

Universidad Pública de Navarra

Nafarroako Unibertsitate Publikoa

**ESCUELA TECNICA SUPERIOR
DE INGENIEROS AGRONOMOS**

***NEKAZARITZAKO INGENIARIEN
GOI MAILAKO ESKOLA TEKNIKOA***

Control de la madurez en manzana por tecnología NIRS y análisis sensoriales y texturales

presentado por

Carlos Alcalde Lazcano *(e)k*

aurkeztua

**INGENIERO TÉCNICO AGRÍCOLA EN EXPLOTACIONES AGROPECUARIAS
NEKAZARITZAKO INGENIARI TEKNIKOA NEKAZARITZA ETA ABELTZAINZA
USTIAPENAK BEREZITASUNA**

Julio 2012

UNIVERSIDAD PÚBLICA DE NAVARRA
(Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos)
Departamento de proyectos e ingeniería rural

SILVIA ARAZURI GARÍN certifica que el trabajo fin de carrera titulado “Control de la madurez en manzana por tecnología NIRS y análisis sensoriales y texturales” que presenta el alumno Carlos Alcalde Lazcano, ha sido realizado en este departamento bajo mi dirección, autorizando su presentación al efecto de optar al título de ingeniero técnico en Explotaciones Agropecuarias.

Pamplona, 4 de Junio de 2012

Fdo: Silvia Arazuri

Agradecimientos

A toda mi familia, especialmente a mis padres, sin ellos nunca habría llegado hasta aquí.

A Carmen Jarén por haberme conducido en este trabajo y dejarnos a nuestra disposición las instalaciones que nos han facilitado la realización de este.

Especial agradecimiento a Ainara López y Silvia Arazuri, por darme su apoyo y resolverme todas mis dudas.

0. Resumen.....	2
1. Introducción y objetivos.....	4
2. Revisión bibliográfica.....	6
2.1. Evaluación de la calidad de las manzanas a lo largo de su vida útil.....	6
2.1.1. Influencia de factores precosecha en la calidad poscosecha de la fruta.....	6
2.1.1.1. Factores agronómicos.....	6
2.1.1.2. Factores genéticos.....	8
2.1.1.3. Factores fisiológicos.....	9
2.1.2. Recolección.....	9
2.1.3. Influencia de los factores poscosecha en la calidad de frutas y hortalizas.....	10
2.1.3.1. Manejo de la temperatura.....	10
2.1.3.2. Control de la humedad relativa.....	11
2.2. Evaluación de la influencia del estado de madurez en la calidad sensorial de las manzanas.....	12
2.3. Desarrollo a partir de la tecnología NIR de modelos de predicción de la calidad.....	13
2.4. Origen, taxonómico y material vegetal.....	16
2.4.1. Historia.....	16
2.4.2. Origen.....	16
2.4.3. Propiedades nutritivas.....	17
2.5. Descripción botánica del manzano.....	18
2.6. Situación actual de la manzana.....	20
2.6.1. Situación mundial.....	20
2.6.2. Situación en Europa.....	21
2.6.3. Situación en España.....	22
2.6.4. Situación en Navarra.....	23
2.7. Calidad en manzana.....	24
2.7.1. Harinosidad.....	25
2.7.2. Análisis sensorial.....	26

2.7.3. Tecnología NIR.....	27
2.7.3.1. La radiación y el espectro electromagnético.....	27
2.7.3.2. Tipos de análisis.....	28
2.7.3.2.1. Características de la espectroscopía del infrarrojo cercano (NIR).....	28
3. Material y métodos.....	31
3.2. Equipos utilizados y ensayos realizados.....	31
3.2.1. Determinación del peso y tamaño del fruto.....	31
3.2.2. Ensayo de compresión.....	32
3.2.3. Ensayo de penetración.....	32
3.2.4. Índice refractométrico.....	34
3.2.5. Medida del color.....	35
3.2.6. Análisis sensorial.....	36
3.2.7. Durofel.....	36
3.2.8. Medida de la reflectancia NIRS con espectrofotómetro.....	37
3.3. Diseño del experimento.....	39
3.4. Análisis de datos.....	40
4. Resultados y discusión.....	43
4.1. Determinación del estado de madurez de la manzana mediante ensayos de compresión, durofel, penetración y sólidos solubles.....	43
4.1.1. Anova de un factor y comparación de medias.....	43
4.2. Modelos NIR	49
4.2.1. Predicción del contenido en sólidos solubles (^o Brix)	49
4.2.2. Clasificación de las muestras en función de su harinosidad	54
5. Conclusiones.....	57
6. Bibliografía.....	59

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. (a) Sección longitudinal de una flor de manzano, (b) sección longitudinal del fruto.....	19
Figura 2. Producción mundial por continentes en el año 2010.....	20
Figura 3. Rendimientos obtenidos por continentes en kg / ha en el año 2010.....	21
Figura 4. Evolución de la producción total de Europa en el periodo 1996 – 2010.....	22
Figura 5. Producción en España en el periodo 1996 – 2010.....	23
Figura 6. Evolución de la producción de manzano en Navarra en el periodo 1996 – 2010.....	23
Figura 7. Espectro electromagnético.....	27
Figura 8. Calibre.....	31
Figura 9. Balanza.....	32
Figura 10. Texturómetro.....	33
Figura 11. Refractómetro.....	34
Figura 12. Espectrofotómetro CM-2500d de Minolta.....	35
Figura 13. (a) Diagramas de color, (b) luminosidad y contraste.....	36
Figura 14. Durofel.....	37
Figura 15. Espectrofotómetro modelo AOTF-NIR Luminar 5030 de la empresa Brimrose.....	38
Figura 16. Mediciones.....	39
Figura 17. Evolución del contenido de sólidos solubles.....	44
Figura 18. Durofel.....	45
Figura 19. Fuerza máxima de penetración.....	45
Figura 20. Área de penetración.....	46
Figura 21. Pendiente de penetración.....	47
Figura 22. Fuerza máxima de compresión.....	47
Figura 23. Pendiente de compresión.....	48
Figura 24. Área F/D de compresión.....	48
Figura 25. Deformación de la compresión.....	49
Figura 26. Espectros NIR sin pretratamiento. Eje x: longitudes de onda; Eje y: %Reflectancia.....	50
Figura 27. Espectros NIR con pretratamiento MSC. Eje x: longitudes de onda; Eje y: Reflectancia.....	50
Figura 28. Modelo de predicción del contenido en sólidos solubles a partir de los datos NIRS sin pretratamiento (%R).....	52

Figura 29. Modelo de predicción del contenido en sólidos solubles a partir de los datos NIRS con pretratamiento MSC..... 53

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Índices de madurez (Reid, 2007).....	9
Tabla 2. Condiciones de conservación para la manzana.....	11
Tabla 3. Matriz de clasificación en 3 categorías para FmaxMT.....	13
Tabla 4. Resultados de clasificación en harinosas y no harinosas.....	14
Tabla 5. Composición química de la manzana.....	16
Tabla 6. Longitud de onda característica de los diferentes grupos funcionales de los constituyentes de los productos agrícolas	29
Tabla 7. ANOVA y comparación de medias.....	43
Tabla 8. Características de la variable °Brix en el grupo de calibración.....	51
Tabla 9. Resultados obtenidos con la variable °Brix.....	51
Tabla 10. Características de la variable °Brix en el grupo de validación.....	53
Tabla 11. Resultado de la validación independiente.....	54
Tabla 12. Resultados de la clasificación con tres categorías de Harinosidad.....	55
Tabla 13. Resultados de la clasificación con dos categorías de Harinosidad.....	55

El manzano (*Pyrus malus* L.) es una de las especies de fruta dulce de mayor difusión a escala mundial, debido fundamentalmente a su facilidad de adaptación a diferentes climas y suelos; su valor alimenticio y terapéutico y a la calidad y diversidad de productos que se obtienen en la industria transformadora.

La calidad sensorial de sus frutos es un atributo que cobra cada vez más importancia entre los consumidores. Demandan un fruto de apariencia impecable, que sea inocuo, nutritivo y con la textura y sabor típico del cultivar. Debido a que las evaluaciones sensoriales son difíciles de realizar rutinariamente debido a su coste y su poca representatividad, es importante poder predecir la aceptabilidad de la fruta mediante mediciones más sencillas. Están las analíticas de laboratorio que también son costosas además de destructivas, por ello en este ensayo trabajaremos con la tecnología NIRS (Near Infrared Reflectance Spectroscopy), una herramienta de análisis sencilla, rápida no destructiva y eficaz.

Con los instrumentos basados en la tecnología NIRS podremos medir *a priori* muchos parámetros a la vez de la misma muestra de forma rápida y sin alterarlos. La región espectral del infrarrojo cercano (NIR) comprende el intervalo desde el extremo de las longitudes de onda en torno a 780 nm, hasta los 2500 nm. Este proyecto está orientado a la determinación y cuantificación de compuestos orgánicos, por eso irradiaremos nuestra muestra, en este caso manzanas de la variedad *Royal Gala* con un haz de luz en dicho rango de longitudes de onda para que haga vibrar los enlaces de las partículas presentes en la muestra emitiendo un espectro de reflectancia para determinar su composición. Dependiendo de sus enlaces (O-H, N-H, C-H...) la muestra absorberá una determinada cantidad de energía, emitiendo el resto.

Introducción y objetivos

En el siguiente proyecto fin de carrera se pretende crear un modelo de calibración para el basado en la información espectral en el rango NIR (infrarrojo cercano) del espectro, con el objetivo de predecir el contenido en sólidos solubles de la manzana, así como realizar un análisis cualitativo que permita clasificar las frutas en función del parámetro sensorial: harinosidad. Todo ello para la variedad Royal Gala.

Para conseguir dicho objetivo, se van a desarrollar las siguientes tareas:

- Obtener dos espectros NIR de cada manzana analizada.
- Obtener los datos reales de calidad, sólidos solubles, firmeza, color, peso y calibre de cada manzana analizada.
- Obtener un método estadístico que relacione los datos medidos de forma tradicional con los espectros obtenidos con la técnica NIR.
- Calcular un modelo estadístico que sea capaz de predecir los valores de los distintos parámetros de calidad de fruto.
- Evaluar los resultados obtenidos para cada parámetro medido.

Revisión bibliográfica

2.1. Evaluar la calidad de las manzanas a lo largo de su vida útil

2.1.1. Influencia de los factores precosecha en la calidad poscosecha de las frutas

La preservación de la calidad de frutas se inicia en la precosecha, desde la selección de semillas, pasando por las labores culturales y de riego para finalmente llegar con éxito a la etapa de recolección. A pesar de esta afirmación, es poca la investigación que se ha realizado sobre la influencia de los factores precosecha en la calidad postcosecha de las distintas frutas (Crisosto y Mitchell, 2007).

Los factores precosecha que influyen sobre la calidad son muy diversos y están interrelacionados entre sí. Unos dependen intrínsecamente de la propia planta (la integración del flujo de energía, agua y nutrientes) y otros son de tipo genético, ambiental, agronómicos y fisiológicos.

2.1.1.1. Factores agronómicos

El estado nutricional es un factor importante para la calidad en el momento de la cosecha, así como en la vida postcosecha de frutas (Crisosto y Mitchell, 2007). El equilibrio entre uno o más nutrientes afecta al crecimiento y estado fisiológico del fruto pudiendo originar desordenes fisiológicos, tanto por deficiencia como por una dosis excesiva (Soares-Gomes *et al.*, 2005). Esto ocurre con nutrientes como el nitrógeno y calcio, al participar éstos de forma activa en numerosos procesos metabólicos (Romojaro *et al.*, 2006).

El nitrógeno es el elemento que mayor efecto tiene en la calidad de frutas y hortalizas (Crisosto y Mitchell, 2007). La aplicación de este nutriente varía ampliamente entre productores y depende generalmente de la historia del cultivo, el tipo de suelo y de los resultados del análisis del mismo.

El contenido de nitrógeno está directamente relacionado con la síntesis de proteínas y carotenoides. En general, se considera que un contenido excesivo de nitrógeno se traduce en una mayor producción foliar a costa de una menor calidad del fruto; asimismo, su deficiencia es también adversa, provocando frutas con menor tamaño, sabor pobre, árboles con bajo rendimiento y en postcosecha la pérdida de agua durante el almacenamiento (Crisosto y Mitchell, 2007).

El segundo nutriente que podemos encontrar en relación al momento de la recolección y durante la conservación postcosecha es el calcio (Ca). Está relacionado con la calidad de postcosecha de las manzanas (Poovaiah et al., 1988). El desequilibrio de calcio es responsable de un elevado número de alteraciones fisiológicas o fisiopatías que se pueden manifestar durante el crecimiento del fruto en la planta o posteriormente en la posrecolección.

Todas estas alteraciones tienen una repercusión económica importante, ya que las producciones afectadas no son comercializables. La principal fisiopatía que produce la deficiencia de calcio es el picado amargo (bitter pit).

Otro factor que condiciona la calidad en el momento de la recolección y durante la conservación poscosecha es el contenido y momento de aplicación del agua de riego.

La importancia de la disponibilidad de agua y de la humedad relativa ambiental está condicionada por los gradientes de potencial hídrico entre el tejido vegetal y el aire, ya que cuando la planta pierde agua se produce un flujo de la misma hacia las hojas, disminuyendo el aporte hídrico y de nutrientes al fruto. Cuando el riego se realiza en fechas próximas a la recolección se observa un aumento de tamaño y dilución de los componentes celulares, con la consiguiente pérdida de calidad sensorial, rajado y agrietado de los frutos (Romojaro *et al.*, 2006).

Otras prácticas a tener en consideración en la calidad precosecha son la poda y aclareo, las cuales han sido relacionadas con el tamaño de los frutos, observándose que el aumento de la relación “hoja/fruto” induce un aumento de aromas en manzana, además de mejorar el color de las mismas y disminuir la pudrición, sin influir negativamente en el rendimiento del árbol (Tahir *et al.*, 2007). Sin embargo, hay que considerar que aunque el aclareo aumenta el tamaño de los

frutos, a la vez reduce el rendimiento total, por lo que debe procurarse un equilibrio entre el rendimiento y el tamaño de la fruta (Crisosto y Mitchell, 2007). Es importante considerar que, generalmente, los máximos beneficios no se obtienen con la máxima producción comerciable, ya que es la fruta de mayor tamaño la que alcanza mayor precio en el mercado.

La posición de la fruta y la eliminación de hojas son factores que también tienen incidencia en la calidad de la fruta. El contenido de sólidos solubles, acidez y tamaño difiere entre frutas ubicadas en la parte exterior y aquellas que se encuentran en la parte interior del árbol.

