

**CARACTERIZACIÓN DE LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA  
DE BAJA FRECUENCIA EN EL MESOCARPIO DE  
DIFERENTES VARIEDADES DE ACEITUNAS PARA  
ALMAZARA (*Olea europaea* L.)**



**UNIVERSIDAD MIGUEL HERNÁNDEZ**  
Escuela Politécnica Superior de Orihuela  
Departamento de Tecnología Agroalimentaria

Tesis Doctoral  
Meritxell Justicia Segovia

**CARACTERIZACIÓN DE LA CONDUCTIVIDAD  
ELÉCTRICA DE BAJA FRECUENCIA EN EL  
MESOCARPIO DE DIFERENTES VARIEDADES DE  
ACEITUNAS PARA ALMAZARA (*Olea europaea* L.)**



**UNIVERSIDAD MIGUEL HERNÁNDEZ**

Escuela Politécnica Superior de Orihuela

Departamento de Tecnología Agroalimentaria

Tesis Doctoral  
Meritxell Justicia Segovia

**CARACTERIZACIÓN DE LA CONDUCTIVIDAD  
ELÉCTRICA DE BAJA FRECUENCIA EN EL  
MESOCARPIO DE DIFERENTES VARIEDADES DE  
ACEITUNAS PARA ALMAZARA (*Olea europaea* L.)**



**Tesis doctoral presentada por:**  
Meritxell Justicia Segovia

**Directores:**

Dr. Antonio Ruiz Canales

Dr. Antonio Madueño Luna

Dr. José Miguel Molina Martínez



**CARACTERIZACIÓN DE LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA DE BAJA  
FRECUENCIA EN EL MESOCARPIO DE DIFERENTES VARIEDADES DE  
ACEITUNAS PARA ALMAZARA (*Olea europaea* L.)**

Tesis doctoral realizada por Meritxell Justicia Segovia,  
Ingeniera Agrícola, en el Departamento de Tecnología  
Agroalimentaria de la Universidad Miguel Hernández de  
Elche, para la obtención del grado de doctor.



Orihuela, 1 de septiembre de 2017



**Dr. José Ramón Díaz Sánchez,** Dr. Ingeniero Agrónomo, Catedrático de Universidad y Director del Departamento de Tecnología Agroalimentaria de la Universidad Miguel Hernández,

**INFORMA:**

Que atendiendo al informe presentado por los Dres. Antonio Ruiz Canales, profesor Titular del Departamento de Ingeniería, Antonio Madueño Luna, Profesor Titular del Departamento de Ingeniería Aeroespacial y Mecánica de Fluidos de la Universidad de Sevilla y José Miguel Molina Martínez, Profesor Titular del Departamento de Ingeniería de los Alimentos y del Equipamiento Agrícola, la Tesis Doctoral titulada “CARACTERIZACIÓN DE LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA DE BAJA FRECUENCIA EN EL MESOCARPIO DE DIFERENTES VARIEDADES DE ACEITUNAS PARA ALMAZARA (*Olea europaea* L.)” de la que es autora la Ingeniera Agrícola D<sup>a</sup> Meritxell Justicia Segovia, ha sido realizada bajo la dirección los Dres. citados, puede ser presentada para su correspondiente exposición pública.

Y para que conste a los efectos oportunos firmo el presente informe en Orihuela a 1 de Septiembre de 2017.

**Fdo.: Dr. José Ramón Díaz Sánchez**



**Dr. Antonio Ruiz Canales**, Profesor Titular del Departamento de Tecnología Agroalimentaria, de la Universidad Miguel Hernández, **Dr. Antonio Madueño Luna**, Profesor Titular del de Ingeniería Aeroespacial y Mecánica de Fluidos de la Universidad de Sevilla y el **Dr. José Miguel Molina Martínez**, Profesor Titular del Departamento de Ingeniería de los Alimentos y Equipamiento Agrícola de la Universidad Politécnica de Cartagena.

**CERTIFICAN:**

Que la Tesis Doctoral Titulada: **“Caracterización de la conductividad eléctrica de Baja Frecuencia en el mesocarpio de diferentes variedades de aceituna para almazara (*Olea europaea* L.)”**, de la que es autora la Ingeniera Agrícola Meritxell Justicia Segovia, ha sido realizada bajo nuestra dirección y autorizamos a que sea presentada para optar a la Obtención del grado de Doctor por la Universidad Miguel Hernández.

Para que conste a los efectos oportunos se firma el presente certificado en Orihuela a uno de septiembre de dos mil diecisiete.

Fdo. Dr. Antonio Ruiz  
Canales

Fdo. Dr. Antonio  
Madueño Luna

Fdo. Dr. José M. Molina  
Martínez

## AGRADECIMIENTOS

Cualquiera que esté leyendo esto podrá imaginar el tremendo esfuerzo que supone llegar hasta aquí, este ha sido un camino difícil, extenuante, frustrante... pero también maravilloso, sorprendente y llegados a este punto increíblemente satisfactorio. Un camino que no habría sido posible sin el buen hacer, la extraordinaria paciencia, los amplísimos conocimientos, la confianza y el apoyo inconmensurable de mis directores y ya amigos de tesis, Antonio Madueño, Antonio Ruiz y José M. Molina.

Este es el punto y seguido de varios años de trabajo y son muchos a los que quisiera darles las gracias porque de forma directa o indirecta todos han puesto su granito de arena, un poco de muchos es muchísimo más que mucho. Si he llegado hasta aquí es porque me he ido aupando a los hombros de mis propios gigantes.

