000 tn exportadas de peras (SENASA, 2017).

De las variedades cultivadas de Pera, el 45% aproximadamente corresponde a Williams y el 30% a Packham's Triumph. Le siguen Beurre D' Anjou con el 10%, Red Bartlett con 6% y Abate Fetel con el 2% del volumen producido. El 7% restante incluye las variedades Beurre Bosc, Beurre Giffard, Clapps Favourite y Red Beurre D'Anjou.

En la región del Alto Valle, la variedad Williams es la más cultivada ya que las condiciones son excepcionales para su producción (Calvo, G., 2008). Es una variedad estratégica a nivel comercial debido a su maduración temprana y a sus sobresalientes características organolépticas (Calvo, G. y otros, 2013).

1.2. Calidad de peras

Existen muchas definiciones de calidad. Según la norma ISO 9000, la calidad es el grado en el que un conjunto de características inherentes (naturales, permanentes) de un producto o servicio, cumple con los requisitos (necesidad o expectativa establecida).

En el caso particular de los productos frutihortícolas el concepto de calidad ha ido cambiando a lo largo del tiempo. Algunos años atrás, se podía definir como la mayor o menor adaptación del producto a los objetivos perseguidos, y también como la aptitud para satisfacer las expectativas de cada uno de los agentes que intervienen en el

proceso productivo. Para el productor, se asociaba a la ausencia de enfermedades y alteraciones, con un aspecto atractivo acorde a las características de la variedad. Para el comerciante, al cumplimiento de las normativas vigentes, en cuanto a madurez, tamaño, aspecto, sanidad, homogeneidad del lote, todo ello en función del destino. Para el consumidor, dependía casi exclusivamente de las cualidades organolépticas e higiénicas de los frutos (Benítez, C. E., 2005).

Actualmente, este concepto, que involucraba concepciones diferentes según los intereses particulares de cada agente, ha ido evolucionando con tendencia a acercar los criterios de calidad a aquellos que impone el consumidor, en los cuales la madurez juega un rol fundamental (Angón Galván, P. y otros, 2006).

Además, existe un interés creciente a nivel mundial por la inocuidad de los alimentos, y las exigencias de los consumidores son cada vez mayores para ambos aspectos. Por su parte, la inocuidad de los alimentos se ha vuelto un atributo no negociable, y a su vez, la calidad, se ha convertido en uno de los factores más importantes en la decisión de compra del consumidor (Engo, N., y otros, 2015). Por lo cual se habla de un concepto moderno de calidad que engloba los aspectos de inocuidad, los estándares regulatorios de mercado, y la satisfacción de las expectativas de los consumidores en cuanto a los atributos sensoriales del producto (Engo, N., y otros, 2015).

Para peras específicamente, el Ministerio de Agroindustria, la Secretaría de Agregado de Valor y la Subsecretaría de Alimentos y Bebidas han elaborado un protocolo de calidad que define los requisitos generales de calidad que deben presentar las frutas frescas para ser comercializadas. Estos requisitos son: i) las peras deben estar enteras y secas; ii) ser de tamaño uniforme, bien formadas y bien desarrolladas; iii) estar sanas, limpias y exentas de plagas, olores y sabores extraños; iv) presentar las características de forma, calibre, y color propias de la variedad; v) poseer pedúnculo; vi) poseer madurez apropiada. Este último requisito es de suma importancia ya que junto al color de la fruta, los defectos y el tamaño, conforman los requerimientos específicos de calidad del producto.

1.3. Índices de madurez

Como se mencionó anteriormente, la calidad de las peras está estrechamente ligada al estado de madurez de la fruta al momento de recolección. Por ello, algunos

de los parámetros utilizados para evaluar la calidad de la fruta, reciben el nombre de índices de madurez y son utilizados para determinar el momento óptimo de cosecha.

Un buen índice de madurez es aquel que presenta una variación importante a lo largo del proceso de maduración. En general, no se utiliza uno solo, sino que es deseable emplearlos conjuntamente con el fin de tener un conocimiento más certero del estado del fruto (Calvo, G. y otros, 2012). Hasta el momento, la mayor parte de las técnicas disponibles para la determinación de los índices de madurez son destructivas y lentas, por lo cual es imposible evaluar la totalidad de un lote, y deben aplicarse métodos especiales de muestreo para luego generalizar la información obtenida (Benítez, C. E., 2005).

Los índices de madurez pueden agruparse según las características que analizan en la fruta en físicos, químicos, biológicos y climático-fenológicos (Campana, B. M. R., 2007).

Físicos:

- Color de piel: los cambios de color de la piel del fruto a lo largo del desarrollo se deben a la desaparición de la clorofila y al aumento de pigmentos típicos como antocianinas, carotenoides, etc. Para evaluar el color se pueden utilizar métodos subjetivos como las cartas de color específicas para cada variedad o métodos objetivos como el colorímetro.
- Firmeza de pulpa: a medida que avanza la madurez de un fruto, los materiales de cementación de las células comienzan a disolverse y los contenidos del jugo celular cambian lo que conlleva a que la pulpa empiece a perder firmeza (Kingston, C. M., 1992). Es uno de los índices más utilizados para determinar el estado de madurez en frutas de pepita. Mide la fuerza necesaria para vencer la resistencia de la pulpa de la fruta a la penetración de una punta de forma cilíndrica con dimensiones estandarizadas. Se determina utilizando un penetrómetro.
- Tamaño: Se puede expresar mediante diferentes parámetros, que pueden ser el peso del fruto (gramos), el diámetro (milímetros), o la relación entre ambos (Benítez, C. E., 2005). En frutos de pepita se mide a través del diámetro ecuatorial de la fruta. Generalmente no es un buen indicador de madurez, pero si es considerado un atributo de calidad de la fruta.

Químicos:

- Degradación de almidón (índice de almidón): el almidón se acumula en los frutos durante la etapa de crecimiento, y luego durante la maduración se hidroliza progresivamente a azúcares solubles. La hidrólisis del almidón comienza en la zona de los haces fibrovasculares y se extiende hacia la periferia. La presencia de almidón se determina mediante una tinción producida cuando la pulpa de fruta se expone a una solución de iodo y de yoduro de potasio. Esta determinación es útil en frutos recién cosechados, ya que una vez que el fruto se separa de la planta, el almidón desaparece rápidamente, motivo por el cual este índice no es utilizado para evaluar calidad en poscosecha (Benítez, C. E., 2005). Existen cartas de comparación para cada especie y para cada variedad en particular.
- Contenido de sólidos solubles totales (índice refractométrico): a medida que avanza la maduración el contenido de sólidos solubles tiende a incrementarse hasta que el almidón se hidroliza por completo, y luego decae debido a la respiración del fruto. Este índice se determina utilizando un refractómetro.
- Contenido de ácidos orgánicos totales (índice de acidez): el contenido de ácidos orgánicos de los frutos tiende a disminuir a medida que el fruto madura y durante su conservación. Para determinar este índice se realiza una titulación con NaOH 0,1 N del jugo de la fruta.

Biológicos:

- Tasa respiratoria: se utiliza en frutos climatéricos. El inicio del aumento de la tasa respiratoria indica el momento óptimo de cosecha. Para su determinación se requiere de equipos muy costosos, por lo cual este índice es poco utilizado.
- Producción de etileno: el etileno es la hormona de maduración de los frutos climatéricos. El análisis cuantitativo de la producción de etileno endógeno en pera Williams no tiene gran relevancia como índice de madurez respecto a los índices tradicionales debido a la escasa información adicional que aporta y la complejidad de determinación (Benítez, C. E., 2005).

Climático-Fenológicos

- Edad del fruto: la edad del fruto está determinada por los días transcurridos entre el momento de plena floración (75% de las flores abiertas) y el momento de la cosecha. En el Alto Valle de la Patagonia, la edad promedio del fruto es utilizada

por los programas o redes de madurez para realizar un calendario tentativo de cosecha (Benítez, C. E., 2005).

La madurez recomendada en la región del Alto Valle para comenzar la cosecha de pera Williams es cuando el fruto posee 106 días de edad promedio y ha alcanzado un tamaño mínimo de 64-65 milímetros, la firmeza de la pulpa es menor a 20-21 lb/pulg², los sólidos solubles superan el 10%, la acidez es de 3-4 g/l y el almidón se ha degradado en un 20-25% de la superficie del plano ecuatorial (Benítez, C. E., 2001).

A nivel regional existe un programa denominado 'Programa Regional de Madurez', que define anualmente la fecha de autorización de inicio de cosecha, lo cual implica que la fruta no puede ser cosechada antes del día establecido. Uno de los principales objetivos de dicho programa es proteger al consumidor, ya que asegura que los productos posean la madurez adecuada para el consumo. Técnicamente define el momento a partir del cual los frutos tienen los parámetros que garantizan la madurez fisiológica (Adaro, A., y otros, 2010).

1.4. Madurez fisiológica, organoléptica y comercial

La maduración de los frutos es un proceso metabólico y fisiológico a través del cual un fruto verde, firme, ácido, poco azucarado y astringente se transforma en uno coloreado, relativamente blando y de sabor atrayente (Adaro, A., y otros 2010). Sin embargo, cuando se habla de madurez es importante diferenciar los conceptos de madurez fisiológica, organoléptica y comercial. La primera hace referencia al momento en el cual un fruto cosechado puede continuar con su proceso de maduración fuera de la planta (Álvarez, J., y otros, 2005). La madurez organoléptica hace referencia al proceso por el cual las frutas adquieren las características sensoriales que las definen como comestibles. Este proceso puede completarse en la planta (frutos no climatéricos) o, una vez que la fruta ya se ha recolectado (frutos climatéricos). Generalmente este proceso comienza durante los últimos días de maduración fisiológica y conduce irreversiblemente a la senescencia de la fruta (Angón-Galván, p. y otros, 2006). Por último, la madurez comercial hace referencia al momento adecuado de proceder a la recolección de un producto destinado a un fin concreto (Angón-Galván, p. y otros, 2006). Se sitúa entre los dos estados descritos anteriormente y se logra cuando el fruto que ya alcanza su madurez fisiológica, puede ser separado de la planta madre y

ya tener los atributos para su consumo, o la capacidad de continuar su evolución hasta adquirirlos (Campana, M. R., 2007).

1.5. Evolución de los índices de madurez y cosecha

Si bien el Programa Regional de Madurez define la fecha a partir de la cual se puede iniciar la cosecha, ésta puede extenderse algunas semanas dependiendo de la evolución de los índices de madurez (principalmente la firmeza de pulpa) y el destino que tendrá la fruta, ya sea conservación, exportación (ultramar o a países limítrofes), o mercado interno.

Si la fruta tiene como destino la exportación ultramar debe presentar un valor mínimo de firmeza de pulpa de 15 lb/pulg², mientras que para exportar a países limítrofes el valor mínimo debe ser 12 lb/pulg². Si el destino de la fruta es la conservación, valores de firmeza de 17 lb/pulg² permiten una larga conservación (hasta cuatro meses), mientras que frutos con valores de firmeza menores a 15,5 lb/pulg² se pueden conservar menos tiempo (hasta dos meses). Además, el potencial de conservación también se ve afectado por la edad del fruto. A medida que aumenta la edad del fruto, disminuye el potencial de conservación (Adaro, A., 2010).

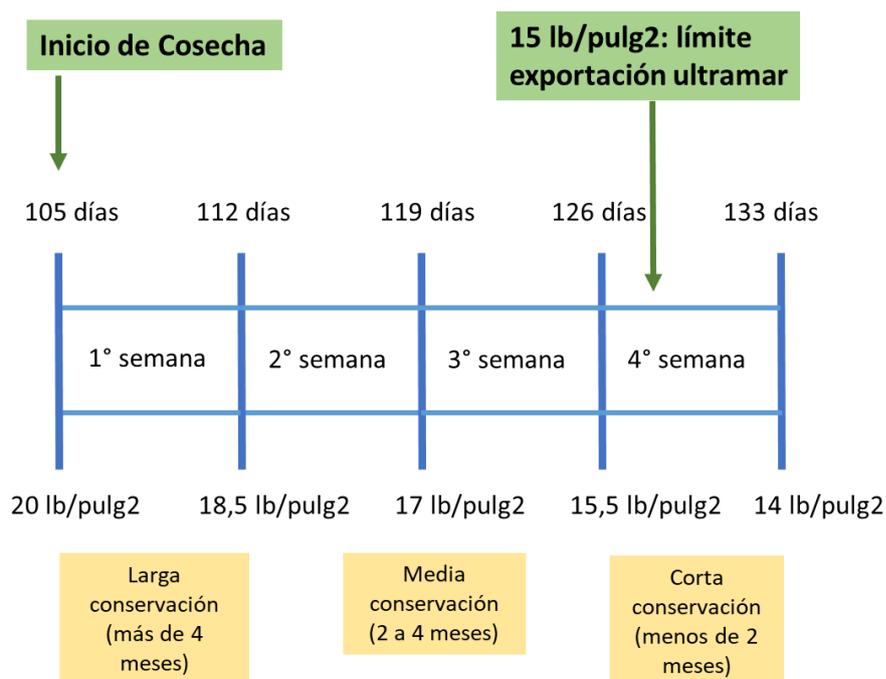


Imagen 1: Caída de firmeza del fruto, imagen tomada del libro: Pera Williams manual para el productor y empacador, 2010.