2.1.1.2. Factores genéticos

Los factores genéticos tienen gran influencia en la calidad sensorial, rendimiento, composición nutricional y vida poscosecha de las frutas y hortalizas (Crisosto y Mitchell, 2007). Ello provoca la existencia de muchos programas de mejora genética de frutas a nivel mundial, sobre todo, los orientados a reducir la incidencia y severidad del deterioro causado por plagas y condiciones ambientales adversas.

El comportamiento durante el periodo precosecha de las frutas en un medio extremo depende del genoma de la planta (Romojaro *et al.*, 2006). La variabilidad genética de una variedad, dentro de una misma especie, es relativamente amplia, por lo que la selección de la más apropiada es de vital importancia para la calidad del producto final. Además, es importante considerar que inicialmente el genoma va a determinar cuantitativa y cualitativamente no sólo los parámetros responsables de la calidad organoléptica y nutricional, sino también otros que repercuten sobre la aptitud de la fruta a evolucionar tras la recolección y su capacidad de conservación (Romojaro *et al.*, 2006).

2.1.1.3. Factores fisiológicos

El estado de madurez en la recolección tiene un papel esencial en la composición química del fruto y la calidad poscosecha (Kader, 2007a). Durante la maduración se producen cambios bioquímicos y estructurales que originan cambios en los constituyentes, alcanzando el fruto las óptimas características sensoriales para el consumo. Sin embargo, y debido al manejo poscosecha, generalmente se recogen en su madurez fisiológica y no en su madurez de consumo (Kader, 2007a).

A pesar de que se han intentado establecer parámetros que permitan seguir la evolución de la maduración en la mayoría de los frutos, no se han podido establecer “índices de madurez” que permitan determinar el momento de recolección, pero hay algunos que la intentan estimar (Tabla 1).

Tabla 1. Índices de madurez (Reid, 2007).

Índices de madurez
-Concentración interna de etileno
-Contenido de azúcar
-Contenido de almidón
-Desarrollo de la capa de abscisión
-Días transcurridos de floración a cosecha
-Firmeza
-Unidades de calor promedio durante el desarrollo

2.1.2. Recolección

La recolección es la etapa donde se recogen los productos del campo en la madurez adecuada con el mínimo de daño y pérdidas, tan rápidamente como sea posible y a un mínimo coste (Thompson, 2007a); mientras más tiempo transcurra entre la cosecha y el consumo, mayor será la pérdida de las características organolépticas de los productos hortofrutícolas (Kader, 2008). La cosecha se puede realizar de forma mecánica o manual. En la actualidad, como en el pasado, y

para la mayoría de las frutas, estos objetivos se continúan alcanzando mejor con la recolección manual.

A pesar de numerosas investigaciones y desarrollo de equipos mecánicos de recolección, las ventajas de la recolección manual siguen prevaleciendo sobre la mecánica (Thompson, 2007a). La ventaja más importante es que se puede seleccionar con mayor precisión la madurez de la fruta; esto es particularmente importante para aquellos cultivos que presentan un amplio rango de grados de madurez (asincrónicos) y requieren cosecharse varias veces durante la estación.

2.1.3 Influencia de los factores pos cosecha en la calidad de frutas y hortalizas

Las pérdidas en calidad y cantidad entre la cosecha y el consumo pueden oscilar entre el 5 y el 25% en países desarrollados, y entre el 20 y el 50% en países en desarrollo, dependiendo del producto, la variedad y las condiciones de manejo (Kader, 2007a). Para reducir estas pérdidas, se debe tener en cuenta que los factores biológicos y ambientales unidos a las desigualdades morfológicas (raíces, tallos, hojas, frutos, etc.) son los responsables de la senescencia de los productos hortofrutícolas en postcosecha. En los últimos años se han planteado diferentes mecanismos y estrategias destinados a preservar la calidad poscosecha de frutas y hortalizas. Entre ellos el manejo de la temperatura y humedad relativa han sido los más frecuentemente utilizados y con los que se han obtenido mejores resultados.

2.1.3.1. Manejo de la temperatura

Numerosos estudios han demostrado la influencia del manejo de la temperatura en la calidad de las frutas (Mitchell y Kader, 1989; Sommer, 1989; Kader, 1992, 2007a; Mitchell, 1992).

La temperatura del aire es la variable más importante en el manejo poscosecha debido a que tiende a controlar la temperatura de los productos perecederos. Todos los productos perecederos tienen un intervalo óptimo de temperatura de almacenamiento.

Por encima de la temperatura óptima, éstos respiran a tasas altas y son más susceptibles a daños por etileno y enfermedades. De hecho, las frutas respiran a tasas del doble, triple y hasta del cuádruple, por cada 10°C de incremento de temperatura. Temperaturas por debajo del óptimo

originan daños por frío o congelación. Un estricto control de temperatura es vital para alcanzar la máxima vida útil de las frutas (Thompson, 2007b).

El enfriamiento rápido a bajas temperaturas, inmediatamente después de la cosecha protege la salud fisiológica de los frutos con la ralentización de la expansión y crecimiento de pudriciones fúngicas.

2.1.3.2. Control de la humedad relativa

La humedad relativa (HR) es un término comúnmente utilizado para describir la humedad del aire. La influencia que ejerce en la conservación de la calidad de las frutas y hortalizas está relacionada con la capacidad de comportarse como un indicador de la deshidratación potencial de dichos productos (Thompson, 2007b).

El manejo de la humedad relativa puede incidir positiva o negativamente en la calidad de las frutas. El aumento de la misma durante el almacenamiento a bajas temperaturas tiene como principal beneficio mantener el equilibrio de humedad entre la fruta y el ambiente y reducir su transpiración (Dash *et al.*, 2006).

La pérdida de agua o transpiración es un importante proceso fisiológico que afecta a las principales características de calidad de las frutas (peso, apariencia y textura), originando el arrugamiento superficial, la flacidez y la disminución del brillo.

Los valores recomendados de temperatura y humedad relativa para la manzana los tenemos en la tabla 2.

Tabla 2. Condiciones de conservación para la manzana

Producto	Temperatura de almacenamiento(°C)	Humedad relativa (%)	Vida útil (días)
Manzana	-0,5	90-95	30-365(90-240)

Fuente: Snowdon (1990, 1992).

2.2. Evaluar la influencia del estado de madurez en la calidad sensorial de las manzanas

La calidad sensorial de los frutos es una característica cada vez más importante. Los consumidores demandan frutos con muy buena apariencia, además de cualidades nutritivas óptimas, textura y sabores típicos del cultivar.

Las evaluaciones sensoriales o catas son difíciles de realizar rutinariamente, por ello es importante utilizar otras técnicas menos costosas que nos indiquen la aceptabilidad del fruto. Textura y sabor son características esenciales que influyen en la aceptabilidad de manzanas. Se puede predecir mediante la determinación de sólidos solubles y firmeza entre otros.

En general atributos texturales como la crujientez, la dureza y la jugosidad son considerados deseables mientras que la harinosidad es indeseable. Estos criterios sensoriales están correlacionados con medidas instrumentales de firmeza y por ello la industria ha adoptado la regulación de la calidad en base a valores tomados con el penetrómetro, para aceptar o rechazar la fruta entregada por los productores así como para determinar los regímenes apropiados de conservación.

En las manzanas, los atributos sensoriales de sabor ácido y dulce juegan un importante papel en la preferencia del consumidor. Estudios referidos a la calidad de frutos, han encontrado buenas correlaciones entre los niveles de °brix y/o °brix/acidez y la aceptación por parte del consumidor.

2.3. Desarrollar a partir de la tecnología NIR modelos de predicción de parámetros textura y de análisis sensorial en manzanas royal gala.

Se han realizado anteriormente muchos ensayos para la predicción de diferentes parámetros de la manzana mediante la espectropía NIR:

En cuanto a la firmeza, Valero (2001) consiguió clasificar las manzanas según la fuerza máxima Magness – Taylor.

Con 150 muestras, estableció 3 grupos según su fuerza máxima. Los intervalos de cada grupo fueron los siguientes: primer grupo <17,5N, 17,5N<segundo grupo <29,5N, 41,2N<tercer grupo. Consiguió agrupar las manzanas del grupo de menos firmeza correctamente en casi un 90% (tabla 3). Las del grupo intermedio al tener un intervalo más grande fueron más difíciles de clasificar.

Tabla 3. Matriz de clasificación en 3 categorías para FmaxMT

Manzana FIRMEZA	Bien clasificado	Grupo 1 p=0,30667	Grupo 2 p=0,30000	Grupo 3 p=0,39333	Media FMAXMT por cluster (N)
Cluster 1	89.1%	41	3	2	17.5
Cluster 2	57.7%	5	26	14	29.1
Cluster 3	76.2%	6	8	45	41.2
Total	74.6%	52	37	61	n=150

Fuente: Valero (2001)

También este mismo autor clasificó las manzanas según su harinosidad en otro ensayo. Esta vez estableció 2 grupos, harinosas y no harinosas. Obtuvo unos porcentajes de clasificación elevados para ambos grupos. (Tabla 4)

Tabla 4. Resultados de clasificación en harinosas y no harinosas.

Manzana MEALY2	Bien clasificadas	no harinosas $p=0,68000$	harinosas $p=0,32000$	
no harinosas	91.80%	56	5	
harinosas	72.41%	8	21	
Total	85.56%	64	26	n=450

Fuente: Valero (2001)

En la mayoría de los resultados de estos y otros trabajos en la bibliografía se observa que los modelos no son validados realmente (Valero, 2001), realizando nuevas tomas de datos posteriores a su creación con otros individuos diferentes. Las validaciones internas que se realizan en muchos casos son sólo internas (cross- validations) y los resultados hacen que los modelos carezcan de la robustez necesaria para ser usados en condiciones diferentes a las que los originaron.

2.4. Origen, taxonómico y material vegetal.

2.4.1. Historia

Muchos estudiosos sitúan el origen de la manzana en la época prehistórica y posiblemente, su origen sea anterior a la aparición de la civilización. Se han encontrado restos que se han datado de la Edad de Piedra (8000 y 2500 antes de Cristo).

En la antigüedad no se conocían las sustancias que componen la manzana y por tanto sus propiedades nutricionales. Su cultivo ya se llevaba a la práctica en el siglo XII antes de Cristo, en las cercanías del río Nilo.

2.4.2. Origen

El origen del manzano cultivado, *Malus x domestica* Borkh., es incierto. Se sabe que procede de *M. pumila* Mill, una especie de frutos pequeños que se encuentra en su forma natural en el este de Europa y oeste de Asia, puede haberse originado más directamente de *M. sieversii*, otra especie de zonas montañosas de Asia central. Formas silvestres de *M. sieversii* presentan muchos de los factores de tamaño, color, fragancia y sabor que se encuentran en diferentes cultivares del manzano cultivado.

Las primeras plantaciones comerciales en España, aparecen a principios del siglo XX, en los valles de los ríos Jalón y Jiloca en la provincia de Zaragoza. En la década de los 60 tiene un gran auge con plantaciones en Cataluña y Aragón para fruta de mesa, y también en Asturias para sidra, aunque en esta región el cultivo de este fruto es mucho anterior al del resto de España por la tradición de esta bebida en la zona.

Pertenece a la familia de las *Rosáceas*, subfamilia *Pomoideas*, y al género *Malus*. Este género comprende principalmente 25 especies de pequeños árboles y arbustos caducifolios, nativos de las zonas templadas del Hemisferio Norte. Las variedades de manzanos cultivadas para la comercialización, pertenecen a la especie *Malus x domestica* Borkh. Las variedades de manzano aparecen en dos grupos cromosómicos: diploides ($2n = 34$ cromosomas) y triploides ($3n = 54$ cromosomas) (Westwood, 1982).

2.4.3. Propiedades nutritivas

Nutricionalmente hablando, la manzana es una de las frutas más completas y enriquecedoras en la dieta y consumirla habitualmente conlleva beneficios para la salud. Se compone de un 84% de agua, por lo que resulta muy hidratante. El 14% está constituido por glúcidos, la parte mayoritaria fructosa y el resto glucosa y sacarosa. Estos son los nutrientes más abundantes después del agua.

Contiene una pequeña cantidad de vitamina E, que es un gran antioxidante e interviene en la estabilidad de las células sanguíneas, otras vitaminas que aporta en pequeña cantidad son la A y C. Es rica en fibra y una buena fuente de potasio, necesario para la transmisión, generación del impulso nervioso y para la actividad muscular normal.

Las propiedades dietéticas que se le atribuyen a la manzana se deben en gran medida a los elementos fotoquímicos que contiene y se encuentran en la piel, entre ellos flavonoides, que como la vitamina E también tiene propiedades antioxidantes. (Ronald, 1998).

Tabla 5. Composición química de la manzana. (Ronald, 1998).

composición	contenido
Agua	84 g
Glúcidos	15 g
Proteínas	0,19 g
Fibras	2,7 g
Lípidos	0,4g
Potasio	115mg
Calcio	7mg
Fósforo	7mg
Magnesio	5mg
Azufre	5mg
Hierro	0,18mg
Vitamina B3	0,17mg
Vitamina E	0,4 mg

2.5. Descripción botánica del manzano.

El manzano es un árbol caducifolio. Su porte es erguido y extendido, tendiendo a inclinarse con el paso de los años. La corteza del tronco es agrietada, de color marrón grisáceo y con numerosas lenticelas que se vuelven de color rojizo en la madera vieja.

Las hojas son alternas, simples, enteras, de forma oval y borde dentado, siendo lampiñas y de un color verde intenso por el haz y pubescentes y de color más claro por el envés.

La inflorescencia es un corimbo que tiene entre ocho y once flores (Figura 1a), hermafroditas, en el que las centrales se abren antes, siendo a priori, consideradas de mejor calidad y pueden verse desde finales de marzo hasta primeros de mayo, dependiendo de las variedades. La flor consta de un pedicelo, un cáliz persistente con cinco sépalos velludos y blanquecinos, que componen la base del fruto, una corola caduca de cinco pétalos blancos en el interior y rosados por fuera, y 15 – 20 estambres compuestos por filamentos amarillos que están coronados por una antera; el gineceo está compuesto por cinco estilos que están soldados en su base. El ovario que es ínfero, posee cinco lóculos, cada uno de los cuales alberga uno o dos óvulos, por lo que el fruto puede tener hasta diez semillas.

Generalmente el manzano es autoestéril y por ello necesita una polinización cruzada con otras variedades polinizadoras compatibles y la ayuda de las abejas.