Quiero aprovechar estas líneas para expresar mi más sincera gratitud a los que son, pero también a los que fueron y cuya labor tan menospreciada puede ser trascendental pues de ella depende en gran medida la forja de nuestros espíritus. Gracias pues a todos los maestros de aquellos años de EGB en el Colegio Público Arturo Del Moral que con vuestro tesón y esfuerzo convertisteis un humilde colegio de un pequeño pueblo de Jaén en un centro de élite donde aprendimos mucho más de lo que os tocaba enseñar y aprendimos además a respetar y esforzarnos. Gracias especialmente a Dña. Milagros y Dña. Felisa que me enseñaron a leer con tres años, a D. Francisco, D. Jesús, a mi padre que también fue maestro, a todos y todas que allí estuvisteis que sois muchos y no todas maestras como M<sup>a</sup> Jesús o mi propia madre (que ejercieron de lo que son: madres) y cómo no, gracias al maestro D. Antonio Linde, quien con su profesionalidad, vocación y enorme cariño, fue el primero que me inculcó la sed del saber.

A Jacinto D. Cabrera R, maravilloso profesor del IES Sierra Mágina, porque me rescató del ostracismo adolescente al descubrir en mí una chispa de la que ni yo misma era consciente y la acogió en su seno y la sopló, hasta convertirla en la llama que hoy es vocación. Gracias Jacinto, gracias y eternamente gracias.... Aún no he olvidado qué significa la "1101.", ¿me vas a poner ya mi 01?.

Gracias también a esos maestros universitarios que me alentaron, me ayudaron y sobre todo, se empeñaron en que no abandonase. Cada día es más difícil encontrar a maestros como vosotros, porque hay quien confunde la vocación con ser mero funcionario. Por esto a veces sorprende encontrar a quienes tienen vocación y son capaces de seguir remando para que el barco llegue a buen puerto, así que Gloria Valdivia, gracias por el capote, pero sobre todo por devolverme la fe.

A mis compañeros, a mis amigos y vecinos, por brindarme la más maravillosa oportunidad, que es la de trabajar, por, para y con los demás. Y cómo no, a mi familia, especialmente mi Madre, a mi hermano, a Maribel y mis sobrinos Inés, Fernando Nelson y a quién vendrá, porque todos, familia, amigos, vecinos y compañeros... Habéis puesto aquí más que mucho, habéis además confiado en mí y quizás por ser algunos de vosotros maestros de los de la vieja calle, sois además ejemplo de los valores que más admiro, precisamente por ser escasos en los tiempos que corren: el trabajo, la decencia y la humildad... sigamos trabajando, estilo Jaén, aún nos queda mucho por hacer, la historia es nuestra y el futuro nos espera.





*A quienes no me dejasteis caer*



## Resumen

La conductividad eléctrica medida sobre diversos productos agroalimentarios, se emplea como técnica para determinar diferentes parámetros como el contenido de humedad y capacidad de germinación en semillas o la resistencia de los frutos a las heladas (Alwis & Mitchell, 1989), (Paine, D.H., et al., 2002). Investigaciones más recientes (Nelson & Nigmatullin, 2006), (Abu Izneid, B., et al., 2011), establecen la medición de la impedancia eléctrica como una técnica para la evaluación del estado de la madurez y la calidad de los frutos.

En este trabajo se ha desarrollado un conductímetro experimental de corriente alterna (CA) a 50 hercios (Hz) de frecuencia, controlado mediante un microcontrolador PIC18F2550 vinculado a PC mediante USB, que se ha empleado para medir la conductividad eléctrica en el mesocarpio de la aceituna de almazara (*Olea europaea L.*), en diferentes estados de madurez. Su relación con los valores obtenidos de la medición de la conductividad eléctrica (expresada en % de Fondo de Escala), permite establecer objetivamente el índice de madurez de los frutos y determinar el momento óptimo de su recolección, atendiendo a parámetros clave como son el rendimiento graso de los frutos y la calidad del aceite resultante.

Se han empleado cuatro cultivares diferentes, 'Picual', 'Manzanilla de Sevilla', 'Hojiblanca' y 'Gordal sevillana'. El estudio demuestra que la conductividad eléctrica en el mesocarpio de los frutos, se incrementa conforme los frutos van madurando. Así mismo, se observa que cada variedad presenta un valor promedio característico para los últimos estadios de maduración.

**Palabras clave:** Conductimetría, maduración, oleicultura

## Abstract

The electrical conductivity measured on various agrifoods products is used as a technique to determine the different parameters, as the moisture content and germinability of seeds or the resistance to frost of fruits (Alwis & Mitchell, 1989), (Paine, D.H., et al., 2002). Latest research (Nelson & Nigmatullin, 2006), (Abu Izneid, B., et al., 2011), set out the measurement of electrical impedance as a technique for assessing the stage of maturity and fruit quality.

In this work, we have developed an experimental conductivity of alternating current (AC) at 50 Hz frequency, controlled by a microcontroller PIC18F2550 linked to PC via USB, which has been used to measure the electrical conductivity in the mesocarp of fruits for oil production (*Olea europaea* L.) in different stages of maturity, relating it to the values obtained from the measurement of electrical conductivity (Expressed in% of Full Scale) to establish objectively fruits maturity index, and determinate the optimal timing of collection based on parameters such as oil yield and fruit quality of the resulting oil.

It has been studied the electrical conductivity evolution in the mesocarp of the fruit, in four different cultivars, 'Picual', 'Manzanilla de Sevilla', 'Hojiblanca' and 'Gordal sevillana, concluded that the conductivity increases according to ripeness stage. Likewise, each variety has a characteristic average value for the latter stages of ripening maturing.