1.6. Variabilidad espacial de la calidad y el rendimiento

El rendimiento de una parcela hace referencia a la producción obtenida por unidad de superficie. En Argentina, el rendimiento promedio de peras es de 27 tn/ha (Ministerio de Hacienda y Finanzas Públicas, 2016). Sin embargo, esta producción puede variar de un monte frutal a otro, y a su vez dentro de un mismo monte frutal, lo cual se conoce como variabilidad espacial del rendimiento. Este tema ha sido evaluado en diversos cultivos y hay numerosos trabajos que demuestran variabilidad espacial dentro de una parcela. En peras específicamente, Perry, E. M., y otros (2010) estudiaron la estructura espacial de un monte frutal y encontraron una fuerte correlación espacial entre la estructura de los árboles, el NDVI (índice de vegetación normalizado) y el rendimiento.

No obstante, la variabilidad espacial de la calidad ha sido estudiada en pocas especies. En viñedos, por ejemplo, se ha estudiado la variabilidad espacial de calidad de uvas, la cual sumada a la variabilidad espacial de rendimientos provee información más robusta para el manejo diferencial por zonas. Se encontró que existe variabilidad en todos los índices de calidad que fueron determinados, existiendo zonas diferenciales (Bramley, R. G. V., 2005). En pimienta, Qiao, J. y otros, (2005), desarrollaron un método de mapeo en tiempo real que genera mapas de calidad y rendimiento ya que la calidad de la producción de pimienta está estrechamente ligada al precio del mercado. En manzanas, Aggelopoulou K. D., y otros, (2009) asociaron algunos parámetros de calidad a la variabilidad presente en los rendimientos de manzanas Red Chief en una parcela. Ellos observaron que existe variabilidad espacial en la calidad de la fruta a cosecha, y que, en general, mayores rendimientos se vieron asociados a una menor calidad. Sin embargo, la variabilidad espacial de la calidad en peras aún no ha sido estudiada.

En el presente trabajo se pretende caracterizar la variabilidad espacio-temporal de la calidad de la fruta y el rendimiento en un monte de perales cv. Williams, y analizar si existe relación entre ellas.

2. FUNDAMENTACIÓN DEL ESTUDIO PROPUESTO

En las últimas décadas la agricultura ha mostrado un gran desarrollo, y los avances en su mayoría van hacia una agricultura de precisión, donde la tecnología, la información, el conocimiento y la sustentabilidad tomarán protagonismo en la actividad. La fruticultura en particular no es ajena a estas tendencias, y estos factores de desarrollo marcarán las diferencias que permitirán mantener e incrementar la productividad y la rentabilidad. Uno de los factores claves en la fruticultura de precisión es contar con mapas de rendimiento de cada monte frutal y poder delimitar zonas de manejo diferencial dentro del mismo. Estas zonas, que pueden definirse como bloques o subregiones dentro de una parcela donde los factores de producción son homogéneos, deben recibir una proporción adecuada de insumos, asociada a su potencial productivo y a las necesidades reales del cultivo. De esta forma se logra optimizar el manejo del monte, ajustar el uso de insumos y reducir el impacto ambiental. Junto al rendimiento, la calidad de la fruta obtenida a cosecha es un aspecto fundamental a la hora de comercializar el producto, ya que permite disponer de mayores alternativas de mercado y precios diferenciales. La calidad entonces, se vuelve tan importante como el rendimiento en la rentabilidad de la producción de peras. Por ello, evaluar la variabilidad espacial de la calidad de peras y poder asociarla al rendimiento, se vuelve muy interesante ya que permite pensar en la implementación de nuevas estrategias de cosecha, optimizar la recolección de fruta y tomar decisiones de mercados de destino, según la calidad que posea la fruta asociada a la zona diferencial de rendimiento.

En este contexto, es fundamental entonces, evaluar si los rendimientos y la calidad de un monte frutal varían en el espacio y en el tiempo, y a su vez, si existe alguna relación entre ellos.

3. OBJETIVOS

- i. Evaluar si existe variabilidad espacio-temporal en la calidad a cosecha de una parcela de peras Williams que posee zonas diferenciales de rendimiento.
- ii. Evaluar si existe variabilidad espacial en la calidad de post-cosecha de una parcela de peras Williams que posee zonas diferenciales de rendimiento.
- iii. Analizar si existe alguna relación entre los parámetros de calidad de la fruta y las zonas diferenciales de rendimiento.

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Ubicación y características del monte

El presente trabajo fue realizado durante las temporadas 2015-2016, 2016-2017 y 2017-2018 en una parcela de pera Williams de la estación experimental INTA Alto Valle, ubicada en la provincia de Río Negro, Argentina. Dicha parcela posee una superficie de 1,8 ha, y los árboles fueron plantados en el año 2003 sobre portainjerto franco.

El sistema de conducción es en espaldera modificada (palmeta) y el marco de plantación es de 4 m entre filas y 2 m entre plantas. Cada una de las filas posee 36 plantas y hay un total de 57 filas orientadas en sentido Oeste – Este. El monte recibe anualmente un manejo similar al de los montes comerciales de la región, realizándose tareas de poda, fertilización, desmalezamiento y raleo, entre otras. El tipo de riego es por manto y se realiza en intervalos aproximados de quince días.

4.2. Mapas de rendimiento y determinación de zonas diferenciales

Para la confección de los mapas de rendimiento se utilizaron los datos de Fernández, D. y otros, (2018) para las temporadas 2015-2016 y 2016-2017 y se continuó con la misma metodología para el relevamiento de datos de la temporada 2017-2018.

Cada una de las filas de la parcela fue dividida en 3 bloques de 24 m (12 plantas) que constituyen las unidades experimentales (UE), existiendo un total de 168 UE (Figura 1a), con el fin de facilitar y acelerar las tareas de cosecha. Para poder determinar el rendimiento de cada UE, la cosecha se realizó con una plataforma autopropulsada que cuenta con un sistema de pesado de la fruta que registra el peso de los frutos por cada UE y las coordenadas geográficas en el sistema UTM del punto central de la misma (Figura 1 b). Para cada UE se obtuvo un único dato de rendimiento. En aquellas UE en las que hay árboles ausentes o de estructura muy reducida (menos de la mitad del tamaño de un árbol promedio) se corrigió el dato de rendimiento con la siguiente ecuación:

$$Z_c = Z_i * \frac{12}{(12 - C_i)} \quad i = 0, 0.5 \text{ ó } 1$$

dónde Z_c es el valor corregido del rendimiento de la UE; Z_i es el valor original de rendimiento para la UE con 12 árboles; C_i es el factor de corrección que puede tomar

valor 0 en caso de que todos los árboles de UE sean normales, valor 0,5 en presencia de un árbol de estructura pequeña en la UE, valor 1 si existe un árbol ausente en la UE.

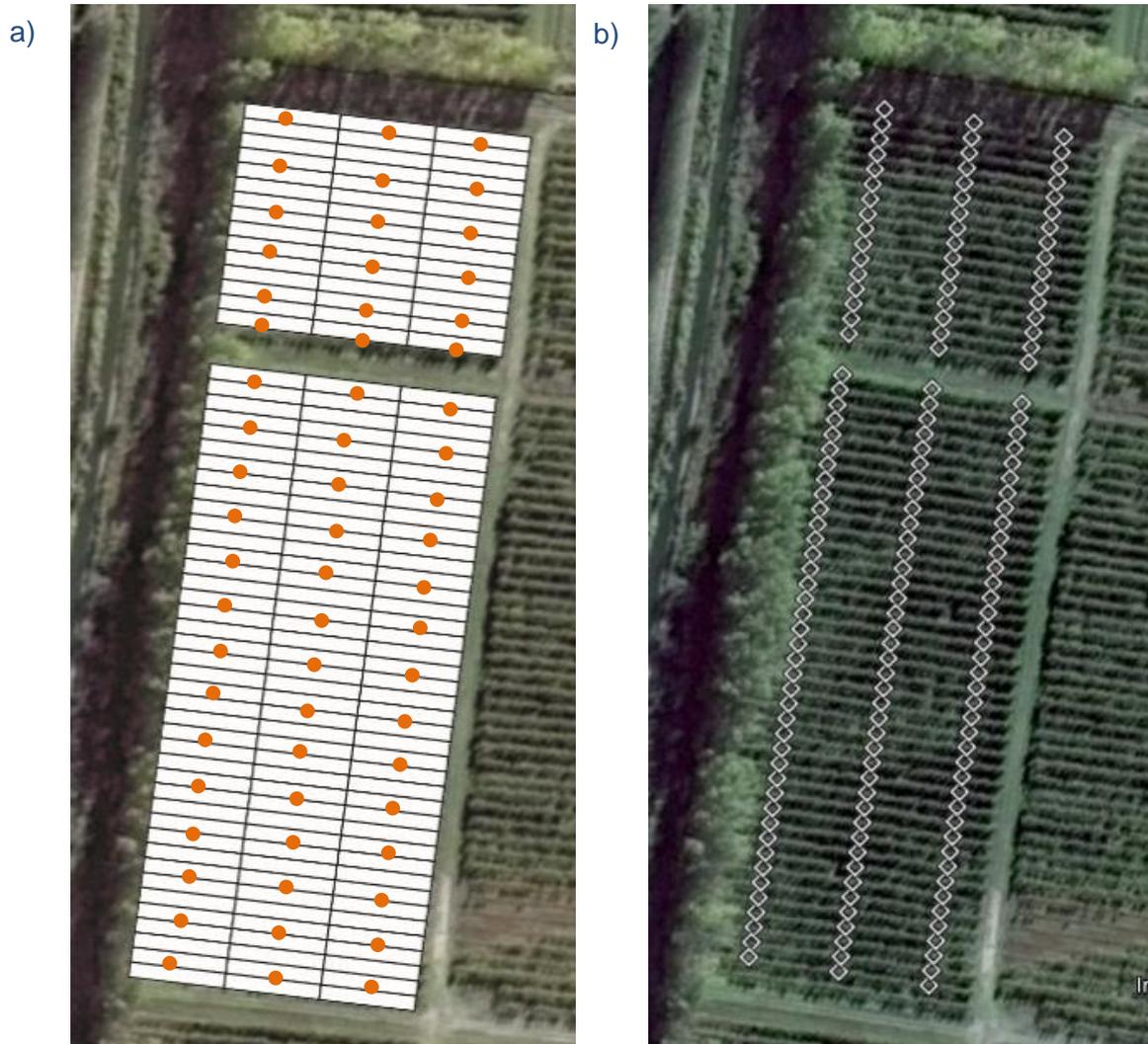


Figura 1: a) los rectángulos blancos representan las unidades experimentales y los puntos naranjas, los árboles centrales de las unidades experimentales; b) puntos de referencia geográfica de las unidades experimentales

Con esta información se realizaron los mapas de rendimiento utilizando el software GS⁺ (Robertson, G. P., 2008). En primer lugar, se confeccionaron los variogramas y se optó por el modelo que mejor ajustó a los datos (entre exponencial, esférico, gaussiano y lineal). Luego, con el método de kriging ordinario se realizaron las interpolaciones y se obtuvieron los mapas de rendimiento para cada temporada.

Para clasificar las UE se utilizaron las zonas diferenciales de rendimiento definidas en Fernández, D., y otros (2018),

- i) Zonas de bajo rendimiento: menos de 22 tn/ha;
- ii) Zonas de rendimiento medio: entre 22 y 32 tn/ha;
- iii) Zonas de alto rendimiento: más de 32 tn/ha.