El fruto (Figura 1b) es un pomo que contiene dos cavidades, la calicina correspondiente al cáliz de la flor y la peduncular donde se inserta el pecíolo que lo une al brote. Su fecha de recolección, en el hemisferio norte, va desde la mitad del verano hasta principios de otoño, según variedades. El fruto está compuesto por el epicarpio, que puede variar desde el verde hasta el rojo oscuro casi parduzco; el mesocarpio o pulpa, de consistencia y cualidades organolépticas variables (desde ácido hasta muy dulce); y el endocarpio, con cinco cavidades cartilaginosas que contienen de 1-2 semillas cada una, ya que cada lóculo del ovario contiene 2 óvulos. El pedúnculo del fruto es de longitud variable, adherente y a menudo está inserto en una depresión (Coutanceau, 1971).

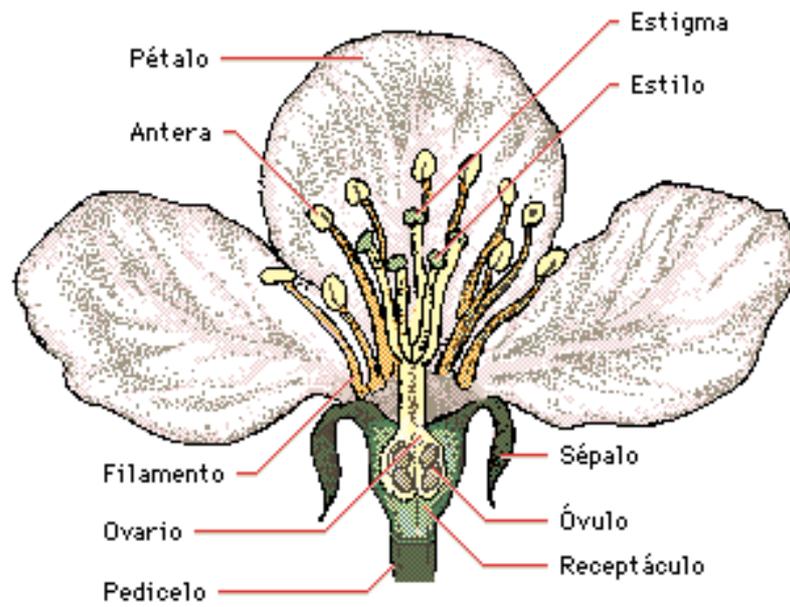


Figura 1.- (a) Sección longitudinal de una flor de manzano, (b) sección longitudinal del fruto

2.6. Situación actual de la manzana

2.6.1. Situación mundial

El manzano es uno de los cultivos de mayor difusión a escala mundial (90% en el Hemisferio Norte y el 10% en el Hemisferio Sur); esto se debe fundamentalmente a su facilidad de adaptación a diferentes climas y suelos, especialmente a los de las zonas más templadas, aunque, su resistencia a bajas temperaturas hace posible su cultivo en países de clima relativamente frío. Así, fuera de España, otros países productores de manzana son: China, Estados Unidos, Alemania, Italia, Polonia, Francia, Irán, Rusia, India, Brasil, Bélgica, Países bajos y Austria.

Los datos sobre la evolución del consumo agroalimentario en general, y de manzanas en particular, muestran un constante crecimiento en la década de los 90, prediciendo un aumento continuado en un futuro inmediato. En general, el consumo mundial de manzanas, entre 1990 y el 2000 pasó de 5.7 a 7.8 Kilos por habitante (Giacinti, 2002).

El consumo mundial de manzanas en fresco fue de 47.2 millones de toneladas (94.3% del consumo mundial), entre 1998 y 2000, y la producción mundial, en el año 2000 fue de 58.4 millones de toneladas durante el año, lo que supone un aumento en la producción. Así mismo, en el año 2010 se ha registrado otro aumento, con 69,5 millones de toneladas/año (FAO, 2012).

Por lo que se puede decir, que la producción mundial de manzana se ha incrementado en los últimos 10 años un 9% respecto a 2001, mientras que la superficie mundial dedicada a este cultivo en el mismo periodo de tiempo ha sufrido una reducción del 25%. Estos datos que parecen contradictorios, se pueden justificar teniendo en cuenta la productividad de los cultivos; ya que las explotaciones tienen mejores rendimientos por hectárea, lo que nos indica que es un cultivo en auge y en constante evolución (FAO, 2012).

Por otro lado, señalar que en todo el mundo existen más de mil variedades de manzanas, aunque la gama que nos ofrece el mercado es limitada, ya que tan sólo podemos elegir entre poco más de media docena de cultivares.

Asia es el continente donde mayores producciones se obtienen, así mismo es el continente en el que más hectáreas están dedicadas a este cultivo (figura 2). Por detrás de Asia se encuentra Europa en cuanto a producción y superficie y en último lugar está Oceanía.

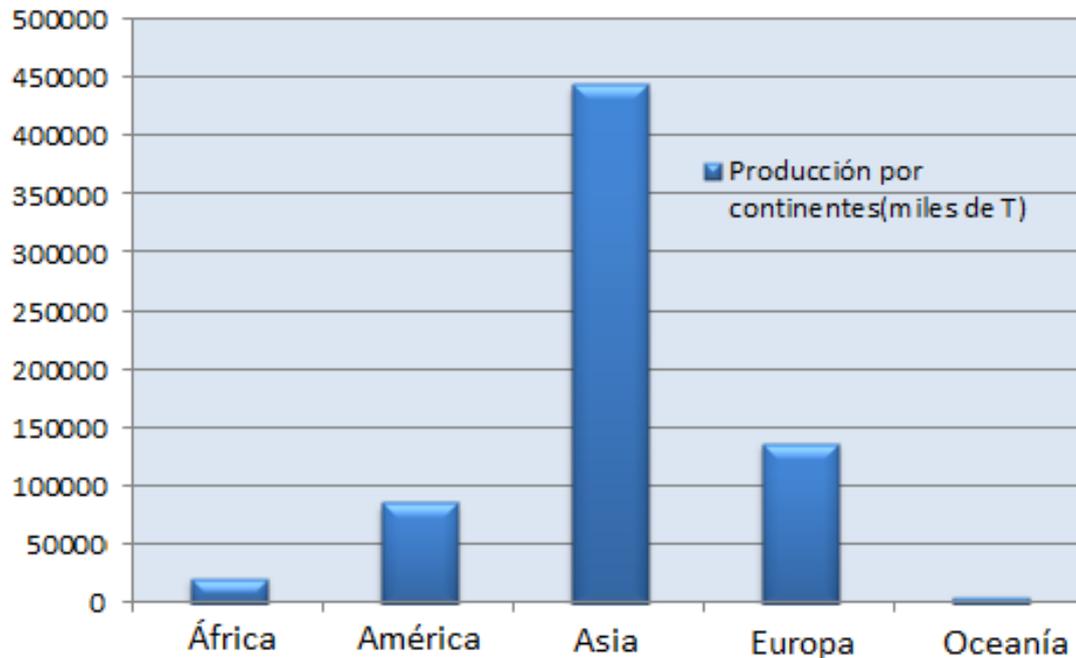


Figura 2. Producción mundial por continentes en el año 2010. (FAO, 2012).

Podemos observar entonces, que los resultados de producción no guardan correlación con los de rendimiento, excepto en el continente asiático, que se encuentra a la cabeza en ambos aspectos. Europa sin embargo, es el segundo continente donde más producciones se obtienen, pero éste es el que menos rendimiento obtiene. Al contrario por ejemplo, que África y Oceanía obteniendo unas cifras muy bajas en lo que a producción de cultivos se refiere; sin embargo, haciendo referencia al rendimiento ocupan el tercer y segundo lugar respectivamente. Como se puede observar en la figura 3.

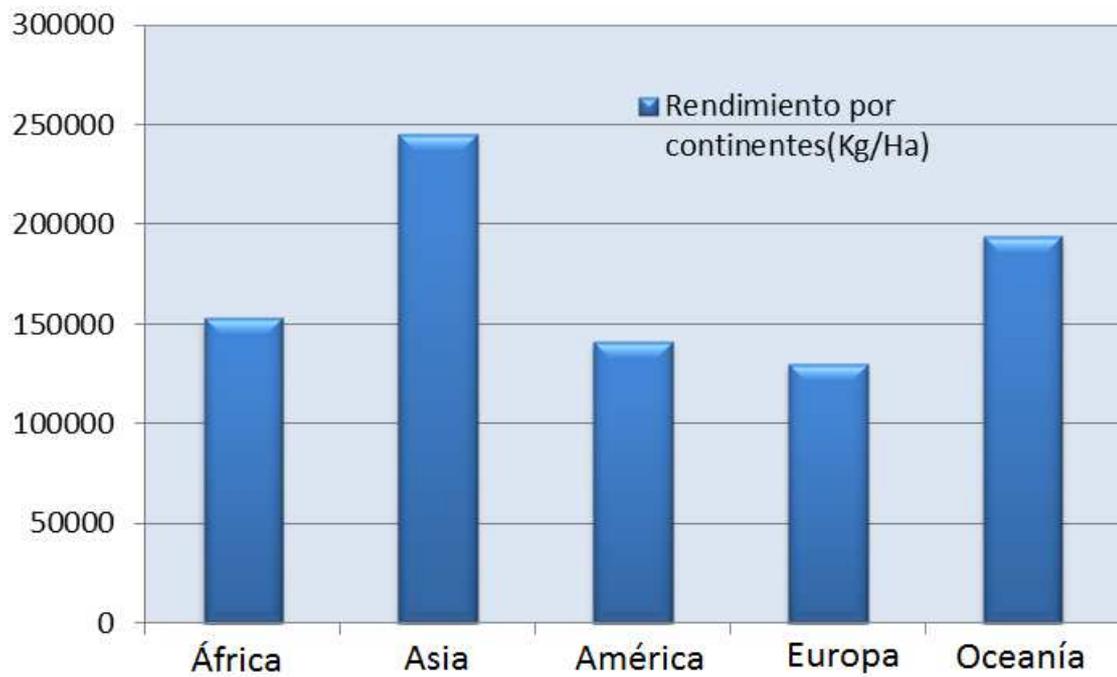


Figura 3. Rendimientos obtenidos por continentes en kg / ha en el año 2010 (FAO, 2012).

2.6.2. Situación en Europa

Las mayores producciones en Europa en el año 2010 las obtiene Polonia que se encuentra en segundo lugar en cuanto a superficie. España ocupa el sexto lugar en lo que a producciones se refiere, mientras que respecto a superficie se encuentra en noveno lugar. Esto nos indica que los rendimientos por hectárea son mayores que los de otros países de la Comunidad Europea como por ejemplo, los de la Federación de Rusia. La producción total de Europa ha bajado durante la última quincena en 20 millones de toneladas, como podemos ver en la figura 4.

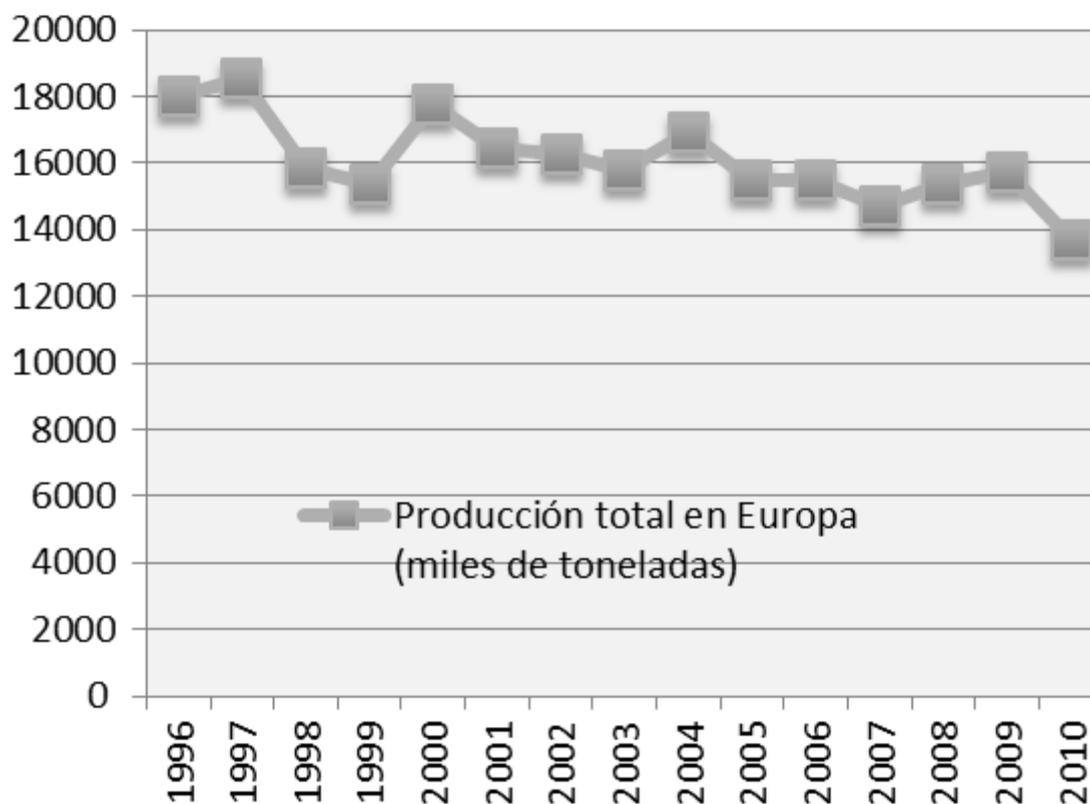


Figura 4. Evolución de la producción total de Europa en el periodo 1996 – 2010 (FAO, 2012).

2.6.3. Situación en España.

La producción de manzano en España durante el año 2010 ha sido tasada en 596.000 toneladas, ésta es la tercera parte de su máxima producción en la última década (año 1999 con 988.400 toneladas). Por lo que se puede decir, que la evolución de la producción de manzana en España desde el año 1996 hasta el 2010, (figura 5) muestra una disminución importante.



Figura 5. Producción en España en el periodo 1996 – 2010 (FAO, 2012).

2.6.4. Situación en Navarra

La producción a lo largo de los últimos 15 años ha sufrido altibajos en esta comunidad. Se puede observar un pico de producción en el año 1991. Desde ese año la producción ha bajado de forma gradual hasta que en 2004 volvió a subir hasta las 20.000 toneladas (figura 6). En dicha figura se puede apreciar del mismo modo que en los últimos años, la producción va aumentando ligeramente.