**Keywords:** Conductimetry, rippening, olive growing.

---

**ARTÍCULOS CIENTÍFICOS DERIVADOS DE ESTA TESIS DOCTORAL**

Este trabajo ha dado lugar a dos publicaciones en diferentes congresos de Ingeniería Agronómica y a otra que está pendiente de publicación en la revista Computers and Electronics in Agriculture.

**Mayo 2017 – Comunicaciones presentadas el XVIII Simposio Científico-Técnico de Expoliva 2017. ISBN: 978-84-946839-1-6**

Estudio de la correlación entre la conductividad eléctrica a 50 Hz medida en el mesocarpio de la aceituna ‘Picual’ y el índice de madurez.

*Justicia Segovia, M.; Madueño Luna, A.; Granados Albarrán, J.A.; Ruiz Canales, A.; Molina, J.M.; López Lineros, M.; Madueño Luna, J.M*

**Junio 2015 - Actas VIII Congreso Ibérico Agroingeniería.**

Implementación de un conductímetro para la medición de la conductividad eléctrica en el mesocarpio de la aceituna.

*Madueño Luna, A.; Justicia Segovia, M.; Granados Albarrán, J.A.; Ruiz Canales, A.; Molina Martínez, J.M.; López Lineros, M.; Madueño Luna, J.M.*

**Febrero 2014 - Actas de Horticultura 64, Sociedad Española de Ciencias Hortícolas. ISBN: 978-84-95556-25-7**

Desarrollo y evaluación de un conductímetro eléctrico para la automatización y telecontrol de la medida de la Conductividad eléctrica de la aceituna de almazara en plantaciones de olivar.

*Justicia Segovia, M.; Madueño Luna, J.M.; Ruiz Canales, A.; Molina, J.M.; López Lineros, M.; Granados Albarrán, J.A.; Madueño Luna, A.*

**Artículo pendiente de publicación en Computers and Electronics in Agriculture.**

Low-frequency characterisation of mesocarp electrical conductivity in different varieties of olives (*Olea europaea* L.)



## ÍNDICE

1.- INTRODUCCIÓN .....	17
1.1.- El sector del olivar de almazara .....	17
1.2.- Características generales de la aceituna.....	18
1.3.- Índice de madurez de la aceituna. ....	21
2.- ANTECEDENTES .....	26
2.1.- Revisión de los equipos y técnicas afines desarrollados hasta la fecha.....	29
3.- JUSTIFICACION Y OBETIVOS .....	33
4.- MATERIALES Y MÉTODOS.....	35
4.1.1. Tarjeta de evaluación AD5933EBZ .....	36
4.2.- Diseño de un medidor de impedancia para una frecuencia fija de 50 Hz .....	36
4.2.1.- Montaje de un prototipo para su uso en laboratorio .....	40
4.2.2.- Software de gestión del conductímetro.....	41
4.3.- Ensayos y toma de datos.....	46
4.3.1.- Descripción de los ensayos. ....	46
<i>Primer ensayo: Conductividad eléctrica / Dureza</i> .....	46
<i>Segundo ensayo: Conductividad eléctrica / Rendimiento graso y acidez</i> .....	46
4.3.2.- Descripción del material vegetal.....	46
4.5.- Medición de la dureza de los frutos. ....	47
4.6.- Medición de la conductividad eléctrica. ....	48
5.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	51
5.1.- Ensayos preliminares con frecuencias entre 1 Hz y 100 kHz, en aceitunas de la variedad ‘Manzanilla de Sevilla’. ....	51
5.2.- Calibración del equipo.....	53
5.3.- Resultados del ensayo de correlación de la conductividad eléctrica con la dureza. ....	55
5.4.- Resultados del ensayo de correlación de la conductividad eléctrica con el Rendimiento Graso y el porcentaje de acidez. ....	60
6.-CONCLUSIONES .....	65
6.1.- Puntos débiles y futuras líneas de investigación .....	66
7.- BIBLIOGRAFÍA .....	68