Para evaluar estas diferencias de rendimiento a lo largo de las temporadas y en los diferentes sectores del cuadro, se realizó un ANOVA considerando como factores fijos del modelo los sectores, las temporadas y la interacción entre estos dos factores (Fernández, D. y otros, 2018).

4.3. Análisis de la variabilidad temporal de rendimiento

Para evaluar la variabilidad temporal del rendimiento de las UE se siguió la metodología utilizada por Fernández, D., y otros (2018) con la incorporación de los datos de la temporada 2017-2018. Dicha metodología utiliza la ecuación de Blackmore, S. y otros, (2003) modificada para cuantificar la varianza de los rendimientos de las UE en función del tiempo.

$$\sigma^2 = \frac{(\sum_{t:2015}^{t:2018} (Y_{t,i} - Y_i)^2)}{t}$$

dónde σ^2 es la varianza temporal de la UE "i"; t es el tiempo en años; $Y_{t,i}$ es el rendimiento de la UE "i" en el año "t" menos el rendimiento medio del monte en dicho año; Y_i es el rendimiento medio de la UE "i" para los años analizados.

4.4. Determinación de perímetro de tronco

Se determinó el diámetro de tronco de todos los arboles de la parcela en estudio para evaluar si se encuentra asociada al rendimiento. Para ello se midió el diámetro del tronco de cada árbol a una altura de 40 cm respecto del suelo utilizando una cinta métrica.

4.5. Selección de muestras para evaluación de calidad

De las 168 UE de la parcela se seleccionaron 60 UE espaciadas de manera regular, cada una de las cuales quedó representada por la planta central de la misma, o aquella que fue la más representativa (Figura 1a). Esta selección fue realizada por

razones de disponibilidad de tiempo y mano de obra para llevar a cabo las labores necesarias.

De cada una de las 60 plantas representativas se determinó la producción en kilogramos y el tamaño de todos los frutos del árbol. Se clasificaron en 4 clases según los diámetros ecuatoriales: clase 1: <60 mm; clase 2: 60 a 65 mm; clase 3: 65 a 70 mm; y clase 4: >70mm. Cada una de estas clases se corresponde con diferentes tamaños comerciales, los cuales hacen referencia al número de frutos que contiene una caja de peras de 18 kg. La clase 3 abarca los tamaños comerciales más buscados que son el 80, 90 y 100, por lo cual para cada planta se calculó el porcentaje de frutos con dichos tamaños.

Para la determinación de firmeza de pulpa, color, peso y contenido de sólidos solubles se tomó una muestra al azar de 40 frutos de cada árbol, de los cuales 20 se analizaron al momento de la cosecha y 20 se conservaron en frío. Para su conservación fueron embalados en bandejas de celulosa colocadas en cajas Mark IV con bolsa. La conservación se realizó durante 2 meses en cámara frigorífica convencional a una temperatura de -1°C y humedad relativa de 85-90%.

Para la determinación de acidez titulable y porcentaje de degradación de almidón, se seleccionaron 20 frutos al azar de 5 plantas para cada una de las zonas diferenciales de rendimiento, resultando un total de 100 frutos por zona. La mitad de estos frutos se utilizaron para la determinación de estos índices al momento de cosecha y los restantes se conservaron en las condiciones descritas previamente. Estos índices no se determinaron para las 60 plantas representativas de cada unidad muestreada por cuestiones de costos y operativas. Si bien son parámetros comúnmente utilizados en evaluaciones de calidad, los criterios más discriminantes para definir el estado de madurez en peras son el tamaño, el índice refractométrico y la firmeza de pulpa (Benítez, C. E., 2005).

4.6. Determinación de firmeza de pulpa

Para medir la firmeza de pulpa de la fruta se utilizó un penetrómetro electrónico (FTA-GS14, Güss, Sudáfrica), dotado de un émbolo de 7,9 mm de diámetro (Figura 2). Se quitó la piel del fruto realizando un corte tangencial y poco profundo en dos puntos opuestos del plano ecuatorial. La firmeza se determinó en cada uno de los lados opuestos del fruto midiendo la fuerza que requería el émbolo para penetrar. El valor obtenido para cada fruto fue el promedio de las dos mediciones.

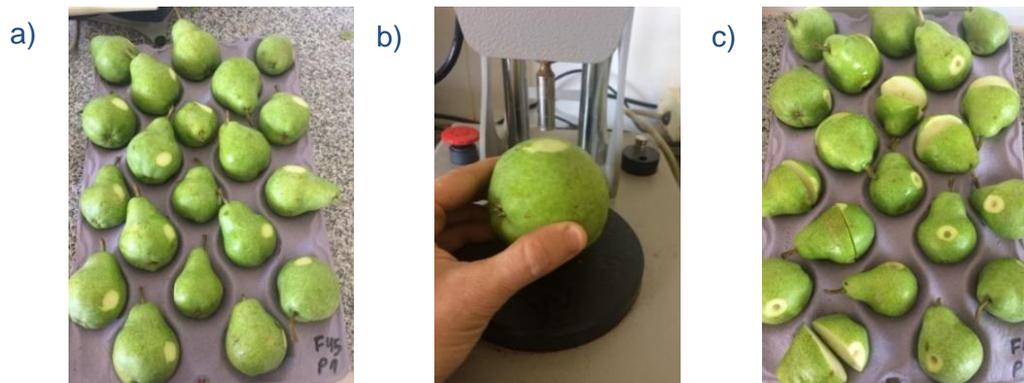


Figura 2: Determinación de firmeza con penetrómetro electrónico. a) Fruto sin piel preparado para la penetración del émbolo; b) Émbolo por penetrar en el fruto; c) Frutos ya penetrados.

4.7. Determinación del color de epidermis

Se determinó con un colorímetro (CR-400, Minolta, Japón). La cromaticidad fue obtenida en las coordenadas espaciales del color CIELAB (L^* , a^* , b^*) y se calculó el ángulo de matiz (h°) [arctangente (b^*/a^*)] (Figura 3).

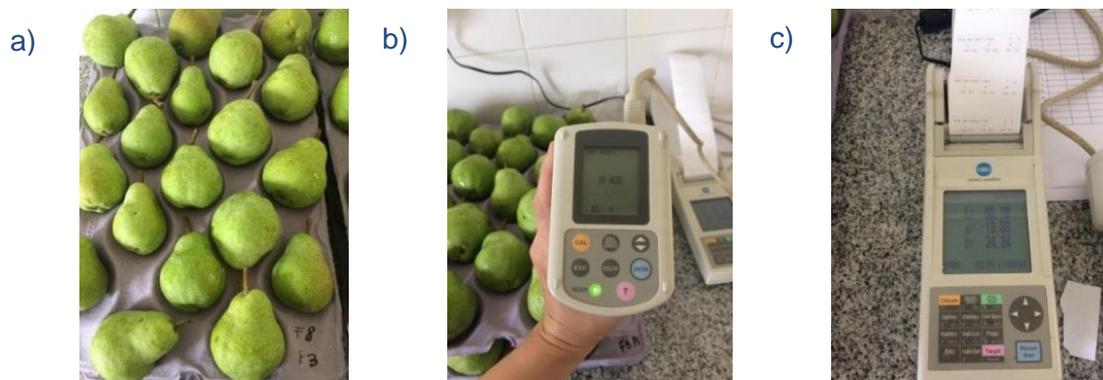


Figura 3: Determinación de color con colorímetro digital. a) Bandeja con frutos para medir color; b) Medición de color con colorímetro; c) Resultados arrojados por el instrumento.

4.8. Determinación del contenido de sólidos solubles totales

Se realizó una determinación de sólidos solubles totales por cada árbol (Figura 4). Se utilizaron 5 frutos para cada determinación de los cuales se tomó una sección transversal y se extrajo el jugo. El porcentaje de sólidos solubles totales se analizó con un refractómetro digital (PAL1, Atago, Japón).

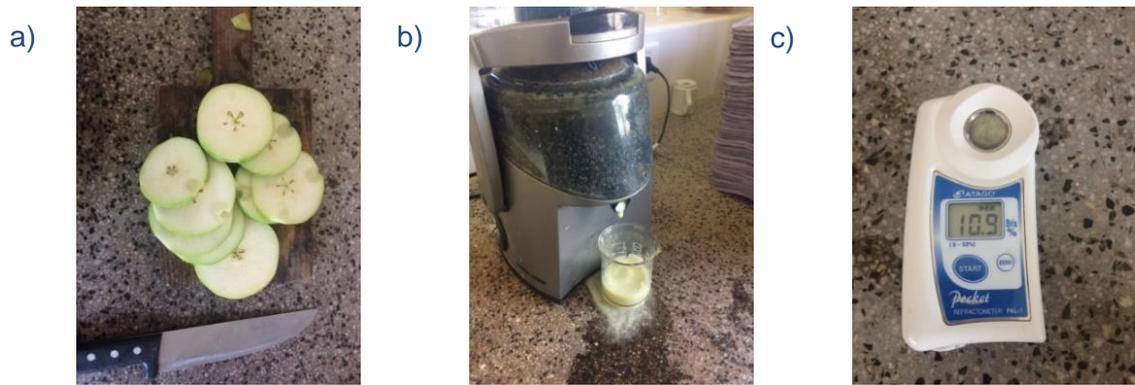


Figura 4: Determinación del contenido de sólidos solubles. a) Rodajas de cinco frutos para obtener el jugo; b) Obtención del jugo; c) Medición con refractómetro.

4.9. Determinación de acidez titulable

Se realizaron 6 determinaciones de acidez titulable por zona diferencial de rendimiento. Para cada determinación se utilizaron 5 frutos de los cuales se tomó una sección transversal para extraer el jugo. Se realizó una titulación de 10 ml del jugo con NaOH 0,1 N hasta pH 8,2, utilizando fenolftaleína como indicador (Figura 5). A partir del volumen de NaOH consumido en la titulación se calculó la cantidad de ácido málico presente en el jugo mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Acido málico (g/l)} = \text{Volumen utilizado de NaOH (ml)} \times 0,67$$



Figura 5: Titulación del jugo de peras con NaOH.

4.10. Determinación del porcentaje de degradación de almidón

Se determinó para 20 frutos de cada zona diferencial de rendimiento (Figura 6). Para su determinación se cortaron transversalmente las peras en mitades y las zonas pedunculares de los frutos fueron colocadas en un recipiente con una solución de Lugol

(10 g de yoduro de potasio y 5 g de yodo en 1000 ml de agua destilada). Esta solución queda retenida en las zonas del fruto donde hay presencia de almidón dando lugar a un dibujo que permite establecer el porcentaje de degradación de almidón por comparación con tablas varietales específicas para el cultivar (Candan, A. y Calvo, G., 2002)

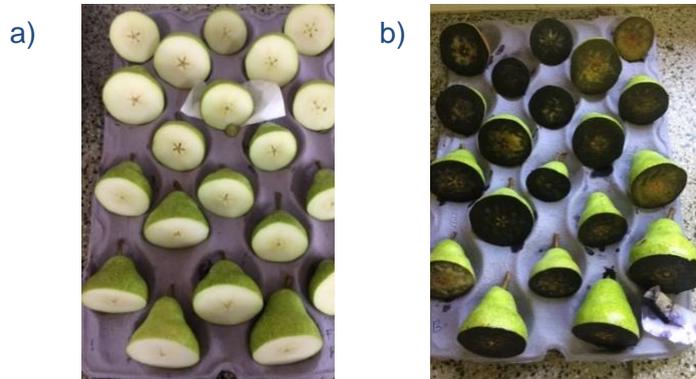


Figura 6: Determinación de degradación de almidón. a) Frutos antes de colocar en solución de lugol; b) Frutos ya teñidos.

4.11. Análisis estadístico de los datos

4.11.1. Estadísticos descriptivos y ajuste de modelos lineales mixtos

En primer lugar, se realizó un análisis exploratorio de los datos a partir de los estadísticos descriptivos de las variables de calidad y rendimiento obtenidas para cada temporada en particular.