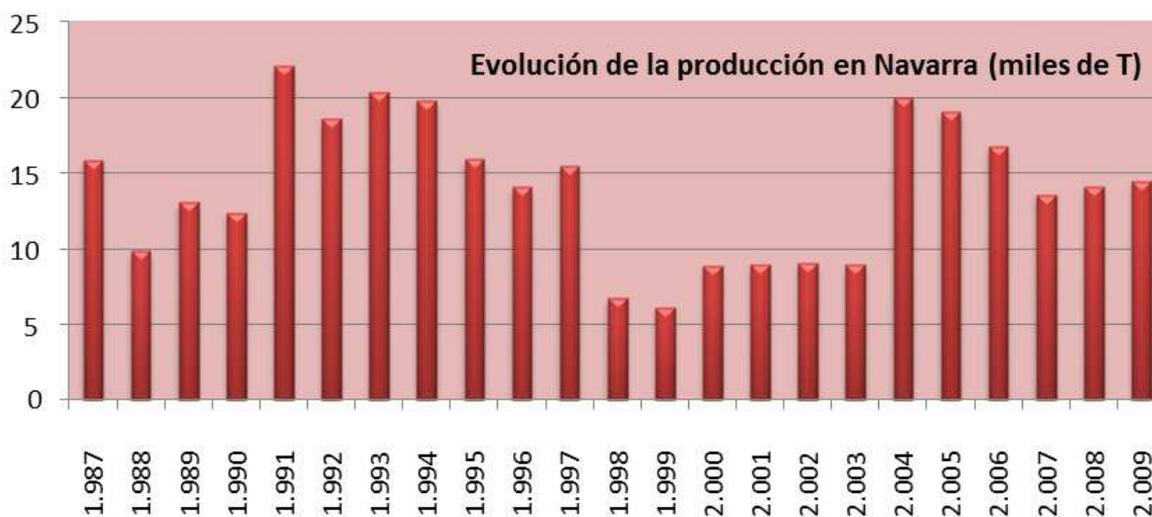


Figura 6. Evolución de la producción de manzano en Navarra en el periodo 1996 – 2010 (Instituto de estadística de Navarra, 2012).

2.7. Calidad en manzana

El significado de calidad es “grado de excelencia o superioridad” para un uso particular. Con esta definición se puede decir que un producto tiene calidad cuando cumple los valores mínimos establecidos, o es superior en uno o varios atributos que son valorados objetiva o subjetivamente. La percepción de calidad en la industria de frutas y hortalizas ha estado relacionada durante muchos años a atributos externos como color y apariencia, dejando de lado a otros atributos muy importantes como la percepción del sabor, textura, color y defectos internos a ser evaluados durante el consumo.

La determinación de la calidad en frutas ha ido evolucionando según las exigencias del mercado; las mediciones instrumentales se han preferido sobre las evaluaciones sensoriales tanto por los investigadores como por la propia industria, ya que dichas mediciones reducen la variabilidad entre los individuos, son más precisas y pueden proporcionar un lenguaje común entre los investigadores, la industria y los consumidores.

El tamaño, color y forma apropiados son otros de los criterios de calidad más importantes. Un color y olor característico es deseable pues indica madurez y refleja calidad de consumo. Generalmente, a los productos de mayor tamaño se les asigna el precio máximo. Las cicatrices, rasguños y otras marcas disminuyen la preferencia del consumidor en términos de calidad (Bruhn, 2007).

La textura y el sabor son también factores de calidad de los productos hortofrutícolas. La firmeza está relacionada con la resistencia al estrés mecánico durante el transporte. Evaluar la calidad de sabor implica la percepción de gustos y aromas de muchos compuestos. La determinación analítica objetiva de componentes del sabor debe estar unida a las evaluaciones subjetivas o análisis sensoriales para proporcionar información significativa acerca de la calidad de sabor (Kader, 2007c). Hay que tener muy en cuenta la harinosidad, ya que es un atributo de textura negativo por los consumidores, las manzanas harinosas apenas tienen jugosidad siendo su consistencia “arenosa”, este atributo es detectado al masticar la manzana, esta característica será descrita más detalladamente en el punto 2.4.1.

La evaluación de la calidad de las manzanas se ha venido haciendo de forma tradicional por medio del control de una serie de parámetros (contenido en sólidos solubles, firmeza...) que implican la destrucción de los frutos. El control de algunos de estos parámetros requiere una serie de materiales e instalaciones por lo que estos controles no se pueden hacer en campo. Hay también una serie de parámetros como calibre o peso, forma y color que no requieren la destrucción del fruto y son los que determinan la clasificación del fruto en cada una de las categorías.

La tendencia en el control de la calidad es a buscar métodos mecanizados que sean capaces de evaluar la calidad y clasificar cada uno de los frutos según su categoría. Así, ya hay líneas de control de maduración según el color de los frutos haciendo que estos pasen por una cadena con un colorímetro que indica si la coloración es adecuada o no. Para otros parámetros como el contenido de sólidos solubles, no existe la posibilidad de control en cadena por métodos tradicionales, ya que implica la destrucción del fruto.

La técnica basada en la espectrometría del infrarrojo cercano (Near InfraRed Spectroscopy, NIRS) que será descrita en el apartado 2.4.3 ,se puede aplicar para la determinación de algunos parámetros de calidad permitiendo clasificar los frutos en función, de la cantidad de sólidos solubles que poseen y su grado de harinosidad.

2.7.1. Harinosidad

Es definida por Ahrens y Huber (1987) como una apariencia seca, basta y granular del corte de la superficie del pericarpo. Estos frutos tienen poco sabor y jugosidad, además de escasa consistencia, en cambio su pastosidad es alta. Aparte de su aparición en manzana también lo detectamos en otras frutas como la pera, sandía, nectarina, melocotón....

La harinosidad se desarrolla individualmente en cada fruto y no se pueden caracterizar como harinosos los lotes de frutas (Arana, 2001).

Su aparición está relacionada al almacenamiento frigorífico y como consecuencia del frío, se produce la hinchazón de las paredes celulares y láminas medias que captan agua procedente de

las membranas (Jackman y Stanley, 1995). Se puede inducir la harinosidad en las manzanas durante su conservación frigorífica. De este modo, durante el otoño de 1999, colaboradores de la UPM en la Universidad Católica de Lovaina (Bélgica) prepararon dos grupos de muestras de la variedad Cox, ambas de cosecha temprana y almacenadas hasta noviembre en condiciones específicas: 20 de ellas se introdujeron en una cámara ULO (ultra low oxygen) para preservar su frescura y detener la maduración; otras 20 fueron mantenidas durante 16 días en una atmósfera con un 95% de humedad relativa y 20°C, condiciones que favorecen el desarrollo de la harinosidad en la manzana.

Esta negativa cualidad también está relacionada con otros atributos de textura, como la jugosidad, la fracturabilidad, dureza, adhesividad y cohesividad, aunque estas relaciones no se conocen. Pero se ha demostrado (Paoletti *et al.*, 1993) que hay una correlación negativa entre la harinosidad, medida por métodos sensoriales, y la jugosidad, medida en ensayos mecánicos sobre probetas.

2.7.2. Análisis sensorial

Al hablar de textura hay 3 niveles de percepción sensorial, resultado de la combinación de diferentes propiedades físicas. El proceso de percepción de la textura se realiza a tres niveles: visual, táctil (antes de introducirlo en la boca y dentro de la boca) y auditivo (BLawless y Heymann, 1998).

Es posible clasificar los frutos en aptos o desechables para el consumo según su grado de harinosidad mediante análisis sensorial. La magnitud del desarrollo de estas fisiopatías puede ser medida mediante un equipo de catadores debidamente entrenados, y se puede establecer un criterio razonable de forma que a partir de un valor límite de harinosidad, se pueda considerar el fruto como no comercializable en el mercado (Arana, 2001).

Paoletti *et al.*, (1993) comparó los resultados de técnicas instrumentales y sensoriales de detección de atributos sensoriales en muestras de diversas variedades de manzana, entre ellos la harinosidad. Aunque los resultados obtenidos no fueron muy significativos, concluyeron que la

harinosidad fue más fácil de determinar que la cohesividad por el panel de jueces y que existía correlación entre la harinosidad y la cohesividad y jugosidad.

2.7.3. Tecnología NIR

2.7.3.1. La radiación y el espectro electromagnético.

La radiación electromagnética es una clase de energía que se transmite por el espacio a enormes velocidades. Adopta muchas formas, siendo las más fácilmente reconocibles la luz y el calor radiante. Otras manifestaciones menos evidentes son la radiación gamma, rayos X, ultravioleta, de microondas y de radiofrecuencia (Skoog y Learly, 1994).

El espectro electromagnético es el conjunto de ondas que va desde las de mayor longitud, las ondas de radio, hasta las de menor longitud, los rayos gamma (figura 7). A mayor longitud de onda menor frecuencia y viceversa. Las características propias de cada tipo de onda son la longitud de onda, la frecuencia y la energía. Las divisiones entre los distintos tipos de radiación son función de los métodos que se precisan para generar y detectar las diversas clases de radiación (Skoog y Learly, 1994.)

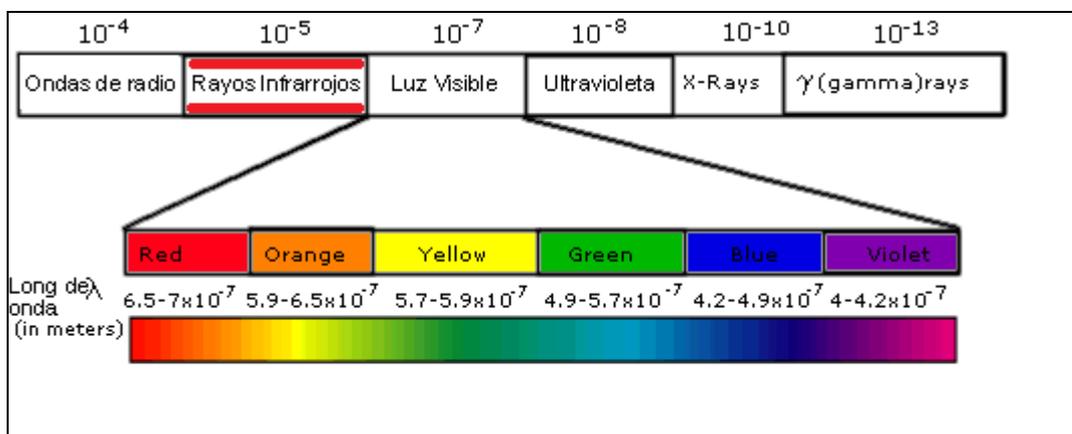


Figura 7. Espectro electromagnético

2.7.3.2. Tipos de análisis

La forma más usual de cuantificar la absorción en el infrarrojo cercano es a través de la medida de la energía reflejada a diferentes longitudes de onda (Reflectancia) y expresada como $\text{Log}(1/R)$, en cuyo caso se habla de espectropía NIR, o bien de la energía transmitida a través de la muestra (Transmitancia) y expresada como $\text{Log}(1/T)$, también llamada espectroscopía NIT (Garrido, 1997).

Los datos de $\text{Log}(1/R)$ o $\text{Log}(1/T)$ obtenidos de un instrumento NIRS, pueden ser empleados para el análisis cualitativo o cuantitativo, siendo esta última la aplicación más extendida (Garrido, 1997).

2.7.3.2.1. Características de la espectroscopía del infrarrojo cercano (NIR)

La región espectral del infrarrojo cercano (NIR) se extiende desde el extremo de las longitudes de onda más altas del visible, alrededor de 780 nm y hasta los 2500 nm.

En la espectroscopía de reflectancia en el infrarrojo cercano, la muestra se irradia con una o más bandas de radiación de longitud de onda comprendida entre 780 y 2500 nm. Se produce una reflectancia difusa, en la que la radiación penetra a través de la superficie de la capa de partículas, excita los modos de vibración de las moléculas y luego se dispersa en todas las direcciones. De este modo, se produce un espectro de reflectancia que depende de la composición de la muestra. (Skoog y Learly, 1994.)

Los enlaces implicados son por lo general C-H, N-H y O-H. Debido a que las bandas son sobretonos o combinaciones, sus absorbancias molares son pequeñas y los límites de detección son de orden de 0,1% (Skoog y Leary, 1996).

En la siguiente tabla se pueden ver las longitudes de onda en las que pueden aparecer en los productos agrícolas (Garrido, 1997).

Tabla 6. Longitud de onda característica de los diferentes grupos funcionales de los constituyentes de los productos agrícolas.

Longitud de onda (nm)	Constituyente	Enlace
1200	Lípidos	C-H
1440	Agua y carbonatos	O-H
1730	Lípidos	C-H
1780	Lípidos	C-H
1940	Agua	O-H
1980	Proteínas	N-H
2080	Carbohidratos	O-H
2180	Proteínas	C=O,N-H
2320	Lípidos	C-H
2350	Lípidos	C-H

Por lo tanto, el análisis de compuestos por esta tecnología se basa en los enlaces químicos que presente, a diferencia de los análisis químicos tradicionales que se fundamentan en las propiedades químicas.

3.1 Material vegetal

Para el desarrollo del proyecto se han empleado 120 manzanas de la variedad Royal Gala, esta es de origen neozelandés, de tamaño mediano con estrías rojas y naranjas sobre un fondo amarillo verdoso.

Es de forma muy redondeada y pedúnculo corto, delgado y recto. Desarrolla muchas semillas que son planas, oscuras y brillantes. Es autoestéril y poliniza bien con Granny Smith, Fuji, Golden Delicious y Elstar. Posee una pulpa dulce, con poca cantidad de jugo y su textura y consistencia es tierna, fina y crujiente, además de firme.

El envejecimiento del fruto se traduce en una intensificación del color amarillo de fondo y en la presencia de rajaduras en la epidermis de la cavidad peduncular. Resiste bien el transporte y es susceptible al hongo *Phytophthora sp.*

3.2. Equipos utilizados y ensayos realizados

3.2.1. Determinación del peso y tamaño del fruto

El peso individual de cada manzana se determinó con una balanza de precisión Mettler Toledo SB 16001 (capacidad máxima de 10.100 g con precisión de 0.1g) (figura 8)

El tamaño del fruto se obtuvo con un calibre digital Mahr modelo 16 ES (figura 9). Se tomaron medidas de diámetro y de altura.



Figura 8. Calibre



Figura 9. Balanza

3.2.2 Ensayo de compresión

Se ha realizado el ensayo de compresión para determinar la firmeza del fruto. Para ello se ha utilizado un texturómetro o analizador de textura para alimentos (figura 10), modelo TA-XT2/25 Texture Analyser.

El texturómetro está compuesto por una columna portátil montada sobre el “Texture Analyser”, un vástago que se desplaza verticalmente hacia abajo a una velocidad y distancia determinada y graduable a discreción. Este aparato está dotado de varias puntas opcionales para cada ensayo: sondas cilíndricas de diferentes diámetros, cuchillas de corte.