## ÍNDICE ILUSTRACIONES

ILUSTRACIÓN 1.- PRODUCCIÓN DE ACEITUNA DE ALMAZARA POR CAMPAÑAS, EXPRESADO EN MILES DE TONELADAS.....	18
ILUSTRACIÓN 2.- CORTE LONGITUDINAL DONDE SE OBSERVAN LOS DIFERENTES TEJIDOS QUE CONFORMAN EL FRUTO .....	19
ILUSTRACIÓN 3.- REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LA ESTRUCTURA DEL EPICARPIO Y MESOCARPIO DE LA ACEITUNA. MODIFICADO DE MARSILIO (MARSILIO, V., ET AL., 1996).....	20
ILUSTRACIÓN 4.- COMPOSICIÓN DE LA ACEITUNA EN PLENA MADUREZ. ....	21
ILUSTRACIÓN 5.- CLASIFICACIÓN DE LA COLORACIÓN DEL EXOCARPIO, SEGÚN FERREIRA (1979).....	22
ILUSTRACIÓN 6.- TARJETA DE EVALUACIÓN EVAL - AD5933EBZ, PARA LA MEDIDA DE LA IMPEDANCIA COMPLEJA CON BARRIDO DE FRECUENCIA.....	36
ILUSTRACIÓN 7.- REPRESENTACIÓN GRÁFICA DEL CIRCUITO ELECTRÓNICO DISEÑADO.....	37
ILUSTRACIÓN 8.- PLACA DE DESARROLLO CON EL MONTAJE PARA LA MEDIDA DE CONDUCTIVIDAD EN LA ZONA LIBRE DE HIDRÓXIDO DE SODIO. ....	38
ILUSTRACIÓN 9.- CAPTURA DE PANTALLA DEL OSCILOSCOPIO CON NIVEL DE TENSIÓN EFICAZ (9.56 V), CORRESPONDIENTE A LA MEDIDA DE CONDUCTIVIDAD EN LA ZONA LIBRE DE HIDRÓXIDO DE SODIO.....	39
ILUSTRACIÓN 10.- PLACA DE DESARROLLO CON EL MONTAJE PARA LA MEDIDA DE CONDUCTIVIDAD EN LA ZONA AFECTADA POR EL HIDRÓXIDO DE SODIO. ....	39
ILUSTRACIÓN 11.- CAPTURA DE PANTALLA DEL OSCILOSCOPIO CON NIVEL DE TENSIÓN EFICAZ (12,7 V), CORRESPONDIENTE A LA MEDIDA DE LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA EN LA ZONA AFECTADA POR EL HIDRÓXIDO DE SODIO. ....	39
ILUSTRACIÓN 12.- ESTADO DE LA ACEITUNA TRAS EL ANÁLISIS DE LA CONDUCTIVIDAD DONDE SE APRECIAN LAS ZONAS PUNZONADAS. ....	40
ILUSTRACIÓN 13.- COMPONENTES DEL PROTOTIPO DE CONDUCTÍMETRO PARA LABORATORIO.....	40
ILUSTRACIÓN 14.- SOLDADURAS PLACA DEL PROTOTIPO DE CONDUCTÍMETRO PARA LABORATORIO. ....	41
ILUSTRACIÓN 15.- RECTIFICADOR DE MEDIA ONDA. ....	41
ILUSTRACIÓN 16.- CONVERTIDOR AD CON CONEXIÓN USB.....	41
ILUSTRACIÓN 17.- ORGANIGRAMA DEL PROGRAMA DEL MICROCONTROLADOR. ....	42
ILUSTRACIÓN 18.- PROGRAMA PARA P.C. ....	43
ILUSTRACIÓN 19.- RESISTENCIAS PATRÓN PARA CALIBRADO.....	45
ILUSTRACIÓN 20.- PENETRÓMETRO PTR 200 - S500 (A). PUESTO DE MEDICIÓN PCE - MT (B). ....	48
ILUSTRACIÓN 21.- PROCEDIMIENTO DE LA MEDICIÓN DE LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA EN LAS ACEITUNAS MADURAS Y DETALLE DE LAS SONDAS EMPLEADAS.....	49
ILUSTRACIÓN 22.- . DIAGRAMA DE LAS ZONAS DE EVOLUCIÓN DE LA IMPEDANCIA EN ACEITUNA MADURA Y ANÁLISIS DE LOS 4 ESTADOS DE MADURACIÓN.....	51
ILUSTRACIÓN 23.- DETALLE ZONA 2 DE ACEITUNA EN VERDE. ....	52
ILUSTRACIÓN 24.- EVOLUCIÓN DE LA IMPEDANCIA EN ACEITUNA DURANTE SU MADURACIÓN, (SE MUESTRAN 4 ESTADOS: VERDE, ENVERO 1, ENVERO 2 Y MADURA). ....	52
ILUSTRACIÓN 25.- REPRESENTACIÓN GRÁFICA DEL ENSAYO DE CALIBRACIÓN REALIZADO CON RESISTENCIAS PATRÓN CONOCIDAS (MEDIDAS EN OHMIOS $\Omega$ ) Y VALORES QUE DEVUELVE EL EQUIPO. ....	54

ILUSTRACIÓN 26.- CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (% FE) E ÍNDICE DE MADUREZ (IM), PARA LAS CUATRO VARIEDADES .....	57
ILUSTRACIÓN 27.- CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (%FE) Y DUREZA (N/CM2), PARA LAS CUATRO VARIEDADES .....	58
ILUSTRACIÓN 28.- CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (% FE) Y ACIDEZ (Ac.), PARA TODAS LAS VARIEDADES .....	61
ILUSTRACIÓN 29.- CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (% FE) Y RENDIMIENTO GRASO, EXPRESADO EN % GMS ..	62

## ÍNDICE TABLAS

TABLA 1.- RESISTENCIAS PATRÓN (TOLERANCIA 1%), Y VALORES DEL ADC PARA CALIBRACIÓN DE ESPLINES CÚBICOS. ....	45
TABLA 2.- FECHA DE RECOLECCIÓN DEL MATERIAL VEGETAL EMPLEADO Y ENSAYOS REALIZADOS. ....	47
TABLA 3.- INTERVALOS DE TRANSICIÓN EN HZ Y KHZ .....	53
TABLA 4.- VALORES QUE DEVUELVE EL EQUIPO (%FE) Y RESISTENCIAS PATRÓN (OHMIOS).....	54
TABLA 5.- RESULTADOS DE LA MEDIDA DEL ÍNDICE DE MADUREZ, CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA Y DUREZA. ...	55
TABLA 6.- CORRELACIONES PEARSON ENTRE LA MEDIDA DE LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (% FE), EL ÍNDICE DE MADUREZ Y LA DUREZA. ....	60
TABLA 7.- RESULTADOS DE LA MEDIDA DE LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (EN % FE), GRASA SOBRE MATERIA SECA (EN % GMS) Y ACIDEZ (Ac.) .....	61
TABLA 8.- CORRELACIONES PEARSON ENTRE LA MEDIDA DE LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (% FE) Y EL PORCENTAJE DE GRASA SOBRE MUESTRA SECA (% GMS) .....	63