Luego para cada variable de calidad y rendimiento se ajustaron modelos lineales mixtos para realizar la comparación de medias entre las diferentes zonas de rendimiento. Se utilizaron estos modelos ya que los errores no pueden considerarse independientes porque existe correlación espacial entre los individuos observados. Se compararon los ajustes obtenidos de los modelos de correlación espacial exponencial, gaussiano, lineal y esférico, y se consideró la posible heterocedasticidad entre zonas diferenciales de rendimiento. Se seleccionó el mejor modelo para cada variable a partir de los criterios de Akaike (AIC) y Bayesiano (BIC). Para todos los modelos se utilizó la zona diferencial de rendimiento (baja, media o alta producción) como factor fijo del modelo y las coordenadas geográficas de cada punto de muestreo para la correlación espacial.

Se utilizó el software Infostat (Di Rienzo, J. A., y otros, 2017) y su interfaz en R (R Core Team, 2018).

4.11.2. Análisis de Componentes Principales (ACP)

Se realizó un ACP para los datos de rendimiento, calidad a cosecha y calidad en poscosecha de la temporada 2017-2018 con el software FactoMine R (Le, S., y otros, 2008). Este análisis permite representar en un espacio de dimensiones pequeñas, las observaciones de un espacio general p -dimensional (Peña, D. 2002). Es decir, se reduce el espacio de p -variables originales en un número menor de nuevas variables no correlacionadas entre sí, que son combinaciones lineales de las variables originales y que explican el máximo de la variabilidad total.

Este análisis se realizó porque permite interpretar las relaciones existentes entre las variables originales y detectar cuáles de ellas son las que provocan mayor dispersión de los datos. También permite representar a los individuos en una dimensión reducida (en el plano o en el espacio) de modo tal que se pueden observar diferencias o analogías entre grupos de individuos.

4.11.3. Análisis Factorial Múltiple (AFM)

El AFM es una generalización del ACP que permite analizar varios conjuntos de datos a la vez. Se realizó con las variables de rendimiento y calidad a cosecha de todas las temporadas estudiadas.

Se utilizó esta técnica para observar posibles relaciones entre las variables correspondientes a las distintas temporadas y para observar diferencias o analogías entre grupos de individuos.

Se siguió la secuencia utilizada por Aruani, M. C., y otros, (2014). Se realizó una matriz de coeficientes de correlación de Pearson para observar si había relaciones no lineales entre algunas de las variables, se estudió la colinealidad entre variables a fin de establecer criterios de filtrado en caso de ser necesario y se realizó un AFM definido en Escofier, B. y Pagés J., (1994) con tres vías de análisis multivariado: i) individuos; ii) variables de calidad y rendimiento; iii) temporadas. Se utilizó el software FactoMine R (Le, S., y otros, 2008).

5. RESULTADOS

5.1. Calidad de la fruta

5.1.1. Temporada 2017-2018

Las medidas de resumen para las variables estudiadas a cosecha en la temporada 2017-2018 se presentan en la [Tabla 1](#), discriminadas según la zona diferencial de rendimiento.

Tabla 1: Medidas resumen de los índices de madurez a cosecha para la temporada 2017-2018.

	Medidas resumen	Zonas según rendimiento		
		Bajo	Medio	Alto
Rendimiento (tn/ha)	n	10	21	29
	media	16,50	26,72	39,22
	D.E.	4,04	3,08	5,59
	mínimo	10,10	22,10	33,00
	máximo	20,90	30,70	53,55
Firmeza (lb/pulg ²)	n	10	21	29
	media	18,78	18,43	18,28
	D.E.	0,84	0,56	0,87
	mínimo	17,70	17,70	16,21
	máximo	20,41	19,62	20,10
Sólidos solubles (%)	n	10	21	29
	media	12,17	11,57	11,01
	D.E.	0,59	0,74	1,03
	mínimo	11,40	9,40	7,20
	máximo	13,40	12,60	12,60
Ángulo hue (°)	n	10	21	29
	media	120,64	120,87	121,46
	D.E.	0,77	0,90	0,46
	mínimo	119,21	118,92	120,50
	máximo	122,14	122,49	122,63
Degradación de almidón (%)	n	20	20	20
	media	37,23	47,50	53,50
	D.E.	22,56	19,16	16,94
	mínimo	10,00	20,00	30,00
	máximo	85,00	80,00	90,00
Acidez titulable (g/l)	n	5	5	5
	media	5,05	4,54	4,58
	D.E.	0,42	0,18	0,31
	mínimo	4,42	4,36	4,15
	máximo	5,49	4,89	4,96

Se pudo observar que la firmeza de pulpa presentó valores apropiados para el inicio de cosecha (Benítez, C. E., 2001) en todas las zonas diferenciales de rendimiento. Las medias superaron los valores recomendados para la exportación de la fruta (Adaro, A., y otros, 2010) y aumentaron de forma significativa a medida que disminuyó el rendimiento (Figura 7 b)

Los valores medios obtenidos para el contenido de sólidos solubles superaron el valor recomendado de dicho índice a cosecha (Benítez, C. E., 2001). Sin embargo los valores mínimos obtenidos para las zonas de alto y mediano rendimiento fueron menores a 10%, lo cual significa que en estas zonas de rendimiento hay fruta que no alcanza los valores requeridos para dicho índice a cosecha. Para la zona de bajo rendimiento el valor mínimo superó los valores requeridos para iniciar la cosecha. Además se observó que el contenido de sólidos solubles aumentó significativamente en la zona de bajo rendimiento (Figura 7 d).

Los valores de ángulo hue fueron significativamente mayores para la zona de alto rendimiento, respecto a las zonas de bajo y mediano rendimiento (Figura 7 c).

Sin embargo, toda la fruta presentó valores de ángulo hue que se corresponden con una coloración verde según la escala de colores utilizada por Calvo, G., (2004), en la cual ángulos hue mayores a 105° indican color verde; menores a 95° indican amarillo oscuro; y valores entre 95 y 105° , amarillo claro.

El porcentaje de degradación de almidón presentó valores muy variables y aumentó significativamente a medida que se incrementó el rendimiento (Figura 7 f).

Por último, la acidez titulable presentó valores aptos para el inicio de cosecha (Benítez, C. E., 2001) y fue significativamente mayor en la zona de bajo rendimiento (Figura 7 e).

A partir de los resultados se observó que los índices de madurez determinados a cosecha, en su mayoría presentaron diferencias significativas entre zonas diferenciales de rendimiento. Es decir, la calidad de la fruta a cosecha de la parcela en estudio presentó variabilidad espacial.

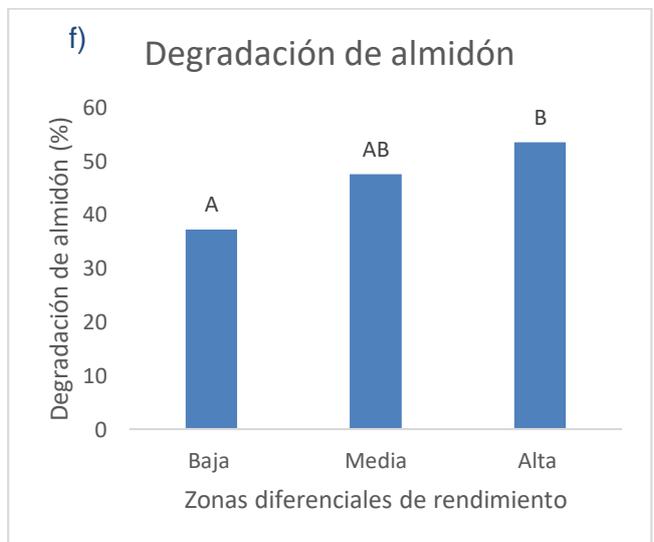
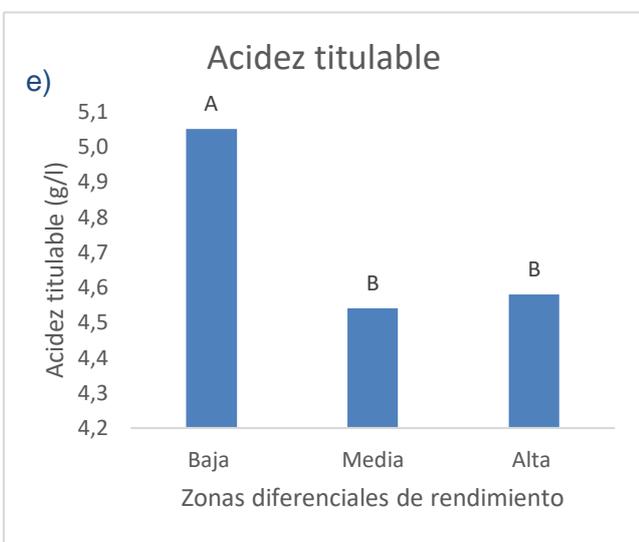
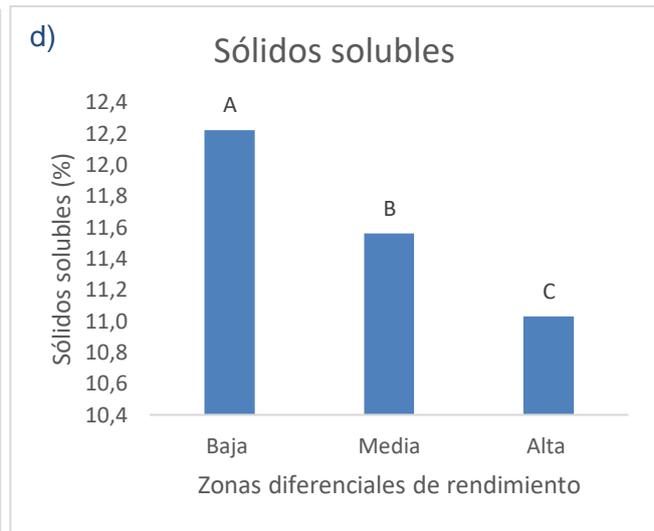
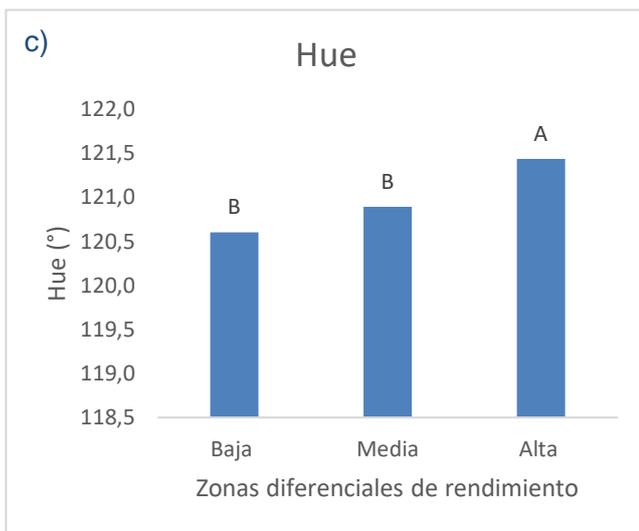
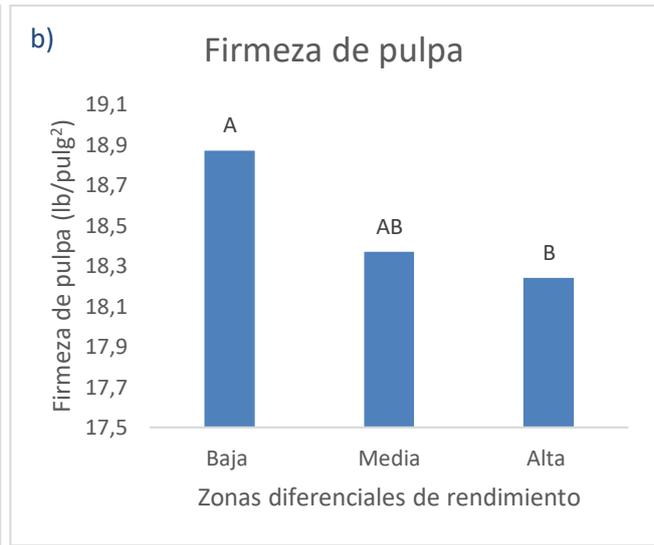
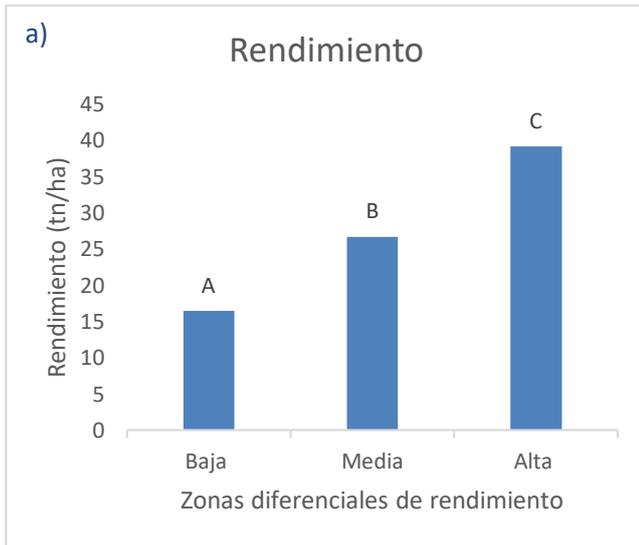


Figura 7: Gráficos de medias para las variables de calidad a cosecha. a) Rendimiento; b) Firmeza de pulpa; c) Sólidos solubles; d) Hue; e) Acidez titulable; f) Degradación de almidón. Letras diferenciales indican grupos significativamente diferentes. ($p > 0,05$)

En la [Tabla 2](#) se presentan las medidas de resumen para las variables estudiadas en poscosecha de la fruta de la temporada 2017-2018, discriminadas según la zona diferencial de rendimiento. Las determinaciones se realizaron luego de 85 días de conservación de la fruta en frío.