Para controlar tanto los parámetros como la correcta evolución del ensayo existen 2 posibilidades: un control manual directo sobre el aparato con la consola de control, o bien mediante la aplicación de un programa informático, cuyas características son:

- Análisis por ordenador en sistema operativo Windows.
- Presentación de múltiples gráficos superpuestos.
- Comparación de curvas en tiempo real.



Figura 10. Texturómetro

Condiciones de medida:

En el presente trabajo la compresión se ha realizado en la zona ecuatorial del fruto, utilizando la sonda esférica de plástico de 1" de diámetro. La distancia máxima de compresión ha sido de 5mm. Las variables que se han obtenido del ensayo de compresión han sido las siguientes:

- Fuerza máxima de compresión, (FC), expresada en N.
- Área que encierra la curva fuerza/distancia, (AC), en Nmm.
- Pendiente del tramo ascendente de la curva/deformación, (PDC) en N/mm.
- Distancia de deformación permanente, (DC), medida en mm.

3.2.3. Ensayo de penetración

Se realiza utilizando también el texturómetro. Cada fruto fue pelado localmente y presionado con una probeta cilíndrica de 8 mm de diámetro y cabeza redondeada.

Condiciones de la medida:

Se realizó una medida por cada fruto. La velocidad de penetración fue de 20 mm/min y se detuvo al llegar a 8 mm de deformación, revirtiendo el sentido de la marcha. Los parámetros extraídos de este ensayo fueron: fuerza máxima (N), deformación máxima (mm), ratio fuerza/deformación (N/mm) y área bajo la curva (mm²).

- Fuerza máxima de penetración, (FP1), expresada en N
- Área que encierra la curva fuerza/distancia, (AP), en Nmm.
- Pendiente del tramo ascendente de la curva/deformación, (PDP), en N/mm.

3.2.4. Índice refractométrico

Este ensayo se realizó para determinar la cantidad de sólidos solubles totales en el jugo de la manzana. Para ello se utilizó un refractómetro que mide la desviación de la luz polarizada al atravesar una solución. La desviación se mide sobre una escala que está graduada en grados Brix.

El refractómetro utilizado fue el modelo digital DR-101 BRUX de la marca IVYMEN (figura 11).



Figura 11. Refractómetro

Para la obtención de cada muestra se partía cada manzana por la mitad longitudinal para así tener una mitad para este análisis y la otra para el posterior análisis sensorial.

3.2.5. Medida del color

Para medir el color de las manzanas se utilizará un espectrofotómetro Minolta, modelo CM-2500d (Figura 12). El espectrofotómetro utilizado toma medidas en el intervalo de longitudes de onda de 360 a 740 nm cada 10 nm.



Figura 12. Espectrofotómetro CM-2500d de Minolta

En nuestro caso, hemos empleado los sistemas L^* , a^* , b^* y L^* , C^* , h^* . Estos sistemas nos dan los siguientes valores:

- L^* : Luminosidad
- a^* y b^* : coordenadas de cromaticidad
- C^* : cromaticidad.
- h^* : matiz o tono.

Estos valores, una vez obtenidos, se extrapolan a los diagramas de color (figura 13a), luminosidad y contraste (figura 13b).

Después de realizar la calibración del blanco del colorímetro, se coloca la ventana de medida sobre la zona del tomate a medir. Se realizan dos medidas por cada manzana, la primera en la parte clara y la segunda en la oscura.

Con este ensayo se obtienen las variables de la luminosidad (L) de 0 a 100, eje rojo-verde(a), eje amarillo-azul (b), croma o intensidad (C) de 0 a 100, matiz o pigmento (H) entre 0° a 360°.(García, M.J., 2008)

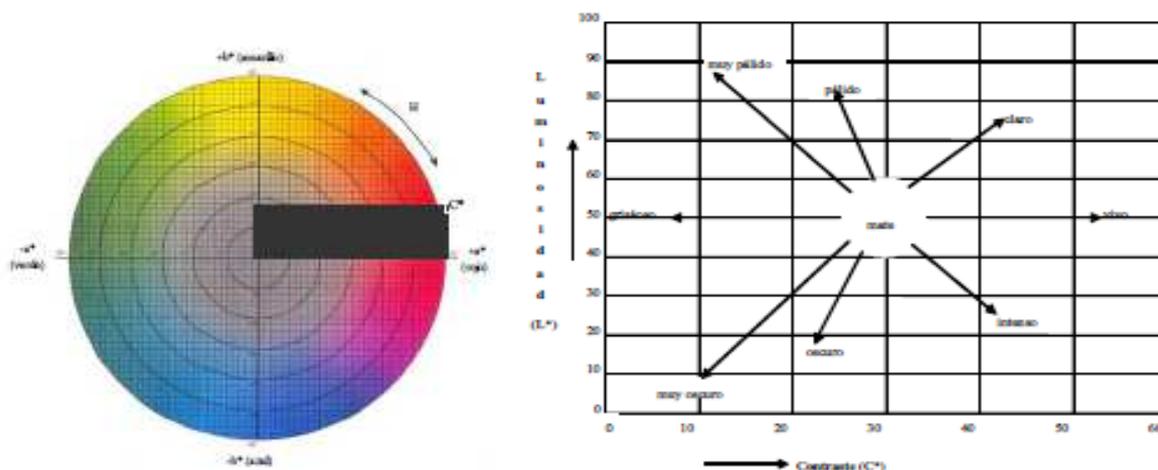


Figura 13. (a) Diagramas de color, (b) luminosidad y contraste.

3.2.6. Análisis sensorial

Mediante el análisis sensorial se ha evaluado el grado de harinosidad, dureza, jugosidad, maduración y dureza de los frutos. Es de vital importancia que la cata se haga de forma individual, sin estímulos perjudiciales al catador y en un ambiente favorable para tal menester.

El método seguido en cada sesión es el siguiente: Cuatro catadores independientes los unos de los otros se colocaron frente a las muestras correctamente dispuestas. Los catadores dispusieron de una ficha de cata que rellenaron, y que contenía sus datos, la fecha, y la evaluación sensorial realizada en cada fruto de los siguientes atributos: Dureza, jugosidad, maduración, harinosidad y crujientez.

La valoración de las muestras varia entre 1 y 5, siendo el valor 1 (no presenta la característica), 2 (poco presente), 3 (presenta la característica), 4 (bastante presente), 5(muy presente).

3.2.7. Durofel

Con este durómetro electrónico mediremos la dureza de la manzana. Utilizando un émbolo adaptado para esta fruta.

Los resultados se visualizan instantáneamente en una pantalla de LCD, no penetra las manzanas sino que mide la retracción superficial bajo la acción de una fuerza manual.

Por eso, para que los resultados sean significativos, los ensayos con este aparato deben hacerse siempre por la misma persona. Realizamos por cada fruta un par de medidas que fueron anotadas en el estadillo.



Figura 14. Durofel

3.2.8. Medida de la reflectancia NIRS con espectrofotómetro

Para la realización del ensayo se utiliza un espectrofotómetro AOTF-NIR modelo Luminar 5030 de la empresa Brimrose (figura 15).



Figura 15. Espectrofotómetro modelo AOTF-NIR Luminar 5030 de la empresa Brimrose

El fundamento básico del equipo es el siguiente: un haz de luz se dirige hacia la muestra (manzana), choca con la misma y la luz reflejada es recogida por un detector, que envía la información al ordenador.

Se utiliza un rango espectral 1100-2300 nm, cada 2nm. Para cada medida el espectrofotómetro toma 50 espectros, proporcionando el espectro medio. El área de muestreo es un círculo de 5.0 mm de diámetro.

Antes de medir, se realiza la calibración del aparato con una muestra, de forma que la ganancia energética del amplificador interno (relación adimensional entre la energía obtenida a la salida y a la entrada) se encuentre entre los valores 33.000 y 65.000 (Brimrose, 1997 ; Cuesta, 1991).

A continuación en el ensayo se realizaron 6 medidas a cada una de las 120 manzanas. La primera en la zona próxima al pedúnculo, luego en la parte inferior y las cuatro siguientes en la zona ecuatorial, diametralmente dos a dos (figura 16).

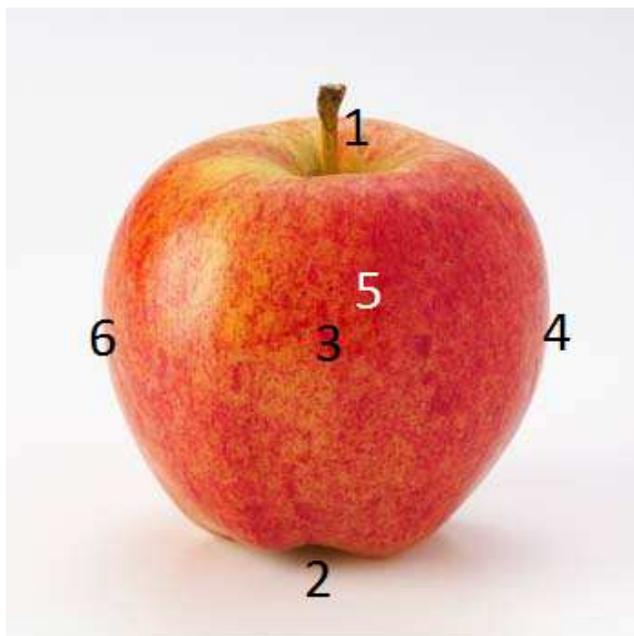


Figura 16. Mediciones

En cada medida, el espectrofotómetro toma 50 espectros de los que hace la media, ofreciéndola como resultado. De esta manera se obtiene el valor de la reflectancia (%R) para cada longitud de onda medida. Tras la obtención de las curvas espectrales se realiza un suavizado con el objetivo principal de eliminar ruido (parte del espectro que no da información y puede llevarnos a conclusiones erróneas).

El programa informático utilizado es el proporcionado por el equipo (Snap! 2.03 de Brimrose). Otros tratamientos que se aplican son la primera y la segunda derivada Savitsky- Golay del logaritmo de la inversa de la reflectancia. En este caso se utiliza el programa informático The Unscrambler. Estas transformaciones permiten obtener mejores resultados en la calibración (Osborne *et al.*, 1993; Hong y Tson, 1998).

3.3 Diseño del experimento

Las 120 manzanas se clasificaron en lotes de 20 manzanas. El primer lote se analizó el mismo día de compra y el resto se conservaron a temperatura ambiente en el laboratorio.

Los lotes se ensayaron con una frecuencia de 7 días.

El día del ensayo se numeraban las manzanas y se pesaban y medían (altura y anchura) de forma individual. Posteriormente se realizaban medidas en el NIR a cada manzana, 6 mediciones por muestra.

Una vez realizado lo anterior se realizaron las medidas con el durofel, haciendo 2 medidas a cada fruta, el último ensayo no destructivo fue el del colorímetro en el que también se realizaban 2 medidas, la primera en la parte clara de la manzana y la otra en la oscura.

Finalmente se continuaba con las pruebas destructivas. En las cuales para dos ensayos se empleaba el texturómetro (de compresión y penetración). A continuación se cortaba cada manzana por la mitad para licuarlas y así hallar su índice refractométrico. Por último se llevaba a cabo el análisis sensorial. Para el mismo, se utilizaban las 10 primeras manzanas de cada lote, se seccionaban para obtener 4 porciones de ellas para los 4 catadores y estos realizaban la cata evaluando así la manzana en su harinosidad, dureza, jugosidad, crujientez y madurez.

3.4. Análisis de datos

El programa utilizado para el tratamiento estadístico fue el SPSS por sus siglas en inglés Statistical Package for the Social Sciences para Windows. Es un programa estadístico de amplia utilización y con gran variedad de procedimientos que permiten una rápida manipulación de los datos con gran número de opciones y representaciones gráficas.

En el proyecto se realizó el análisis de la varianza (ANOVA). Estas pruebas se desarrollaron con la finalidad de determinar si existían diferencias entre las variables a lo largo del tiempo.

El Análisis de la varianza (ANOVA) es una técnica estadística que permite establecer si entre varias series de datos, con sus propias particularidades, existen diferencias y la significación o no de las mismas. Es decir, comprueba si las medias de dos grupos son significativamente diferentes.

En todas las pruebas se ha utilizado un nivel de confianza estimado del 95%($p=0.05$). Una vez realizado el análisis de la varianza, y con el fin de poder clasificar los grupos homogéneos entre los que haya diferencias significativas, se realizó un análisis de comparación de medias. En este caso la prueba elegida fue el test de Duncan.

El análisis de los datos NIR se realizó en dos partes:

- Desarrollo de modelos para la predicción del contenido en sólidos solubles ($^{\circ}$ Brix).
- Clasificación de las manzanas en función de la harinosidad.

El desarrollo de los modelos de predicción se realizó con el programa quimiométrico The Unscrambler. En este caso, se dividió el total de muestras en dos grupos: set de calibración (2/3 de las muestras) y set de validación (1/3 de las muestras). De forma que se realizará una validación independiente con muestras que no entrarán a formar parte del modelo de predicción.

La técnica estadística empleada para la obtención de los modelos será la regresión por mínimos cuadrados (PLS). Además, se trabajará con los datos “en bruto” es decir, sin transformar (valores de %R), y con los datos pretratados por corrección de la dispersión (MSC).

La segunda parte del análisis de datos consiste en utilizar los datos espectrales para realizar la clasificación de las manzanas en función de su harinosidad. La técnica estadística empleada es el Análisis Discriminante. En este caso, la validación es cruzada y el número de datos espectrales se reduce a la mitad por problemas internos del SPSS. En vez de utilizar el espectro completo cada 2 nm, se utiliza el espectro completo pero cada 4 nm. Esto no supone una gran pérdida de información ya que el espectro no presenta cambios bruscos.

Resultados y discusión

4.1. Determinación del estado de madurez de la manzana mediante ensayos de compresión, durofel, penetración y sólidos solubles.

4.1.1. Anova de un factor y comparación de medias

Estas pruebas se han realizado para determinar si existen o no diferencias significativas entre las diferentes medias de las variables de los ensayos en función del factor día.

Con las variables utilizadas en la prueba del ANOVA se ha realizado un test de comparación de medias, con el método Duncan de comparación de medias.