# INTRODUCCIÓN

---

## 1.- INTRODUCCIÓN

### 1.1.- El sector del olivar de almazara

Se estima que a escala mundial hay ya más de 15 millones de hectáreas de olivar, superficie que se va incrementando en unos 40 millones de olivos al año, pues este cultivo se está expandiendo de forma contundente en países ajenos a la Cuenca Mediterránea como Sudáfrica, Brasil y sobre todo China que con una estimación de más de 96 mil hectáreas plantadas coloca al continente asiático en el tercer puesto de productores. Se suma así a la tendencia iniciada por Chile, Argentina o Australia, lo que ha provocado, que el cultivo del olivo haya conquistado ya los cinco continentes. Además es destacable que estas nuevas plantaciones son de tipo intensivo o súper intensivo lo que se traduce en un incremento de la densidad de árboles y una disminución de los costes de producción por un aumento de las posibilidades de tecnificación.

Según los datos aportados por el Consejo Internacional del Olivo<sup>1</sup>, (COI, 2016), la producción europea se sitúa en 2.322,3 miles de toneladas, en la que España, con una producción aproximada del 40 % del total mundial es líder indiscutible de producción, seguido por Italia con 474,6 miles de toneladas y Grecia con 320 miles de hectáreas.

En España también ha habido un aumento del 34 % de la superficie desde 1989, situándose en 2015 una superficie de 2.605.252 hectáreas de las que más del 94,25 % son olivares destinados a la producción de aceite<sup>2</sup>, (ESYRCE, 2017). El último informe facilitado por la Agencia de Información y Control Alimentarios<sup>3</sup>, (AICA, 2016), la producción de aceite de oliva para la campaña 2015/2016 supera 1403 miles de toneladas. Según se observa en la Ilustración 1, para las últimas campañas estas

---

<sup>1</sup> Consejo Oleícola Internacional (COI, 2016) traducción al castellano de International Olive Council

<sup>2</sup> Encuesta Sobre Superficies y Rendimientos Cultivos (ESYRCE, 2017), Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente.

<sup>3</sup> Agencia de Información y Control Alimentarios (AICA, 2016), Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente.

producciones se establecen entre el mínimo de 618,2 miles de toneladas para la campaña 2012/13 y el máximo histórico de 1.781,5 miles de toneladas para la campaña 2013/14. En las campañas sucesivas se observa una alternancia entre de producción baja- alta – baja, que es fiel reflejo del efecto vecero que presenta el cultivo del olivo. Las 550,3 miles de toneladas para la campaña 2016/17, aún son datos temporales y sólo recogen datos hasta el mes de enero de 2017.

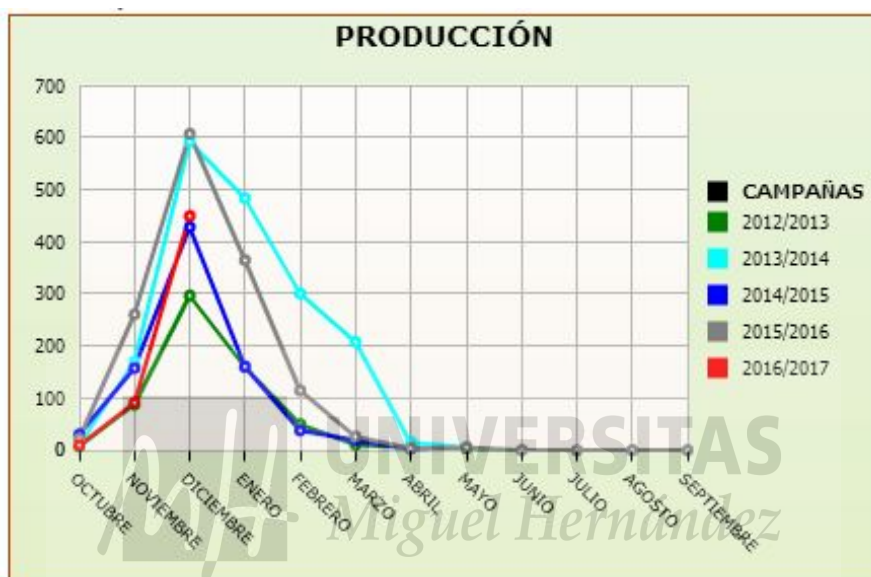


Ilustración 1.- Producción de aceituna de almazara por campañas, expresado en miles de toneladas.  
Fuente: (AICA, 2016) (Aforo del olivar, 2016)

Gran parte de la producción española se localiza en Andalucía, donde la superficie dedicada ya en 2015 era de 1.561,088 has, cuyas producciones en términos económicos superaron los 2.321 millones de Euros, Jaén aportó el 38 %, con casi 600 mil hectáreas (586,07 has), seguido por Córdoba (22 %) en algo más de la mitad de superficie (348,94 has), (Aforo del olivar, 2016), (CAPDR, 2016).

## 1.2.- Características generales de la aceituna.

La aceituna es el fruto del olivo (*Olea europaea* L.), es una drupa ovoide cuyo tamaño varía entre los 0,6 y los 2,0 cm de diámetro y 1,0 y 4,0 cm de longitud, en función principalmente de la variedad, del estado vegetativo del olivo, pero también de otros

factores extrínsecos al cultivar, como son las condiciones medio ambientales y las técnicas de cultivo (Rapoport, 2008).

La aceituna presenta tres tipos de tejidos diferenciados, que se disponen unas sobre otras, desde el exterior al interior del fruto encontramos el epicarpio o piel, mesocarpio o pulpa y el endocarpio o hueso (Ilustración 2).