Tabla 2. Medidas resumen de los índices de madurez de poscosecha para la temporada 2017-2018.

	Medidas resumen	Zonas según rendimiento		
		Bajo	Medio	Alto
Firmeza (lb/pulg ²)	n	6	21	29
	media	17,90	18,01	17,82
	D.E.	0,86	0,59	0,60
	mínimo	17,01	17,08	16,77
	máximo	18,98	19,26	19,02
Sólidos solubles (%)	n	6	20	29
	media	13,05	12,01	12,12
	D.E.	0,83	0,88	0,78
	mínimo	12,30	9,20	10,20
	máximo	14,60	13,10	14,20
Ángulo hue (°)	n	6	20	28
	media	112,83	113,96	115,18
	D.E.	0,84	1,61	1,60
	mínimo	111,64	110,54	112,15
	máximo	113,80	116,46	118,05
Acidez titulable (g/l)	n	3	3	3
	media	3,62	3,10	2,82
	D.E.	0,07	0,17	0,31
	mínimo	3,55	2,95	2,55
	máximo	3,69	3,28	3,12

Se pudo observar que la fruta luego de ser conservada, presentó una madurez apropiada para la comercialización, tanto en la zona de bajo, medio y alto rendimiento (Adaro, A., y otros, 2010). Los valores medios de firmeza no presentaron diferencias significativas entre zonas de rendimiento. Para el caso de sólidos solubles las medias siempre superaron el 10% y la zona de bajo rendimiento presentó mayor porcentaje de sólidos solubles ([Figura 8 a](#)). Los valores de ángulo hue fueron significativamente mayores para la zona de alto rendimiento ([Figura 8 c](#)), sin embargo, todos los valores de ángulo hue observados para todas las zonas de rendimiento se corresponden con color verde (Calvo, G., 2004). Por último, se puede observar que los valores de acidez titulable son menores en poscosecha respecto a la cosecha, y esto se debe a que

durante la conservación la fruta disminuye el contenido de ácidos orgánicos. El contenido de ácido málico fue mayor en la zona de bajo rendimiento (Figura 8d).

A partir de los resultados, se observó que luego de la conservación de la fruta, el contenido de sólidos solubles y la acidez titulable, presentaron variabilidad asociada al rendimiento. Sin embargo, la firmeza de pulpa luego de conservación no presentó variabilidad espacial.

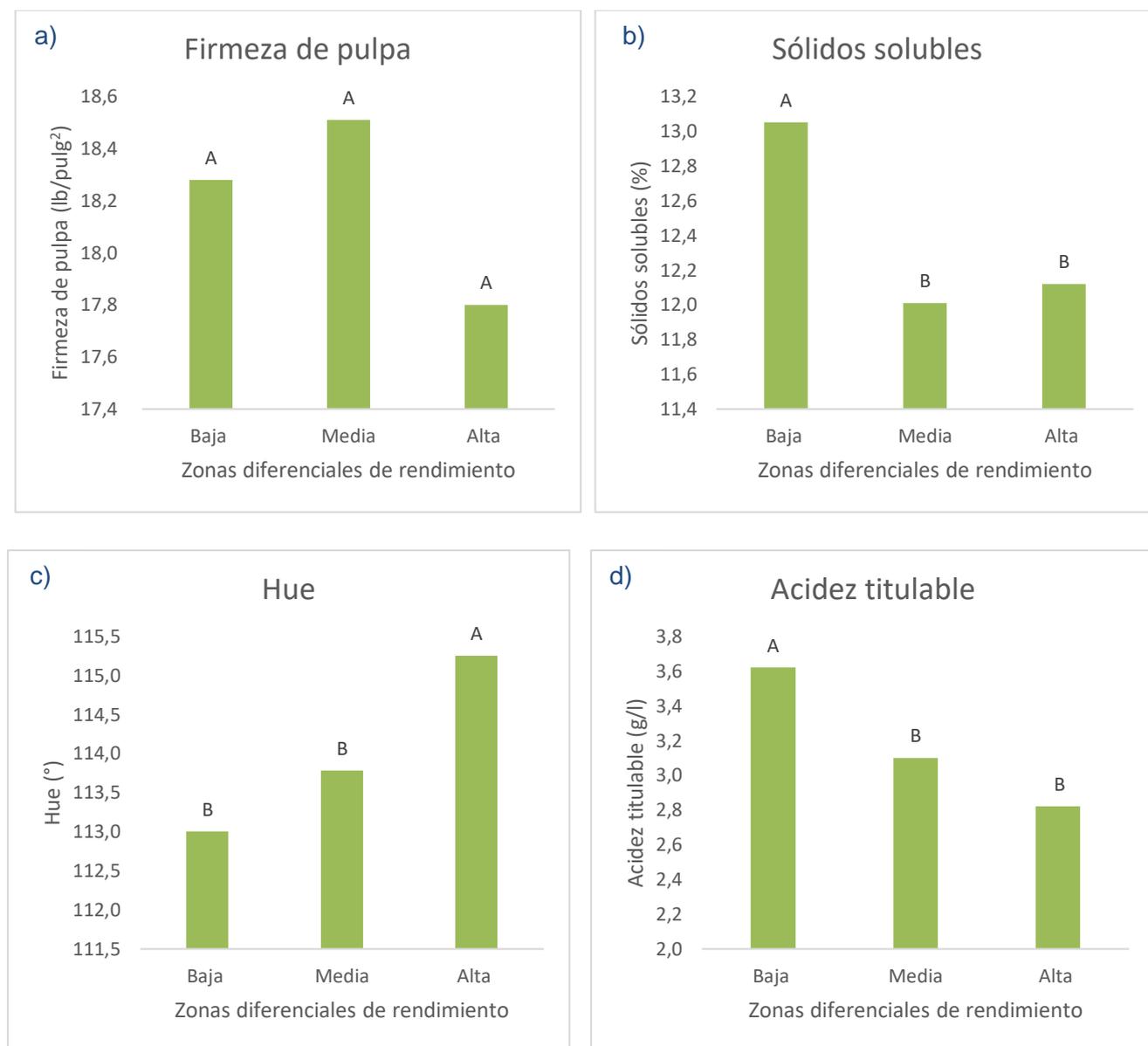


Figura 8: Gráficos de medias para las variables de calidad en poscosecha. a) Firmeza de pulpa; b) Sólidos solubles; c) Hue; d) Acidez titulable. Letras diferenciales indican grupos significativamente diferentes ($p > 0,05$)

5.1.2. Temporada 2016-2017

En la [Tabla 3](#) se presentan las medidas de resumen para las variables estudiadas a cosecha en la temporada 2016-2017, discriminadas según la zona diferencial de rendimiento.

Tabla 3: Medidas resumen de los índices de madurez a cosecha para la temporada 2016-2017.

	Medidas resumen	Zonas según rendimiento		
		Baja	Medio	Alto
Firmeza (lb/pulg ²)	n	20	30	10
	media	17,18	17,18	17,13
	D.E.	0,80	0,87	0,88
	mínimo	15,56	15,72	15,67
	máximo	18,52	19,16	18,43
Sólidos solubles (%)	n	20	30	10
	media	12,53	12,32	12,09
	D.E.	0,47	0,68	0,53
	mínimo	11,80	9,90	11,00
	máximo	13,90	13,80	12,80

Se observó que valores medios de firmeza de pulpa y de sólidos solubles fueron superiores a los requeridos para iniciar la cosecha (Benítez, C. E., 2001) y son aptos para la exportación de la fruta (Adaro, A., y otros, 2010). Dichos índices no presentaron diferencias significativas entre zonas diferenciales de rendimiento ([Figura 9 a y b](#)). Es decir, en esta temporada, no se observó variabilidad espacial de la calidad a cosecha.

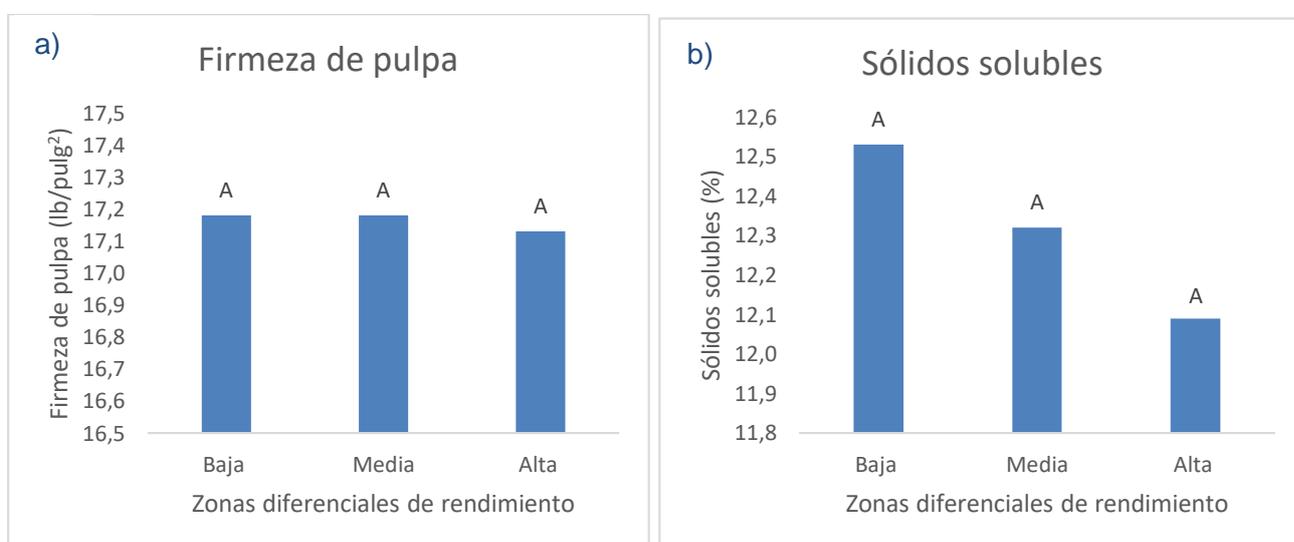


Figura 9: Gráficos de medias para las variables de calidad a cosecha. a) Firmeza de pulpa; b) Sólidos solubles. Letras diferenciales indican grupos significativamente diferentes ($p > 0,05$)

5.1.3. Temporada 2015-2016

En la [Tabla 4](#) se presentan las medidas de resumen para las variables estudiadas a cosecha en la temporada 2015-2016, discriminadas según la zona diferencial de rendimiento.

Tabla 4: Medidas resumen de los índices de madurez a cosecha para la temporada 2015-2016.

	Medidas resumen	Zonas según rendimiento		
		Bajo	Medio	Alto
Firmeza (lb/pulg ²)	n	25	29	6
	media	20,57	20,03	20,46
	D.E.	1,03	0,88	1,34
	mínimo	18,60	18,27	19,26
	máximo	22,78	21,96	23,01
Sólidos solubles (%)	n	25	29	6
	media	10,42	9,99	9,87
	D.E.	0,57	0,60	0,49
	mínimo	9,30	8,80	9,40
	máximo	11,50	11,20	10,80

Se observó que valores medios de firmeza fueron superiores a los requeridos para iniciar la cosecha (Benítez, C. E., 2001) y son aptos para la exportación de la fruta (Adaro, A., 2010). Sin embargo algunos frutos presentaron valores de firmeza superiores a los recomendados para iniciar la cosecha lo cual puede comprometer la calidad final de los mismos. Las zona de bajo rendimiento presentó diferencias significativas en la firmeza de pulpa respecto a la zona de mediano rendimiento ([Figura 10 a](#)).