Tabla 7. ANOVA y comparación de medias

	Ensayo de Brix	Ensayo de durofel		Ensayo de penetración			Ensayo de penetración			
Día	Brix	Durof1	Durof2	FP1	FP2	PDP	FC	DC	AC	PDC
1	13,05 bc	0,91 b	0,9095 c	1,301 c	22,70 bc	2,58 bc	68,76 c	2,25 cd	101,77 c	13,73 c
2	13,01 b	0,903 b	0,895 bc	1,27 c	23,47 c	2,38 bc	58,96 b	1,74 a	71,43 a	12,01 b
3	13,315 c	0,906 b	0,908 c	0,027 a	21,97 b	2,86 c	55,55 b	2,1 bc	69,48 a	11,13 b
4	12,64 a	0,907 b	0,907 c	0,047 a	18,59 a	2,25 ab	56,44 b	2,01 bc	88,1 b	11,24 b
5	12,61 a	0,8715 b	0,87 a	0,008 a	17,88 a	2,1 ab	46,15 a	2,07 b	66,5 a	9,3 a
6	12,41 a	0,896 b	0,883 bc	0,712 b	17,49 a	1,79 a	45,69 a	2,38 a	63,45 a	9,16 a
sig.	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*

En la tabla 7 observamos como se reduce el contenido en sólidos solubles de las manzanas conforme avanza el periodo de conservación. Aunque el tercer día hay un aumento en el contenido en sólidos solubles respecto al día 2 (0,3ºBrix), estas diferencias no son apreciables a nivel consumidor. La evolución del contenido en sólidos solubles también puede observarse gráficamente en la figura 17.

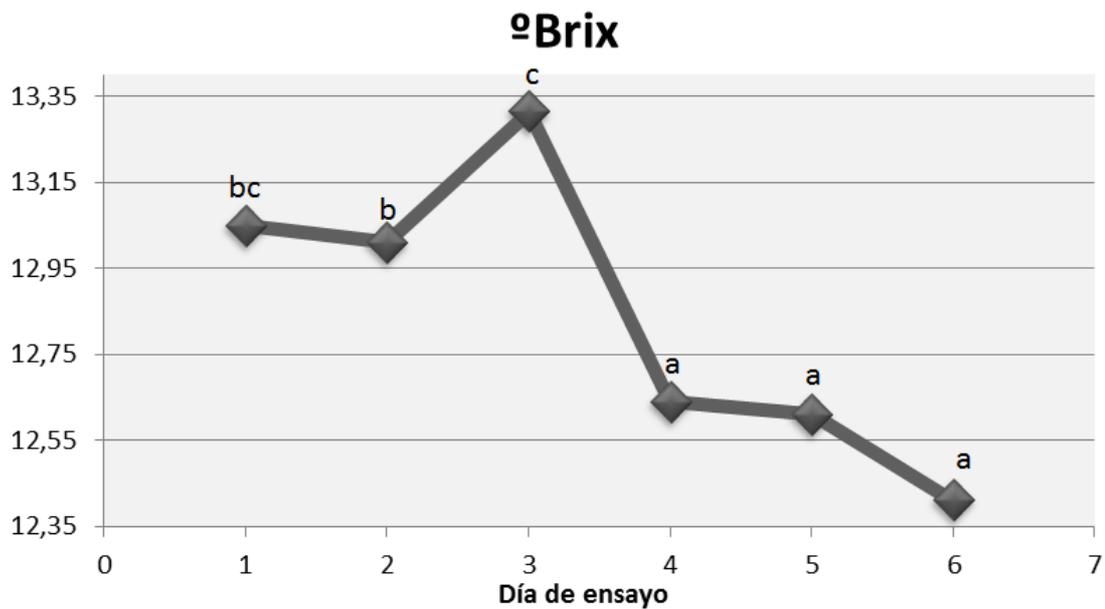


Figura 17. Evolución del contenido de sólidos solubles

Para el ensayo de durofel tenemos dos tablas ya que realizamos dos medidas, en figura 18 se muestra como la dureza no desciende significativamente conforme pasan los días hasta llegar al día 5 del ensayo (0,03 unidades durofel de disminución), donde las manzanas presentan una menor firmeza, sin embargo en el último día ensayo la dureza subió significativamente.

Al tratarse de ensayos realizados cada día en diferentes frutos, se puede concluir que todas las manzanas presentaron unas características muy similares durante el desarrollo de los mismos en cuanto a dureza, es decir, no se observa una notable disminución de la firmeza a lo largo de los días.

Para la segunda medida del durofel se observa que la dureza en general es ligeramente menor. Por lo demás, presenta similares resultados a la anterior toma con una disminución de fuerza el día 5, el único cambio se observa en una disminución en el día 2 del ensayo.

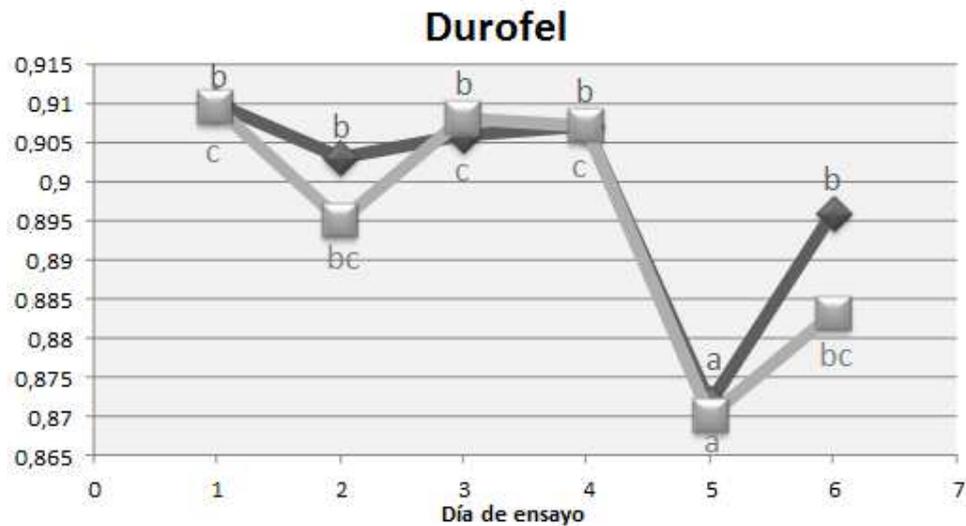


Figura 18. Durofel

En el ensayo de penetración tenemos las siguientes variables FP1, AP y PDP. La primera corresponde a la fuerza máxima de penetración ilustrada en la figura 19, que supuestamente debería descender a lo largo de los ensayos al madurar la fruta. Efectivamente se observa un descenso significativo a partir del día 3. También al igual que en el ensayo con durofel se aprecia un aumento significativo en el último día de ensayo.

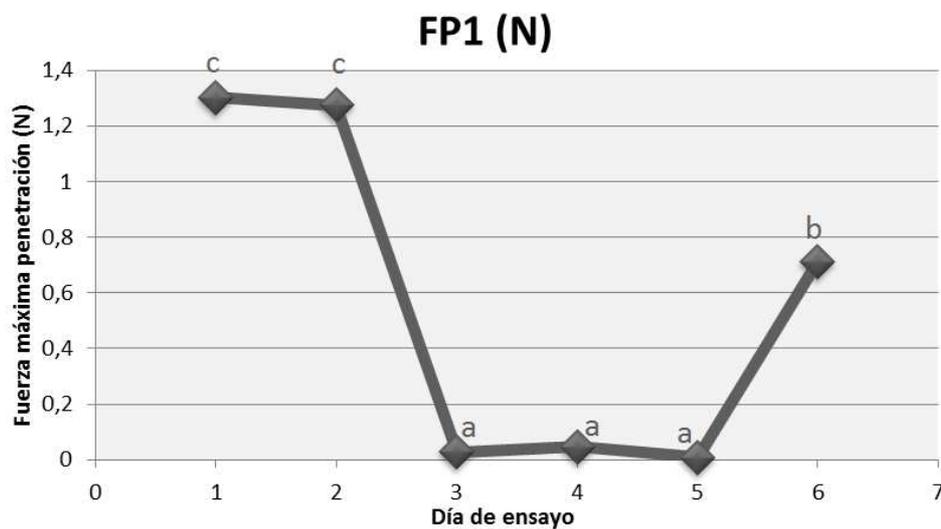


Figura 19. Fuerza máxima de penetración

En cuanto a la segunda variable de la tabla reflejada en la figura 20, el área encerrada en la curva fuerza/distancia, se aprecia un aumento significativo en el segundo día de ensayos para descender significativamente en el tercer día.

Por último, queda la pendiente del tramo ascendente que asciende significativamente en el día 3 del ensayo para posteriormente descender de manera significativa en el cuarto y último ensayo.

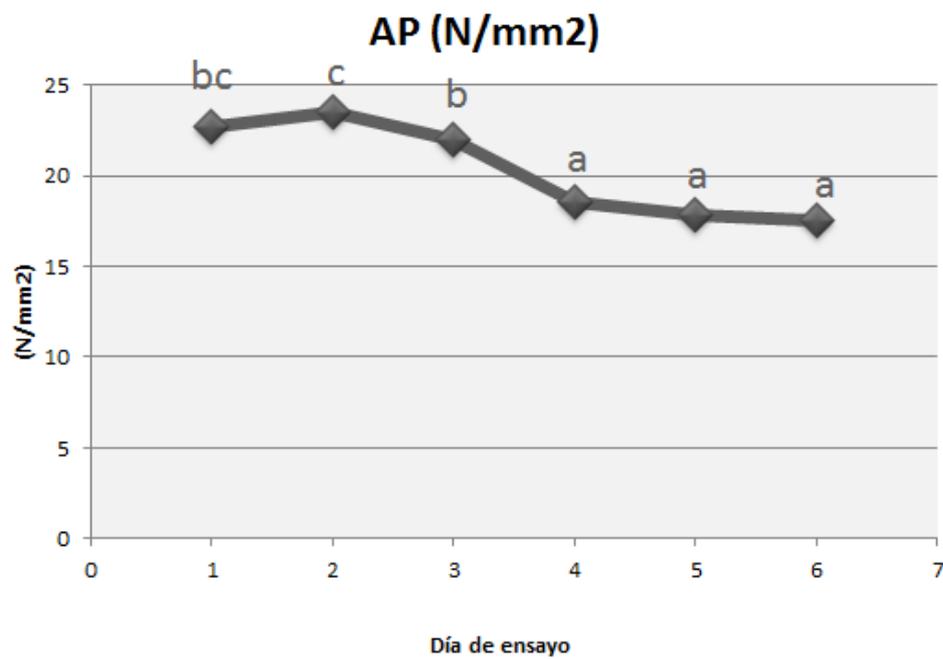


Figura 20. Área de penetración

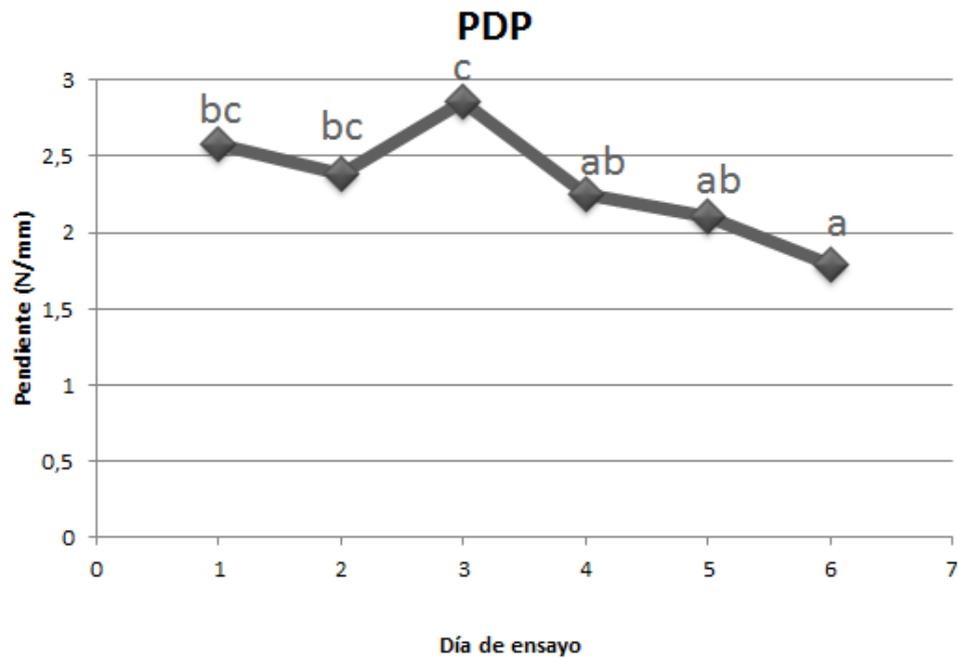


Figura 21. Pendiente de penetración

Para el ensayo de compresión tenemos las siguientes variables FC, AC, PDC y DC, las 3 primeras tienen un comportamiento similar a las del ensayo de penetración, van disminuyendo a lo largo de los días de ensayos conforme van madurando las manzanas. Podemos observarlo en las tablas 22, 23 y 24.