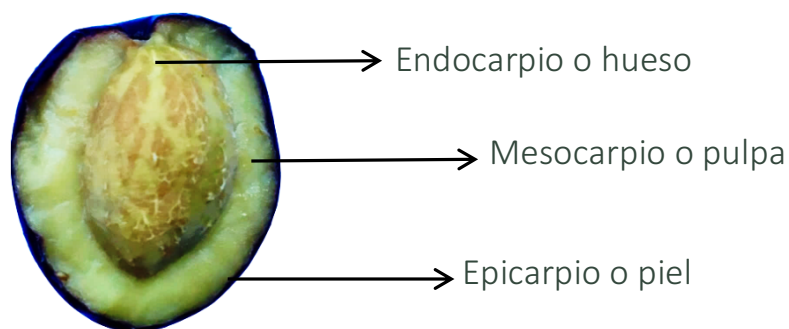


Ilustración 2.- Corte longitudinal donde se observan los diferentes tejidos que conforman el fruto

En un fruto completamente desarrollado, el tamaño de estas capas y de las células que las forman varía ligeramente según la variedad de la aceituna, el estadio, y otros factores exógenos principalmente, el sistema de cultivo y la climatología (Barranco, D., et al., 2008). Por norma general, el epicarpio supone entre el 2,0 % y 2,5 % del peso del fruto. Este está formado por una capa de células mayoritariamente triangulares u ovaladas de 32-37  $\mu\text{m}$  con espacios intercelulares ocupados por cutina (polímero de ácidos grasos unidos por enlaces éster). La superficie exterior está cubierta por una cutícula de grosor variable (formada por crestas de unos 12-17  $\mu\text{m}$  en la parte más estrecha y unos 25-47  $\mu\text{m}$  en la más ancha) que a su vez está recubierta por ceras epicuticulares. Además presenta una serie de estomas responsables de la respiración del fruto (Civantos, 2008b).

El mesocarpio constituye entre el 70 % y el 90 % del peso total de la aceituna. Está formado por tejido parenquimatoso compuesto por células pectocelulósicas almacenadoras de compuestos orgánicos e inorgánicos. Las dos primeras capas de células forman la hipodermis, estas células son compactas y pequeñas mientras que en el resto del mesocarpio son más grandes pero con paredes más delgadas. Todo el tejido

parenquimático se encuentra unido por pectinas compuestas mayoritariamente por ácidos poligalacturónicos en la laminilla media que une la celulosa, la pectocelulosa o la hemicelulosa de las paredes primarias de dos células adyacentes. Otras células destacadas de la pulpa son las escléreas o células pétreas cuyas paredes celulares son altamente lignificadas y que participan en el mantenimiento de las características de firmeza de los frutos (Civantos, 2008a), (Fernández Díaz, M.J., et al., 1985).

El endocarpio supone entre el 15 % y el 23 % del peso del fruto, está formado por una capa de células lignificadas que protegen en su interior la semilla con el embrión (2 - 4 % peso de la aceituna), (Civantos, 2008b). En la Ilustración 3 se representa la estructura básica del epicarpio y mesocarpio de la aceituna.

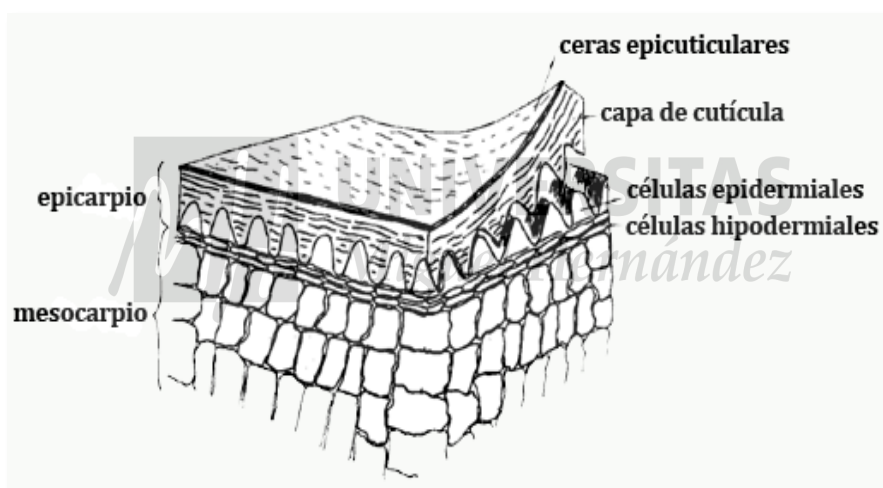


Ilustración 3.- Representación gráfica de la estructura del epicarpio y mesocarpio de la aceituna. Modificado de Marsilio (Marsilio, V., et al., 1996).

Los componentes mayoritarios de la aceituna son el agua y el aceite (Fernández Díaz, M.J., et al., 1985), existiendo una relación inversa entre sí. En el mesocarpio, el contenido en agua representa entre un 50 - 60 % y el de aceite entre un 20 – 30 %. El endocarpio o hueso, presenta unos contenidos tanto en agua como en aceite inferiores, tomando valores del orden del 9 % de agua y menos del 1 % de aceite. La semilla, por su parte, presenta contenidos medios de agua y aceite del orden del 30 % y del 27 % respectivamente (Hermoso, M., et al., 2008).

Además del agua y aceite, en las aceitunas maduras se encuentran otros compuestos tales como azúcares, proteínas, pectinas, ácidos orgánicos, taninos, componentes inorgánicos entre otros, cuyas proporciones varían en función de la variedad, condiciones climáticas o grado de madurez del fruto (Civantos, 2008b).