En el caso del contenido de sólidos solubles, en la zona de bajo rendimiento la media superó el valor óptimo requerido de dicho índice para iniciar la cosecha. Sin embargo, se observó que el contenido medio de sólidos solubles en las zonas de medio y alto rendimiento fue menor al 10%, lo cual está por debajo del valor óptimo recomendado para este índice a cosecha. No se observaron diferencias significativas entre zonas de rendimiento ([Figura 10 b](#)).

En esta temporada se observó variabilidad en el contenido de sólidos solubles, no así en la firmeza de pulpa.

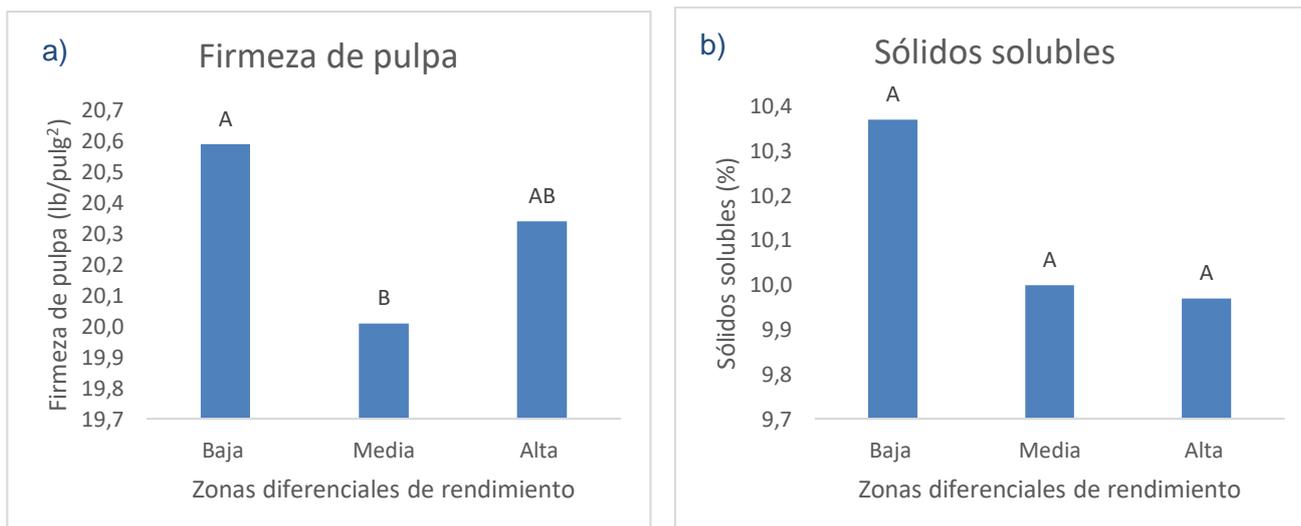


Figura 10: Gráficos de medias para las variables de calidad a cosecha. a) Firmeza de pulpa; b) Sólidos solubles. Letras diferenciales indican grupos significativamente diferentes ($p > 0,05$).

5.2. Variabilidad espacial del rendimiento

En la Figura 11 se pueden observar los mapas de rendimiento obtenidos para la parcela en estudio en las diferentes temporadas (2015-2016; 2016-2017; 2017-2018). Se observó que existe una gran variabilidad en los rendimientos, lo que coincide con los resultados obtenidos por Gemtos, T. y otros, (2013), quienes concluyeron que aun cuando las parcelas son pequeñas, existe una clara variabilidad espacial en los rendimientos de manzanos y viñedos; y Aggelopoulou, K. D., y otros (2010) que también concluyeron que existe variabilidad espacial y temporal en el rendimiento de una parcela de manzanas de 0,8 ha.

Se observó que los rendimientos obtenidos fueron menores hacia el lado oeste del cuadro, y mayores hacia el sector este. Este comportamiento se repitió año tras año, y podría ser influenciado por la presencia de una alameda de gran tamaño ubicada en el sector oeste del cuadro.

También se pudo observar que los rendimientos aumentaron a lo largo de las temporadas. En la cosecha 2016 predominan sectores con rendimientos de 10 a 20 tn/ha (colores rojos a marrones en el mapa), mientras que en las cosechas 2017 y 2018 se obtuvieron más áreas con rendimientos que oscilan entre 20 y 45 tn/ha (mapa mayormente verde). Esto puede deberse a que en la temporada 2015-2016 se realizó un raleo químico (práctica inusual en esta variedad y en esta parcela) que provocó la caída de un gran número de frutos y generó una reducción en los rendimientos obtenidos en dicha cosecha.

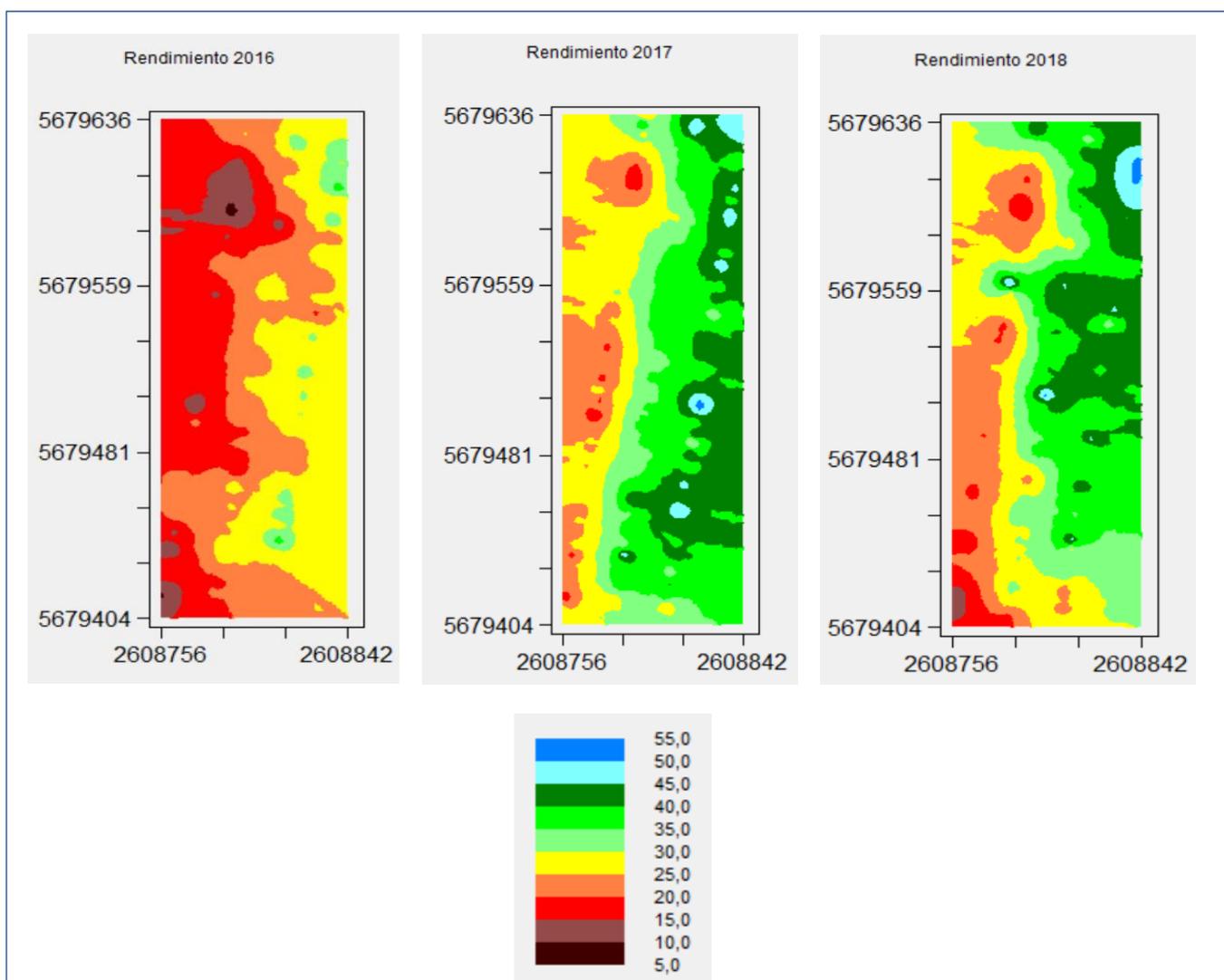


Figura 11: Mapas de rendimiento para los diferentes años de cosecha. A la izquierda y debajo de cada mapa se encuentran las coordenadas geográficas de referencia (UTM). Cada color indica diferentes rendimientos obtenidos expresados en tn/ha.

5.3. Variabilidad temporal del rendimiento

A partir de las varianzas obtenidas de los rendimientos en el tiempo de las UE, se calculó un coeficiente de variación temporal (CV_{temp}) para utilizar como parámetro indicador de la varianza del rendimiento relativo de cada UE a lo largo del tiempo en función del rendimiento medio del monte.

Debido a que no existe un método concluyente para definir si un área es estable o no en función del tiempo (Blackmore, S. y otros, 2003) se utilizó el mismo criterio que define Fernández, D., y otros (2018). El mismo propone un valor umbral del CV_{temp} a

partir de la observación del comportamiento de las UE dentro del monte del 20% para clasificar las áreas. Aquellas UE que presenten un CV_{temp} mayor o igual a 20%, se consideraron inestables, mientras que las que presentan un CV_{temp} menor a 20% se consideraron estables. A su vez, como rendimientos y estabilidad no son excluyentes, se definieron cinco combinaciones posibles para obtener un mapa de tendencia temporal del monte (Figura 12). Las combinaciones fueron:

- i) Alto rendimiento y estable en el tiempo (AE, 19,6% de las UE)
- ii) Medio-Alto rendimiento e inestable en el tiempo (MAI, 7,7% de las UE)
- iii) Medio rendimiento y estable en el tiempo (ME, 47,6% de las UE)
- iv) Medio-Bajo rendimiento e inestable en el tiempo (MBI, 2,4% de las UE)
- v) Bajo rendimiento y estable en el tiempo (BE, 22,6% de las UE)

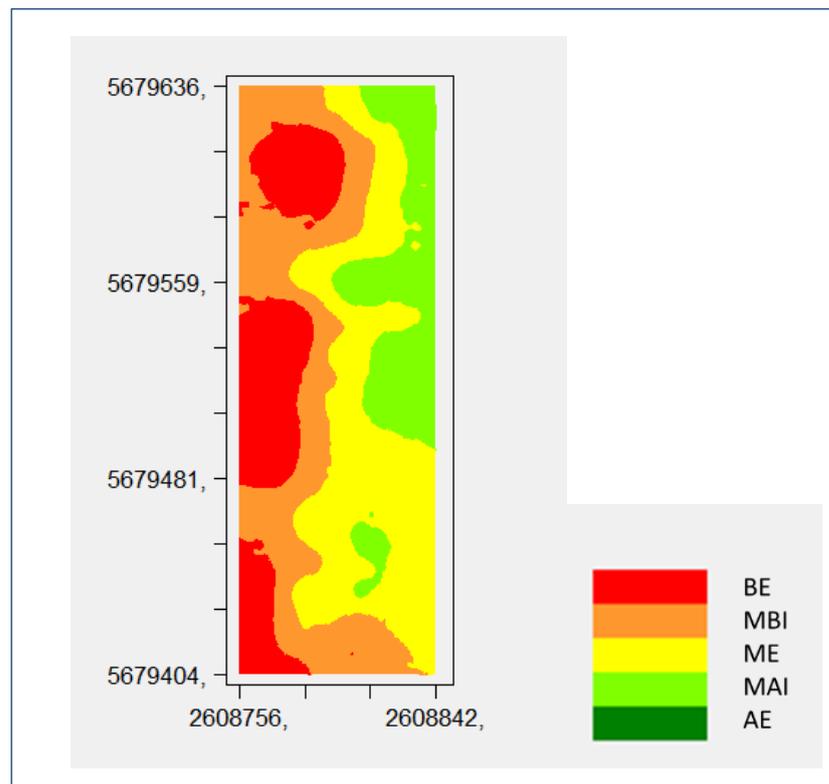


Figura 12: Mapa de tendencia temporal de los rendimientos. A la izquierda y debajo del mapa se encuentran las coordenadas geográficas de referencia (UTM). Cada color se corresponde con una combinación de rendimiento y estabilidad: Bajo y Estable (BE); Medio-Bajo e Inestable (MBI); Medio y Estable (ME); Medio-Alto e Inestable (MAI); Alto y Estable (AE)

5.4. Calidad versus rendimiento

5.4.1. Temporada 2017-2018. Calidad en cosecha y poscosecha vs rendimiento

Se realizó un Análisis de Componentes Principales a los datos obtenidos para la temporada 2017-2018 para observar las relaciones existentes entre todas las variables estudiadas.