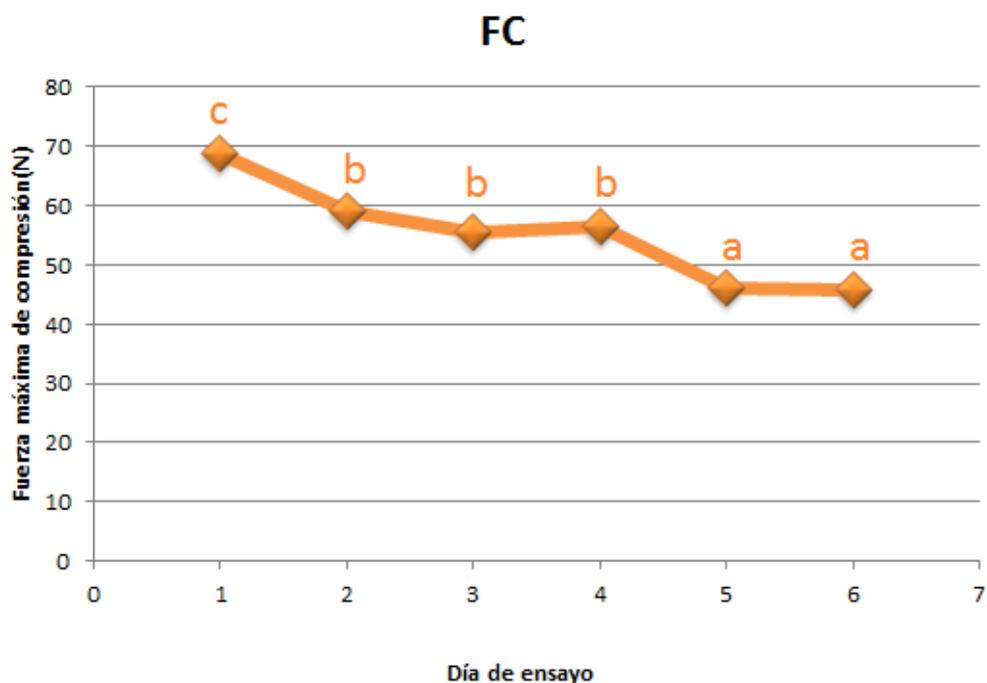


Figura 22. Fuerza máxima de compresión

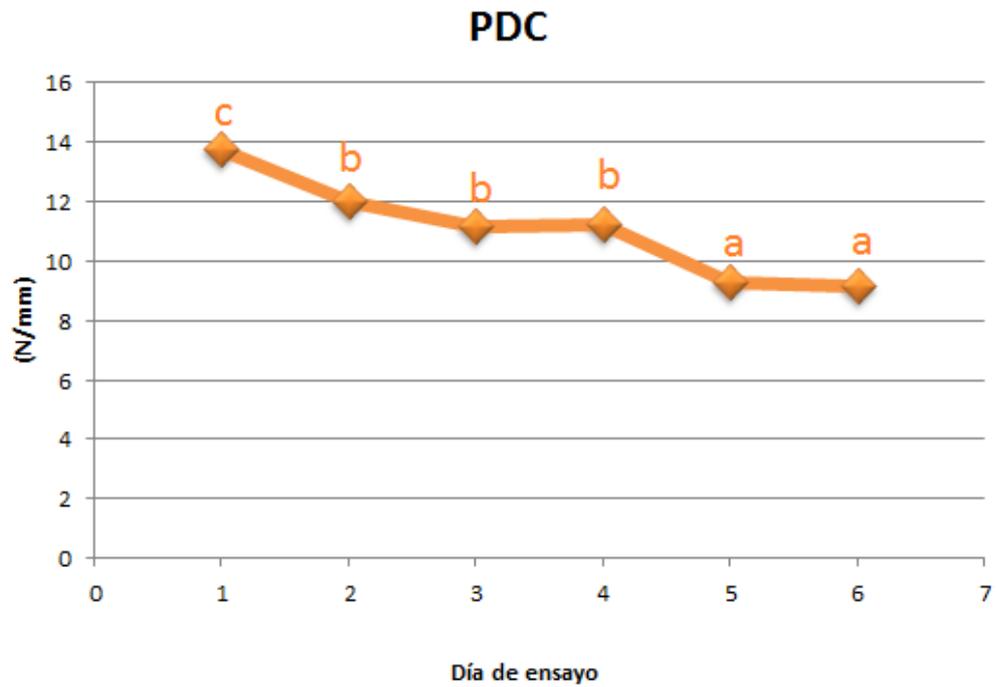


Figura 23. Pendiente de compresión

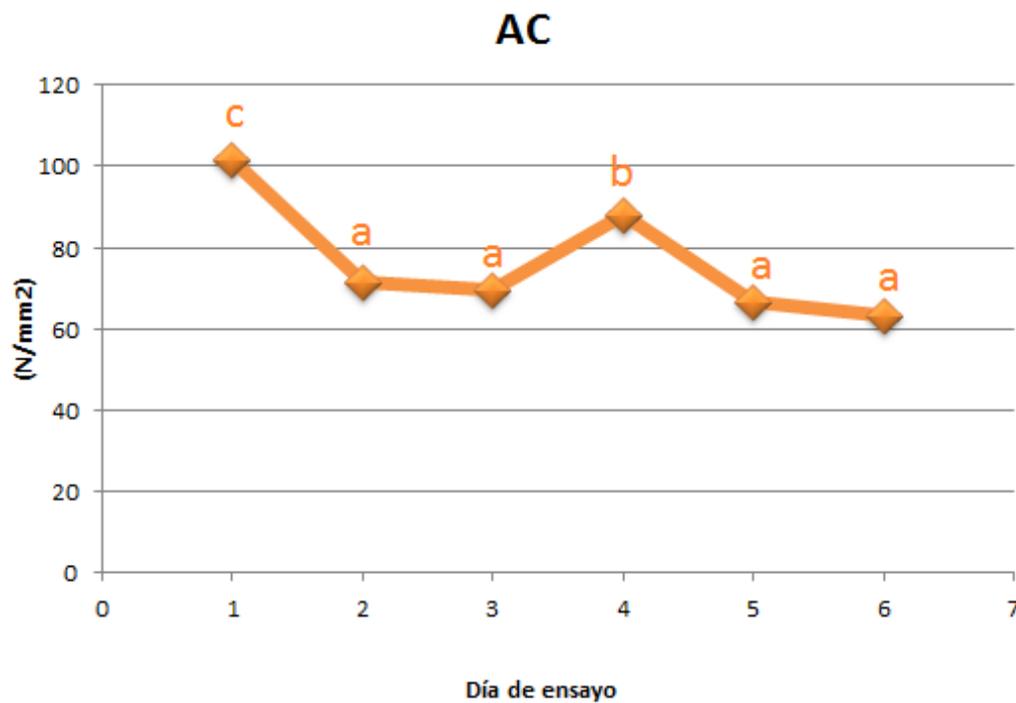


Figura 24. Área F/D de compresión

La variable Deformación de la compresión (mm), va aumentando significativamente conforme los días de ensayo. Queda reflejado en la figura 25, al estar la fruta más madura ofrece menos resistencia y el émbolo consigue descender más aplicando la misma fuerza.

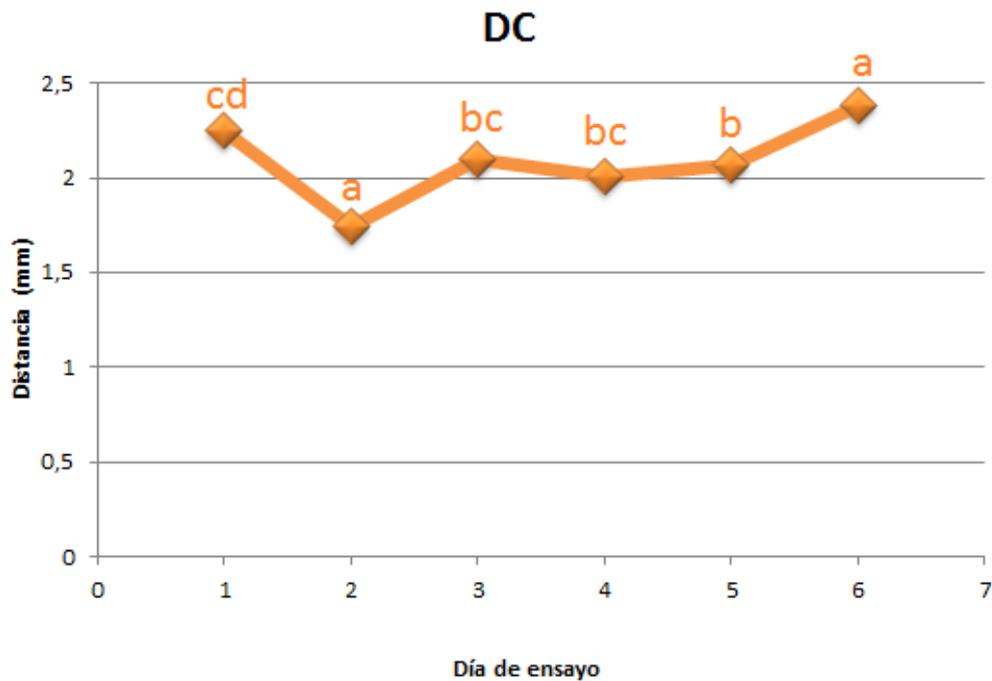


Figura 25. Deformación de la compresión

4.2. Modelos NIR

Se van a evaluar por un lado modelos de predicción del contenido en sólidos solubles y por otro lado, se van a utilizar los datos espectrales y de textura para clasificar las manzanas en función de su harinosidad.

4.2.1. Predicción del contenido en sólidos solubles (°Brix)

Se han realizado dos tipos de modelos: utilizando los datos espectrales en bruto, es decir, sin ningún pretratamiento y realizando un pretratamiento MSC (multiplicative scatter correction) de los espectros. Los espectros sin tratar se representan en la figura 26 y los pretratados en la figura 27. En la figura 27 observamos la reducción de la dispersión de los datos en cada longitud de onda propia de la aplicación del pretratamiento MSC.

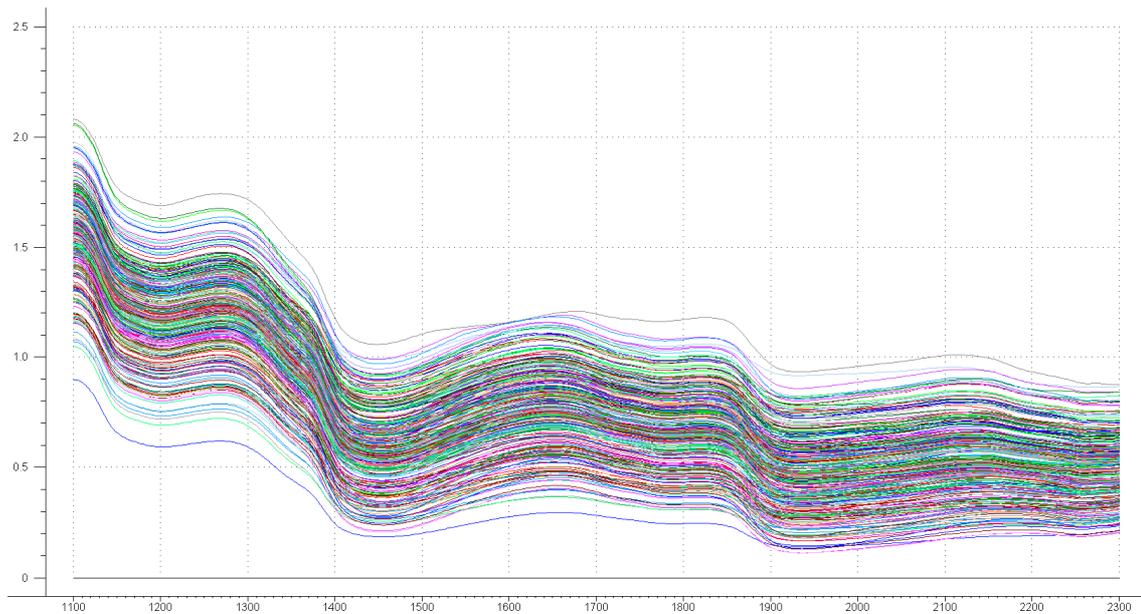


Figura 26. Espectros NIR sin pretratamiento. Eje x: longitudes de onda; Eje y: %Reflectancia.

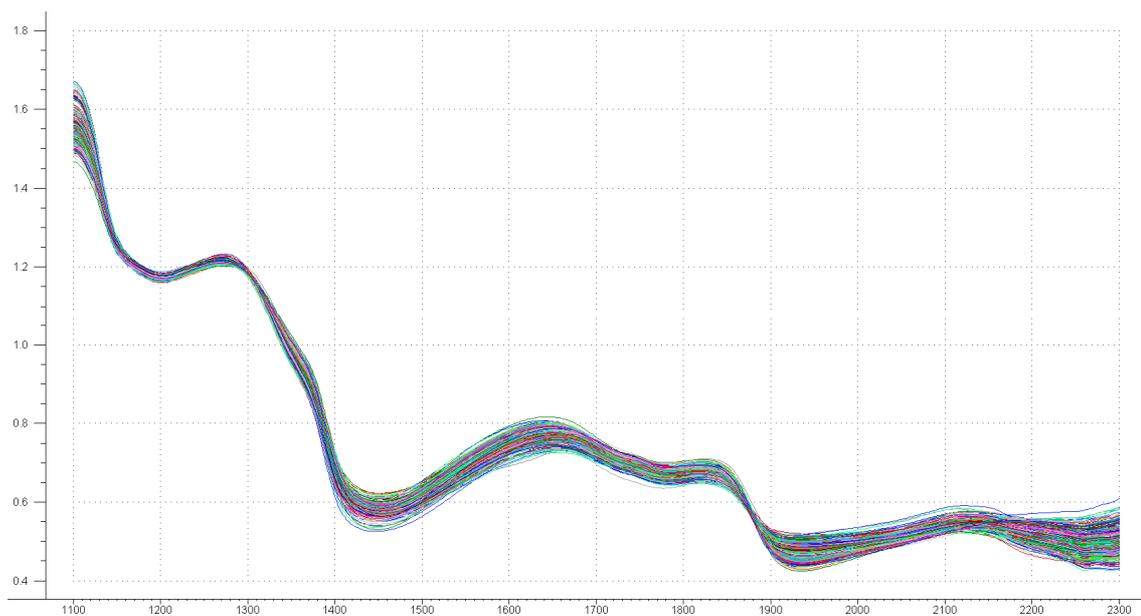


Figura 27. Espectros NIR con pretratamiento MSC. Eje x: longitudes de onda; Eje y: %Reflectancia.

Se ha elegido el pretratamiento MSC porque es con el que mejores resultados hemos obtenido, también se han realizado modelos para los pretratamientos de primera y segunda derivada aunque no se han incluido en los resultados porque no aportan nada al trabajo.

El rango de sólidos solubles de las muestras de calibración así como la amplitud de los datos, etc. se recogen en la tabla 8.

Tabla 8. Características de la variable $^{\circ}\text{Brix}$ en el grupo de calibración.

Variable	Media	Desviación típica	Máximo	Mínimo
$^{\circ}\text{Brix}$	12.8	0.68	14.5	11.2

El rango de $^{\circ}\text{Brix}$ es reducido, las manzanas están en un estado de madurez muy similar, y esto va a afectar a la precisión del modelo. Siempre es deseable trabajar con muestras que representen la máxima variabilidad posible ya que de este modo podremos incluir en el modelo los distintos comportamientos que pueden darse en la manzana en estado verde, madura y sobremadura. Debido a la limitación de los datos de partida, los modelos obtenidos no alcanzan la precisión que sería deseable para su utilización en rutina. De cualquier forma, los resultados obtenidos se pueden observar en la tabla 9.

Tabla 9. Resultados obtenidos con la variable $^{\circ}\text{Brix}$.