Según Civantos, (Civantos, 2008b), en el momento de la recolección, para la elaboración de aceite, la composición de la aceituna debe ser la siguiente: Agua: 40 – 55 %; Aceite: 18 - 32 %; Hueso: 14 – 22 %; Semilla: 1 - 3 %; Epicarpio y resto de pulpa: 8 - 10 % (Ilustración 4).

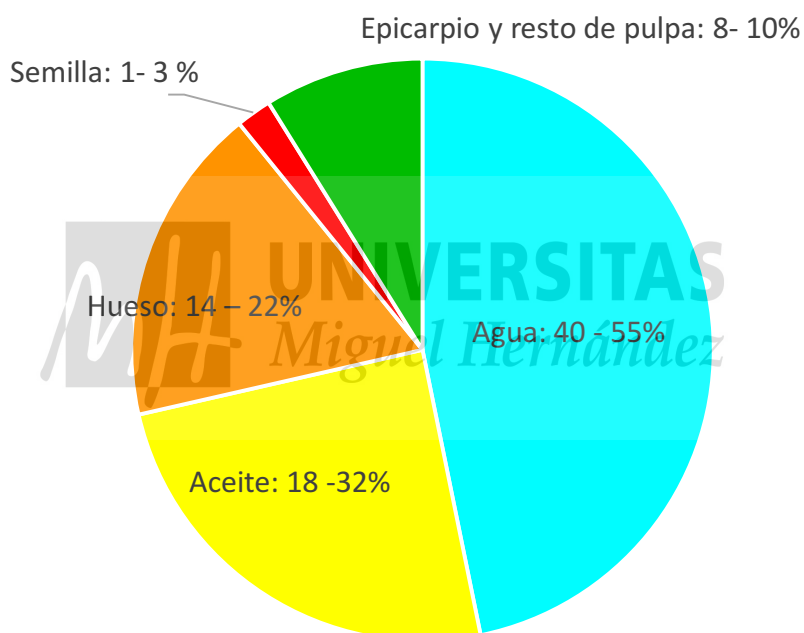


Ilustración 4.- Composición de la aceituna en plena madurez.

### 1.3.- Índice de madurez de la aceituna.

Diferentes estudios (Maxie, E.C., et al., 1960), (Vázquez, R.A., et al., 1971), (Leone & Vitagliano, 1975), (Donaire, J.P., et al., 1975), han determinado que los cambios que se producen durante la maduración de los frutos pueden establecerse como indicadores del estado de madurez de los mismos para así, establecer el momento óptimo de su recolección.

La respiración de los frutos fue uno de los primeros parámetros en estudiarse y ha sido el más valorado para determinar el momento óptimo de recolección (Ranalli, A., et al., 1998), pero existen otros muchos, como la variación de ácidos orgánicos en hojas y frutos (Donaire, J.P., et al., 1975), el contenido de ácidos grasos y su distribución en el fruto (Leone & Vitagliano, 1975) o la variación de la relación ácido málico/ácido cítrico (Vihaov, 1976) entre otros.

Determinar los índices de maduración de los frutos de una forma objetiva ha exigido que de forma previa se desarrollen dispositivos y metodologías diseñadas expresamente. Los parámetros variables más obvios relacionados con la maduración de los frutos son el color y la textura del fruto, por lo que lógicamente, son los que se han tenido presentes a lo largo de la historia para determinar el momento óptimo de la recolección. En 1979, Ferreira (Ferreira, 1979) determina el índice de madurez de la aceituna según la variación de color de su exocarpio y mesocarpio, clasificando el estado de madurez de las mismas en siete categorías (Ilustración 5).