La primera componente principal explicó un 32,29% de la variabilidad total y la segunda componente principal explicó un 20,1% (Figura 13). Es decir, las dos primeras componentes principales explican en conjunto un 52,39% de la variabilidad total de los datos. A partir del gráfico de variables se puede observar que las variables *perímetro de tronco* y *rendimiento* están directamente relacionadas entre sí y muy asociadas a la componente principal 1. Además se relacionan inversamente con las variables *porcentaje de frutos de tamaño comercial 80, 90 y 100* y el *contenido de sólidos solubles en cosecha*, es decir, a mayor *rendimiento* y mayor *perímetro de tronco*, la fruta presentó menor *porcentaje de fruta de tamaño comercial 80, 90 y 100* y menor *porcentaje de sólidos solubles*. Este resultado coincide con los obtenidos por Aggelopoulou, K. D., y otros, (2010) para cultivos de manzanas Red Chief y Fuji, quienes encontraron una correlación negativa entre el porcentaje de sólidos solubles de la fruta a cosecha y el rendimiento. Los *sólidos solubles en poscosecha* también presentaron una relación inversa respecto al *rendimiento*.

Las variables *firmeza a cosecha* y *firmeza en poscosecha* están directamente relacionadas entre sí y se encuentran más asociadas a la componente principal 2. A su vez, si se observan en la componente principal 1 se puede ver que poseen una relación inversa respecto al *rendimiento* y al *perímetro de tronco*.

La presencia de relaciones inversas entre algunos parámetros de calidad o índices de madurez respecto al rendimiento, podrían indicar que mayores rendimientos podrían asociarse a una menor calidad de la fruta, lo cual coincide con los resultados obtenidos por Gemtos, T., y otros (2013) para manzanas y uvas.

Las variables *hue en cosecha* y *hue en poscosecha* poseen una relación directa con el *perímetro de tronco* y el *rendimiento*, e inversa con los *sólidos solubles en poscosecha*.

A partir del gráfico de individuos (Figura 14) se puede observar que los individuos que se posicionan hacia la derecha corresponderían a las zonas de alta producción. Estos individuos se caracterizan por poseer valores altos de *rendimiento*, de *perímetro*

de tronco y hue, y bajos valores para *porcentaje de frutos de tamaño comercial 80, 90 y 100*. Los frutos de estas plantas poseen bajos valores para el *porcentaje de sólidos solubles* y valores de *firmeza de pulpa* variables, existiendo individuos que poseen frutos con alta *firmeza de pulpa* e individuos que poseen frutos con baja *firmeza de pulpa*.

Los individuos de la zona de bajo rendimiento se posicionan a la izquierda del gráfico. Estos se caracterizan por poseer bajos valores para *rendimiento* y *perímetro de tronco* y poseen mayor *porcentaje de frutos de tamaño comercial 80, 90 y 100* y alto *porcentaje de sólidos solubles*. La *firmeza de pulpa* de los frutos de los individuos de este grupo es intermedia.

Los individuos de la zona de mediano rendimiento se posicionan hacia el centro del gráfico.

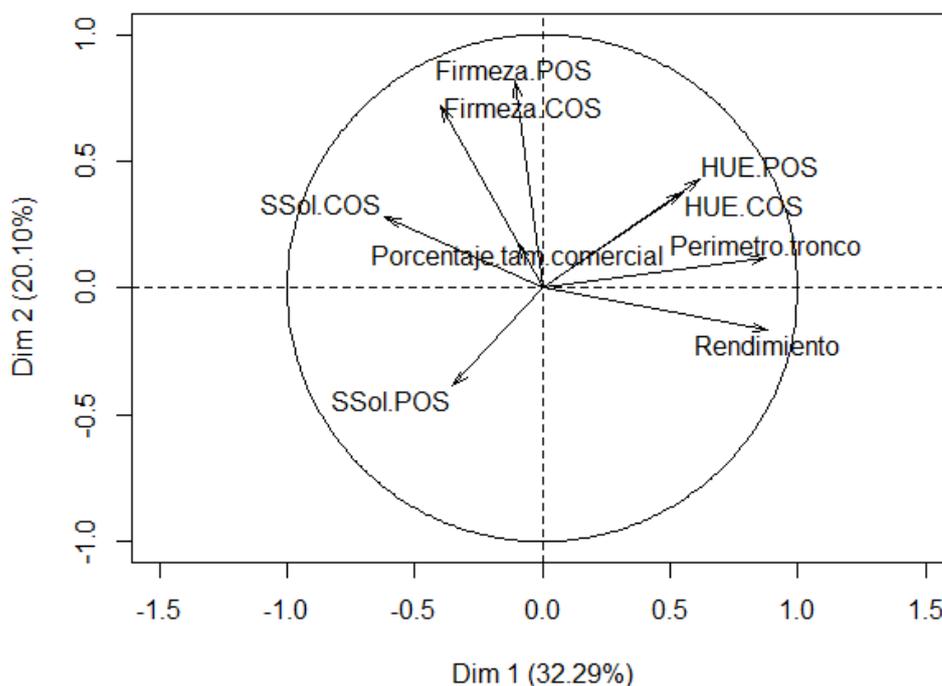


Figura 13: Gráfico de variables del Análisis de Componentes Principales para las variables de calidad y rendimiento de la temporada 2017-2018. *Firmeza de pulpa en cosecha (Firmeza.COS), Firmeza de pulpa en poscosecha (Firmeza.POS), Perímetro de tronco (Perímetro.tronco), Sólidos solubles en cosecha (SSol.COS), Sólidos solubles en poscosecha (SSol.POS), Porcentaje de frutos de tamaño comercial 80, 90 y 100 (Porcentaje.tam.comercial), Hue en cosecha (HUE.COS), Hue en poscosecha (HUE.POS).*

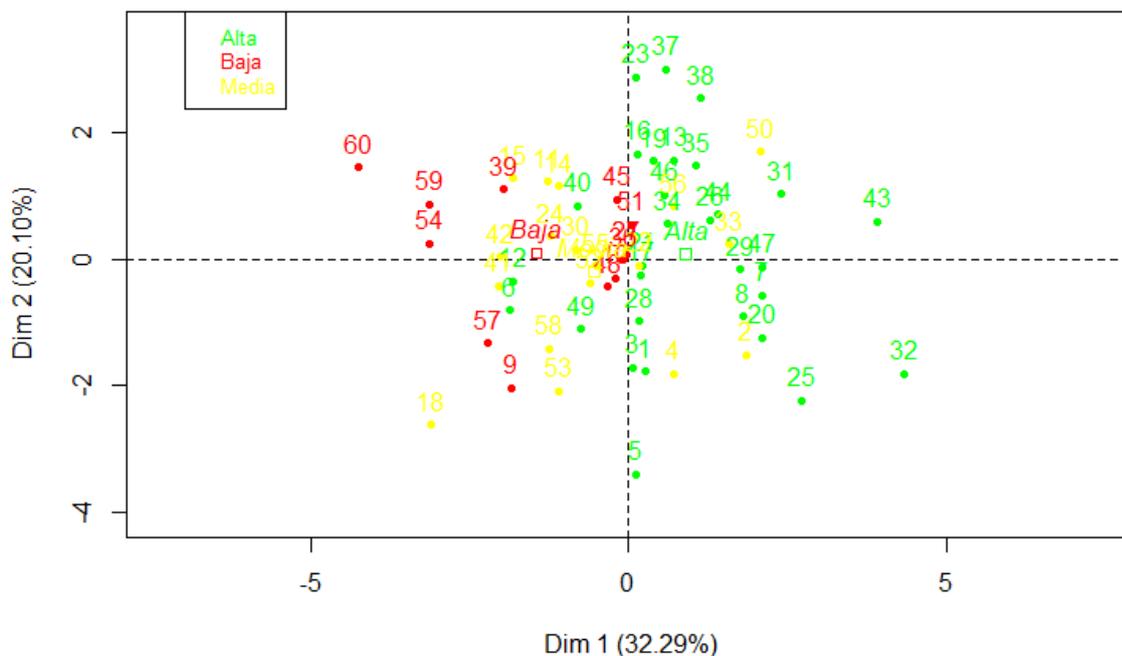


Figura 14: Gráfico de individuos del Análisis de Componentes Principales para las variables de calidad y rendimiento de la temporada 2017-2018. La variable suplementaria (alta, media y baja) se corresponde con las zonas diferenciales de rendimiento.

El análisis de componentes principales permitió observar que existe relación entre las variables asociadas al rendimiento y las variables asociadas a la calidad. Esta relación es inversa lo cual indica que a medida que se incrementa el rendimiento de una parcela, disminuyen los parámetros que definen su calidad, y viceversa. Además, se observó que los individuos estudiados tienden a agruparse según las zonas diferenciales de rendimiento.

5.4.2. Análisis Factorial Múltiple:

El análisis factorial múltiple explicó un 49,06% de la variabilidad total de los datos con los las dos primeras componentes principales. La componente 1 explicó un 32,71% de la variabilidad total y la componente 2 el 16,35%. Se puede observar que el conjunto de variables de las temporadas 2016-2017 y 2017-2018 tienen mayor peso en la dimensión 1 y dichas temporadas son más parecidas entre sí respecto de la temporada 2015-2016. Esto pudo deberse a la práctica de raleo químico que se realizó en la temporada 2015-2016 y que provocó una gran caída de frutos y menores rendimientos. Además, se puede observar que la clasificación por zonas está más asociada a estas

dos temporadas. Las variables de la temporada 2015-2016, tienen mayor peso en la dimensión 2 (Figura 15).

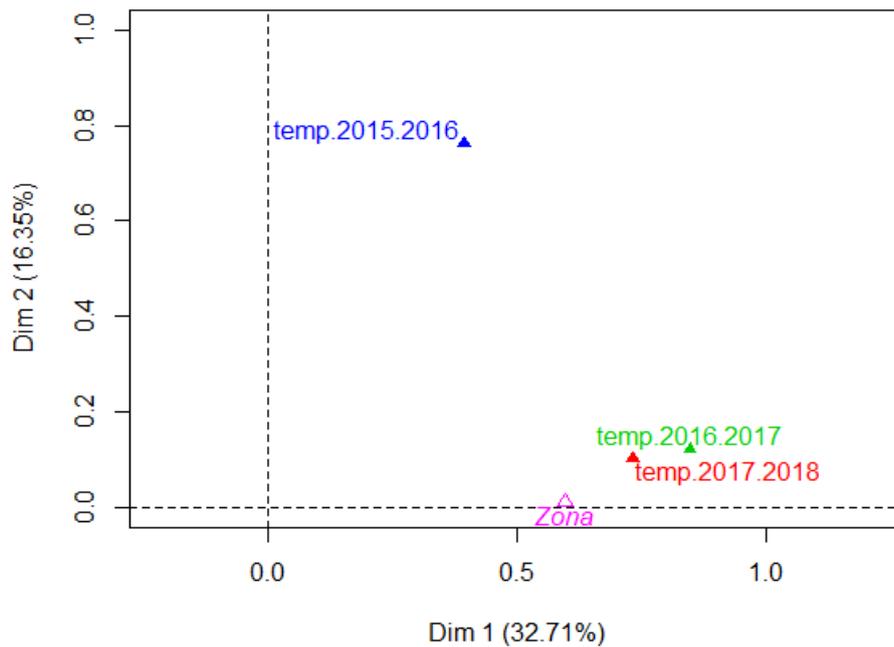


Figura 15: Representación de grupos del Análisis Factorial Múltiple

A partir de este análisis se observó que el *rendimiento* para los años 2017 y 2018 presentó una correlación negativa alta con la dimensión 1, mientras que las variables asociadas a la calidad presentaron una correlación positiva alta con la dimensión 1 (Figura 16). A su vez, se observó que las variables asociadas a la calidad se correlacionaron negativamente con el *rendimiento* en las temporadas 2016-2017 y 2017-2018.