Parámetro	Sin Pretratamiento		MSC	
	Calibración	Validación cruzada	Calibración	Validación cruzada
Elementos	105	105	184	184
Slope	0.65	0.60	0.32	0.27
Offset	4.33	4.95	8.70	9.29
Correlación (r)	0.81	0.74	0.57	0.48
Error estándar (SE)	0.38	0.44	0.56	0.60
Longitudes de onda	30	30	91	91
Variables latentes	10	10	8	8

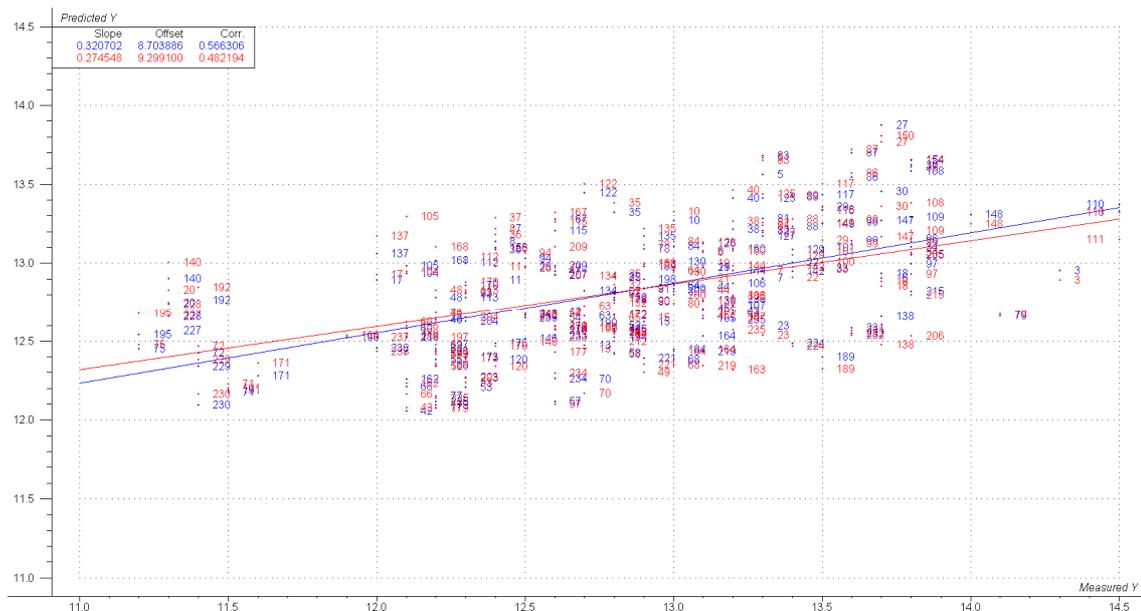


Figura 29. Modelo de predicción del contenido en sólidos solubles a partir de los datos NIRS con pretratamiento MSC.

Finalmente, el grado de aplicación de un modelo lo va a dar el error en la predicción de muestras nuevas. Por ello, se ha realizado una validación independiente con muestras que no han entrado en el desarrollo del modelo de calibración. Las características de estas muestras son las que se indican en la tabla 10, se puede observar que coinciden con los datos observados para el grupo de calibración con lo que el modelo debería comportarse correctamente para estos datos.

Tabla 10. Características de la variable °Brix en el grupo de validación.

Variable	Media	Desviación típica	Máximo	Mínimo
°Brix	12.8	0.68	14.5	11.2

El resultado de la validación independiente tabla 11 muestra que el error de predicción es menor en el modelo MSC, 0.58 frente a 0.72 del modelo sin pretratamiento, aunque en ambos casos la correlación obtenida es demasiado pequeña. Será necesario aumentar el número de muestras y su variabilidad para mejorar los ajustes.

Tabla 11. Resultado de la validación independiente

	Sin pretratamiento	MSC
Correlación (r)	0.38	0.50
SEP	0.72	0.58

4.2.2. Clasificación de las muestras en función de su harinosidad

En el apartado anterior hemos observado que la tecnología NIRS puede ser una buena herramienta para predecir el contenido en sólidos solubles, pero el número y las características de las muestras no nos han permitido obtener modelos de predicción con la suficiente precisión.

En este apartado nos vamos a centrar en la harinosidad como factor de discriminación de los consumidores. En primer lugar se han establecido tres grupos de harinosidad:

- No harinosas: la suma de los valores de cata es menor de 9.
- Harinosidad media: la suma de los valores de cata está entre 9 y 13.
- Harinosas: la suma de los valores de cata es superior a 13.

Estos rangos se han establecido en función de los percentiles.

El resultado de la clasificación (tabla 12) muestra como la mayor parte de las manzanas de cada grupo se clasifica correctamente y las mayores confusiones se dan entre los grupos de harinosidad media y harinosas. En general se clasifican correctamente el 58% de las manzanas, no es un porcentaje elevado pero como hemos comentado en el apartado anterior, todos los lotes presentan características muy similares en cuanto a su comportamiento en el análisis NIRS. Al incluir en el discriminante las variables FC, FP y Brix no se ha observado un aumento del porcentaje de bien clasificados, por lo que no se incluye la tabla resumen.

Tabla 12. Resultados de la clasificación con tres categorías de Harinosidad

		Harinosidad	Grupo pronosticado			Total
			<9	9-12	>13	
Grupo original	Recuento	<9	12	2	3	17
		9-12	4	9	7	20
		>13	2	7	14	23
	Porcentaje	<9	70.6	11.8	17.6	100.0
		9-12	20.0	45.0	35.0	100.0
		>13	8.7	30.4	60.9	100.0
Clasificados correctamente el 58,3% de los casos agrupados originales.						

Teniendo en cuenta que a partir de un valor superior a 9 en la suma de las catas, al menos un catador esta considerando que la manzana es harinosa, podemos plantearnos la clasificación de las manzanas en dos únicos tipos: harinosas (>9) y no harinosas (<9). El resultado de la clasificación (tabla 13) es mejor, ya que alcanza el 75% de muestras bien clasificadas. Este valor podría ser suficiente teniendo en cuenta que estamos realizando la clasificación por medio de los datos espectrales (NIR) en frutos enteros y de forma rápida y no destructiva.

Tabla 13. Resultados de la clasificación con dos categorías de Harinosidad

		Harinosidad	Grupo pronosticado		Total
			<9	>9	
Grupo original	Recuento	<9	13	4	17
		>9	11	32	43
	Porcentaje	<9	76.5	23.5	100.0
		>9	25.6	74.4	100.0
Clasificados correctamente el 75.0% de los casos agrupados originales.					

Basándonos en los resultados obtenidos en este trabajo final de carrera, podemos sacar diversas conclusiones:

- El análisis de la varianza utilizando como variable los grados Brix muestra como no existen diferencias apreciables a nivel consumidor entre los diferentes días de ensayo. Es decir, las manzanas presentaban un contenido en sólidos solubles similar todos los días, probablemente debido a que el primer día de ensayo ya que se encontraban en un estado de madurez avanzado.
- En cuanto a los ensayos de dureza: durofel, fuerza de compresión y fuerza de penetración, se observa como la dureza no sigue un descenso normal a medida que avanzan los días, dado que el último día de ensayo la dureza es superior al resto de días, excepto en la fuerza de compresión que si desciende progresivamente. Por lo tanto, se puede concluir que las manzanas presentaron una dureza similar a lo largo del ensayo.
- Respecto a la determinación cuantitativa de grados Brix mediante tecnología NIRS, en el modelo realizado con los datos sin pretratamientos, la correlación se encuentra en los límites de aceptación para su utilización en análisis de calidad de las manzanas. Sin embargo sería conveniente para trabajos posteriores aumentar el número de muestras así como la variabilidad entre lotes.
- Por último en la determinación cualitativa de la harinosidad en manzanas, se observa como se clasifican correctamente un 58% de las muestras cuando se establecen tres grupos de harinosidad, sin embargo, cuando se reduce la clasificación a dos grupos (harinosas y no harinosas) este porcentaje sube hasta el 75%. Por lo tanto se puede concluir que la técnica NIRS tiene potencial para clasificar muestras de manera rápida y no destructiva.

AHRENS, M.J. Y HUBER, D.J., (1987). Firmness and Mealiness of Selected Florida- Grown tomato Cultivars.

ARANA, I. , (2001). Tesis doctoral: Aplicación de las propiedades mecánicas, determinadas por métodos destructivos y no destructivos, a la caracterización de la harinosidad en manzana (Mallus x Doméstica, Borkh) y la lanosidad en melocotón y nectarina. Universidad Pública de Navarra.

BRIMROSE (1997). “Snap! Software manual”, en User’s manual.

BRUHN, C.M. (2007). Aspectos de calidad y seguridad alimentaria de interés para el consumidor. In Tecnología Poscosecha de Productos Hortofrutícolas. 3ª edición. Kader, A. (Ed.). University of California, Division of Agriculture and Natural Resources, Oakland, California, USA. pp. 37-44.

COUTANCEAU, M. (1971). Fruticultura. Técnicas y economía de los cultivos de rosáceas leñosas productoras de fruta. Oikos- Tau S.A. pp. 46- 47.

CRISOSTO, C.H., MITCHELL, F.G. (2007). Factores precosecha que afectan la calidad de frutas y hortalizas. In Tecnología Poscosecha de Productos Hortofrutícolas. 3ª edición. Kader, A. (Ed.). University of California, Division of Agriculture and Natural Resources, Oakland, California, USA. pp. 55-62.

CUESTA L.M., F. REMIRO (1991). Electrónica analógica, Mc Graw Hill, Madrid, España.

DASH, S.K., CHANDRA, P., KAR, A. (2006). Evaporatively cooled storage of horticultural produce: A review. J. Food Sci. Tech. 43, 105-120.

FAO (2012). FAOSTAT – Agriculture. Archivos de producción de cultivos primarios.

<http://faostat.fao.org>

GARCÍA, M.L., (2008). Determinación de parámetros físico-químicos por NIRS en tomate. Trabajo Fin de Carrera. Universidad Pública de Navarra. Pamplona.

GARRIDO, A. (1997). Estrategias de apoyo a la calidad de productos agrarios. Curso de formación en Pamplona.

GIACINTI, M. A. (2002). Visión mundial del consumo de manzana en fresco. Fruticultura profesional. 129: 47-59.

HONG, T.L., TSON, S.C.S. (1998). Determination of tomato quality by near infrared spectroscopy.

INSTITUTO DE ESTADÍSTICA DE NAVARRA (2012). Archivos de producción de cultivos primarios en Navarra. <http://www.cfnavarra.es/estadistica/redie.asp?qry=0501>

JACKMAN, R.L. AND STANDLEY , D. W ., (1995). Perspectives in the textural evaluation of plant foods.

KADER, A.A. (1992). Postharvest biology and technology: an overview. In: Postharvest Technology of HorticultuPal Crops. Kader, A.A. (Ed.). University of California, Division of Agriculture and Natural Resources, Oakland, California, USA. pp. 15-20.

KADER, A.A. (2007a). Biología y tecnología poscosecha: Un panorama. In Tecnología Poscosecha de Productos Hortofrutícolas. 3ª edición. Kader, A. (Ed.). University of California, Division of Agriculture and Natural Resources, Oakland, California, USA. pp. 43-54.

KADER, A.A. (2007c). Factores de seguridad y calidad: definición y evaluación para productos hortofrutícolas frescos. In Tecnología Poscosecha de Productos Hortofrutícolas. 3ª edición. Kader, A. (Ed.). University of California, Division of Agriculture and Natural Resources, Oakland, California, USA. pp. 315-322.

KADER, A.A. (2008). Flavor quality of fruits and vegetables.

LAWLESS Y HEYMANN (1998). Sensory Evaluation of Food.

MITCHELL, F.G. (1992). Cooling horticultural commodities. In Postharvest Technology of Horticultural Crops, Publication 3311, Kader, A.A. (Ed.). University of California, Division of Agriculture and Natural Resources, Oakland, California, USA. pp. 53-63.

MITCHELL, F.G., KADER, A.A. (1989). Factors affecting deterioration rate. In: Peaches, Plums and Nectarines - Growing and Handling for Fresh Market, Publication 3331, LaRue, J.H. and Johnson, R.S. (Eds.). University of California, Division of Agriculture and Natural Resources, Oakland, California, USA. Chapter 23, pp. 165-178.

OSBORNE, B.G., FEARN, T., HINDLE, P. (1993). Practical NIR Spectroscopy with Applications in Food and Beverage Analysis. Longman Scientific and Technical. London, UK.

PAOLETTI, F., E. MONETA, A. BERTONE, Y F. SINESIO. (1993). Mechanical Properties and Sensory Evaluation of Selected Apple Cultivars. Lebensmittel Wissenschaft Und Technologie 26: 264-70.

POOVAIAH, B.W., GLENN, G.M., REDDY, A.S.N. (1988). Calcium and fruits softening: Physiology and biochemistry.

REID, M.S. (2007). Maduración e índices de madurez. In Tecnología poscosecha de productos hortofrutícolas. 3ª edición. Kader, A. (Ed.). University of California, Division of Agriculture and Natural Resources, Oakland, California, USA. pp. 63-72.

ROMOJARO, F., MARTÍNEZ-MADRID, M.C., PRETEL, M.T. (2006). Factores precosecha determinantes de la calidad y conservación en poscosecha de productos agrarios.

RONALD MORALES, A. (1998). Frutoterapia, el poder curativo de los 105 frutos que dan la vida. Ediciones Libertarias. Madrid. España. 123-128.

SKOOG, D.A. Y LEARY, J.J. (1996). Análisis instrumental. Mac Graw-Hill-Interamericana. Madrid. pp. 296-339.

SNOWDON, A.L. (1990). A Color Atlas of Post-Harvest Diseases and Disorders of Fruits and Vegetables. Vol. 1: General Introduction and Fruits. CRC Press, Boca Raton, FL, USA, 302 p.

SNOWDON, A.L. (1992). Color Atlas of Post-Harvest Diseases and Disorders of Fruits and Vegetables. Vol. 2. Vegetables. CRC Press, Boca Raton, FL, USA, 416 p.

SOARES-GOMES, A., TRUGO, L.C., BOTREL, N., DA SILVA-SOUZA, L.F. (2005). Reduction of internal browning of pineapple fruit (*Ananas comusus L.*) by preharvest soil application of potassium. *Postharv. Biol. Technol.* 35, 201-207.

SOMMER, N. F. (1989). Suppressing postharvest disease with handling practices and controlled environments.

TAHIR, I., JOHANSSON, E., OLSSON, M.E. (2007). Improvement of quality and storability of apple cv. Aroma by adjustment of some pre-harvest conditions. *Sci. Hortic.* 112, 164-171.

THOMPSON, J.F. (2007a). Sistemas de cosecha. In *Tecnología Poscosecha de Productos Hortofrutícolas*. 3ª edición. Kader, A. (Eds.). University of California, Division of Agriculture and Natural Resources, Oakland, California, USA. pp. 73-76.

THOMPSON, J.F. (2007b). Psicrometría y productos perecederos. En *Tecnología Poscosecha de Productos Hortofrutícolas*. 3ª edición. Kader, A. (Eds.). University of California, Division of Agriculture and Natural Resources, Oakland, California, USA. pp. 149-156.

VALERO, (2001). Aplicación de la espectroscopía láser de reflectancia difusa Vegetables. Vol. 2. Vegetables. CRC Press, Boca Raton, FL, USA, 416 p.

WESTWOOD, M. N. (1982). Fruticultura de zonas templadas. Editorial Mundi-Prensa. Madrid. pp. 461.