Por otra parte, la variable *rendimiento* para la temporada 2015-2016 presentó una correlación negativa alta con la dimensión 2, y no presentó relación con el *rendimiento* de las otras dos temporadas.

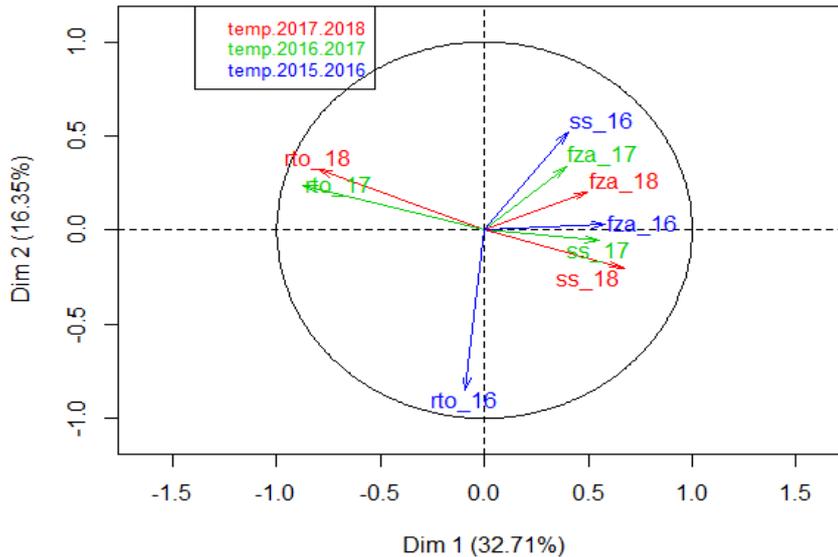


Figura 16: Círculo de correlación del Análisis Factorial Múltiple. Firmeza 2015-2016 (fza_16), Firmeza 2016-2017 (fza_17), Firmeza 2017-2018 (fza_18), Rendimiento 2015-2016 (rto_16), Rendimiento 2016-2017 (rto_17), Rendimiento 2017-2018 (rto_18), Porcentaje de sólidos solubles 2015-2016 (ss_16), Porcentaje de sólidos solubles 2016-2017 (ss_17), Porcentaje de sólidos solubles 2017-2018 (ss_18).

A partir del gráfico de individuos del AFM (Figura 17) se observó que los individuos que se posicionan a la izquierda del gráfico corresponden a zonas de alta producción, los individuos que se posicionan a la derecha del gráfico pertenecen a la zona de bajo rendimiento y los individuos que se posicionan hacia el centro del gráfico corresponden a la zona de mediano rendimiento.

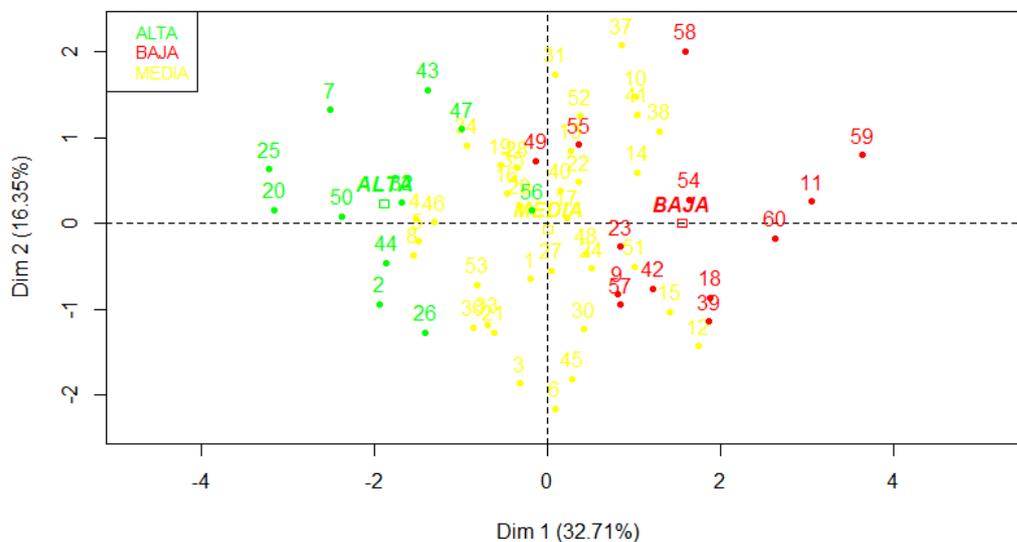


Figura 17: Gráfico de individuos del Análisis Factorial Múltiple. La variable suplementaria (alta, media y baja) se corresponde con las zonas diferenciales de rendimiento.

Este análisis permitió concluir que la variable *rendimiento* presentó relaciones inversas con las variables asociadas a la calidad para las temporadas 2016-2017 y 2017-2018, y que estas temporadas tuvieron un comportamiento similar entre ellas y diferente de la temporada 2015-2016. También se observó que los individuos estudiados tienden a agruparse según las zonas diferenciales de rendimiento.

6. CONCLUSIONES

A partir del trabajo realizado fue posible observar que existe variabilidad espacial en una parcela de pera Williams, tanto en el rendimiento del cultivo como en la calidad de la fruta obtenida de la misma.

La variabilidad del rendimiento, además, mostró ser estable en el tiempo, lo cual permite pensar en realizar un manejo diferenciado del monte frutal.

Se observó que algunos índices de madurez asociados a la calidad de la fruta fueron significativamente mayores para las zonas de bajo rendimiento, lo cual permite pensar que existe una relación inversa entre los rendimientos y la calidad. Esto ocurrió tanto en los índices determinados al momento de cosecha como en la fruta conservada en atmosfera convencional. Sin embargo, estas diferencias se observaron principalmente en la última temporada analizada, por lo cual los resultados sugieren que se debería continuar el estudio por algunas temporadas más para lograr resultados más robustos.

Por último, es importante destacar, que conocer la calidad de la fruta según las zonas diferenciales de rendimiento, es muy valioso, ya que permite pensar en implementar nuevas estrategias de cosecha, ajustar la compra de materiales o la logística de empaque, o tomar decisiones de mercados de destino.

7. BIBLIOGRAFIA

Adaro, A., Alvarez, H., Aparcian, A., Aragón, J., Aruani, M. C., Barnes, N., Behemer, S., Bondoni, M., Calvo, G., y otros. Pera Williams Manual para el productor y el empacador. Primera edición, Erregé y asociados, 2010. ISBN 978-987-25872-0-8

Aggelopolou, K. D., Wulfsohn, D., Fountas, S., Gemtos, T. A., Nanos, G.D., Blackmore, S. Spatial variation in yield and quality in a small apple orchard. Precision Agriculture, 11:538-556, 2010.

Álvarez, J., Calvo, P., Di Carli, R., Dillón, J., Gutiérrez, A., Mendoza, A., Pujó, J., y otros. Pautas tecnológicas: frutales de carozo Manejo y análisis económico-financiero. Primera edición, INTA EEA Alto Valle, 2005. ISBN 987-521-168-0

Angón Galván, P., Sánchez, S., Francenia, N., Hernández Carlos., G. Índices para la determinación de las condiciones óptimas de maduración de un fruto. Temas de ciencia y tecnología, 10(30):3-8, 2006.

Aruani, M. C., Reeb. P. D., Barnes, N. E. Influence of soil properties on yield and fruit maturity at harvest of Williams pear. Chilean Journal of Agricultural Research, 74(4):460-467, 2014.

Benítez, C.E. Cosecha y Pos cosecha de Peras y Manzanas en los Valles Irrigados de la Patagonia. General Roca, Río Negro. INTA EEA Alto Valle. 2001.

Benítez, C. E., Castro, H. R., Ricca, A. P., Vaudagna, S. R. Peras y Manzanas. Factores que afectan la calidad de los frutos. INTA, 2005.

Blackmore, S., Godwin, R. J., Fountas, F. The Analysis of Spatial and Temporal Trends in Yield Map Data over Six Years. Biosystems Engineering, 84 (4), 455–466, 2003.

Bramley, R. G. V. Understanding variability in winegrape production systems2. Within vineyard variation in quality over several vintages. Australian Journal of Grape and Wine Research 11, 33-42, 2005

Calvo, G. Efecto del 1-metilciclopropeno (1-mcp) en peras cv. Williams cosechadas con dos estados de madurez. Revista de Investigaciones Agropecuarias, 33 (2): 3-26, 2004. ISSN 0325 - 8718

Calvo, G. Impacto del 1-Metilciclopropeno en cultivares de peras tempranas producidas en el Alto Valle de Río Negro. Tesis de Maestría en producción Vegetal, Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires, 2008.

Calvo, G., Colodner, A., Candan, A. P. Cosecha y pos cosecha de frutales de pepita. Ediciones INTA, Buenos Aires, 2012.

Calvo, G., Gomila, T., Molina, G. Respuesta a la aplicación de 1MCP en pera Williams en función del estado de madurez caracterizado por el índice de diferencia de absorbancia (DA). Revista Iberoamericana de Tecnología de Pos cosecha ISSN: 1665-0204. 2013.

Campana, M. R. Indices de madurez, cosecha y empaque de frutas. Capítulo 21, Árboles Frutales, ecofisiología, cultivo y aprovechamiento. Editorial Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires, 2007.

Candan, A. P., Calvo, G. Uso de 1-MCP en frutas argentinas: manzanas, peras y ciruelas. Proceedings del "Seminario Internacional de Post Cosecha y procesamiento mínimo de frutas y hortalizas". Embrapa hortalizas, Brasil, 2002.

Di Rienzo, J. A., Casanoves, F., Balzarini, M.G., Gonzalez, L., Tablada, M., Robledo, C.W. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina, 2011.

Engo, N., Fuxman, A., González, C., Negri, L., Polenta, G., Vaudagna, S. Desarrollo de las exigencias sobre calidad e inocuidad de alimentos en el mundo (2025). Primera edición compendiada, Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva, Buenos Aires, 2015. ISBN 978-987-1632-52-7

Escofier, B., Pages, J. Multiple Factor Analysis. Computational Statistics & Data Analysis, 18: 121-140, 1994.

Fernandez, D. E., Curetti, M., Benítez Piccini, E., Romitelli, M., del Brio, D., Ocampo S., Bramardi, S., Magdalena, C. Yield maps in tree fruit production: Analysis of spatial and temporal variability to establish homogeneous zones. XIII International Pear Symposium, 2018.

Gemtos, T., Fountas, S., Tagarakis, A., Liakos, V. Precision Agriculture Application in Fruit Crops: Experience in Handpicked Fruits. *Procedia Technology*, 8: 324 – 332, 2013.

Gomila, T. Boletines de Madurez Temporada 2017-2018. Área de Pos cosecha de la EEA Alto Valle, 2018.

Kingston, C.M. Maturity indices for apple and pear. *Horticultural Reviews* 13: 407-432, 1992.

Le, S., Josse, J., Husson, F. FactoMineR: An R Package for Multivariate Analysis. *Journal of Statistical Software*, Vol 25 (1): 1-18, 2008.

Ministerio de Agroindustria Secretaría de Agregado de Valor Subsecretaria de Alimentos y Bebidas. Protocolo de Calidad. Versión 5, 2018.

Ministerio de Hacienda y Finanzas Públicas, Presidencia de la Nación. Informes de cadena de valor frutícola, manzana y pera. Año 1, N° 23, 2016.

Peña, Daniel. Análisis de datos multivariantes. 2002.

Perry, E. M., Dezzani, R. J., Seavert, C. F., Pierce, E. F. Spatial variation in tree characteristics and yield in a pear orchard. *Precision Agric* 11: 42–60, 2010.

Qiao, J., Sasao, A., Shibusawa, S., Kondo, N., Morimoto, E. Mapping Yield and Quality using the Mobile Fruit Grading Robot. *Biosystems Engineering*, 90 (2): 135-142, 2005

R Core Team. R: A Language and Environment for Statistical Computing, R Foundation for Statistical Computing, 2018. <http://www.R-project.org/>

Robertson, G. P. GS+ Geostatistics for the environmental sciences. Gamma Design Software, Plainwell, 2008.

SENASA. Reporte comparativo del comercio exterior de productos, subproductos, y derivados de origen vegetal. 2017.