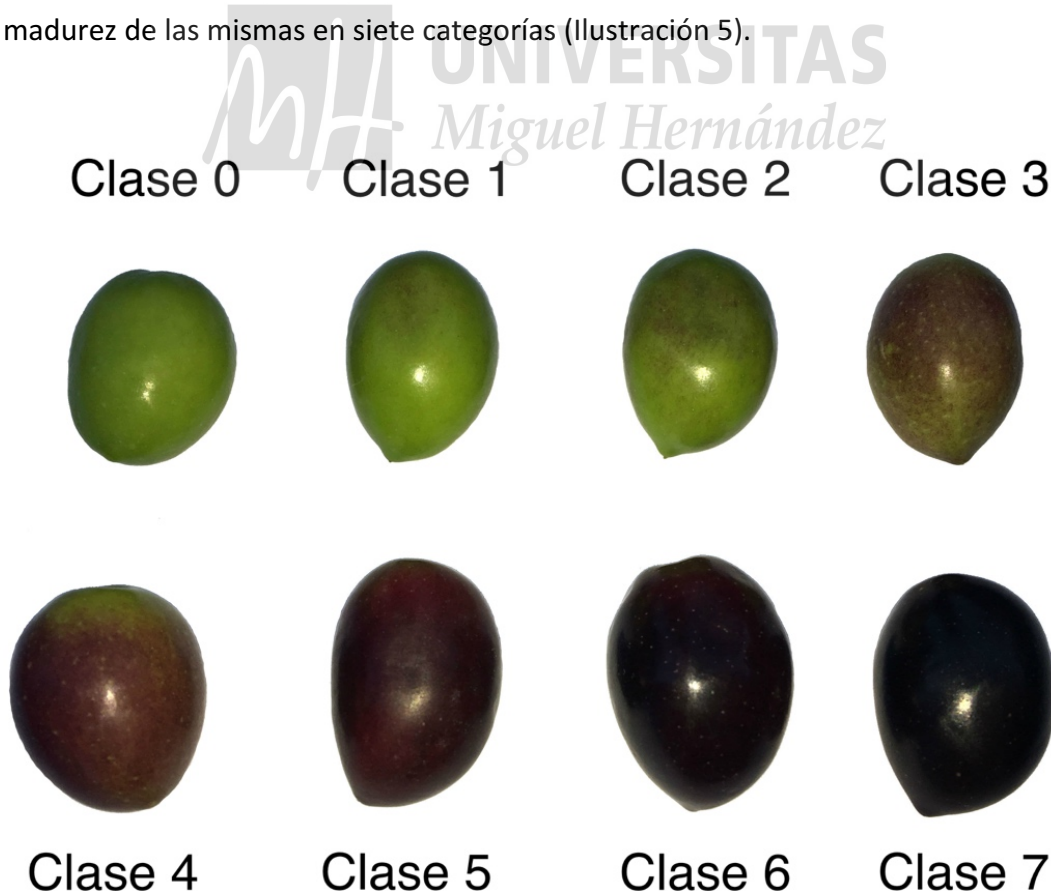


Ilustración 5.- Clasificación de la coloración del exocarpio, según Ferreira (1979).

Estas siete clasificaciones son:

Clase 0 = Exocarpio verde intenso

Clase 1 = Exocarpio verde amarillento

Clase 2 = Exocarpio verde con manchas rojizas en menos de la mitad del fruto.

Inicio del envero

Clase 3 = Exocarpio rojizo en más de la mitad del fruto. Final del envero

Clase 4 = Exocarpio negro y mesocarpio blanco

Clase 5 = Exocarpio negro y menos de la mitad del mesocarpio morado

Clase 6 = Exocarpio negro y más de la mitad del mesocarpio morado

Clase 7 = Exocarpio negro y mesocarpio completamente morado

Para calcular el índice de madurez (IM), se emplea la siguiente expresión (Ferreira, Explotaciones olivereras colaboradoras, 1979):

$$IM = \frac{A \cdot 0 + B \cdot 1 + C \cdot 2 + D \cdot 3 + E \cdot 4 + F \cdot 5 + G \cdot 6 + H \cdot 7}{100}$$

Donde A, B, C, D, E, F, G Y H, son el número de frutos que hay de cada clase.

Esta clasificación de la madurez de los frutos según el grado de coloración de la piel y pulpa, también se la conoce como "Método Jaén" y es el que habitualmente se emplea, tomando muestras de 100 frutos cada vez, para determinar el momento de recolección de los frutos, aunque éste no deja de ser un método básicamente empírico y subjetivo. Posteriormente en 1998 Civantos (Civantos, 2008a), propone el inicio de la maduración como la etapa en la que comienza a disminuir el contenido de clorofila en los tejidos del fruto, justo antes de la acumulación de antocianinas.



Uno de los factores principales que hay que considerar para fijar el momento adecuado de la recolección de la aceitunas, es el contenido en ácidos grasos en la aceituna. Para la determinación del contenido graso de la aceituna se utiliza la relación entre el contenido de aceite total sobre materia seca, expresado en porcentaje, empleando la expresión de la Ecuación 1 (Barranco, D., et al., 2008):

Donde:

% MG/ MS: % Materia grasa sobre materia seca.

% G: % Contenido graso sobre materia húmeda o Rendimiento.

% H: % Humedad de la aceituna.





## 2.- ANTECEDENTES

---

### 2.- ANTECEDENTES

Los cambios fisiológicos y las variaciones en los componentes químicos que sufren las diferentes especies hortofrutícolas durante la maduración han sido objeto de numerosas investigaciones y es que desde la antigüedad, por su estrecha relación con la calidad, el estado de madurez de frutas y hortalizas ha sido el factor determinante en los procesos de almacenaje y transporte para comercialización y posterior consumo de los diferentes productos hortofrutícolas. En 1896 Gerber (Gerber, 1896), detecta un importante intercambio gaseoso durante el proceso de madurez de diferentes frutas, pero no es capaz de relacionar ambos parámetros. Habrá que esperar a los futuros trabajos de Müller Thurgau y Schneider Orelli (Müller-Thurgau & Schneider-Orelli, 1908), (Müller-Thurgau & Schneider-Orelli, 1910), que les permiten establecer la relación entre el estado de madurez y la tasa de CO<sub>2</sub> en diferentes frutas. Posteriormente, Kidd y West (Kidd, 1924), (Kidd & West, 1924), (Kidd & West, 1925), definen el momento que separa el proceso de maduración con el inicio de la senescencia y acuñan el término “climatérico” para definirlo.

El proceso de maduración de los frutos es complejo e implica que se desarrollen una serie de fenómenos como la fermentación, fotosíntesis, respiración, transpiración, emisión de sustancias, (Durán Torrallardona, 1983). En el momento de la cosecha, estos frutos son separados de su fuente natural de nutrientes, pero aun así desarrollan actividades metabólicas en las que se produce energía por la oxidación de los azúcares y ácidos orgánicos que dan lugar a la formación de agua y CO<sub>2</sub> (Primo Yúfera, 1979). En 1960 Biale, (Biale, 1960), distingue una serie de frutos que en la fase de post cosecha no mostraban un aumento ni en la respiración ni en la producción de etileno y clasificó los frutos en función del contenido de etileno auto-catalítico en climatéricos y no climatéricos.

Las exigencias comerciales actuales dilatan el periodo comprendido entre la recolección y el consumo de los frutos, lo que ha obligado a retrasar el periodo de maduración especialmente en frutos climatéricos, lo que han puesto de manifiesto la necesidad de controlar el estado de madurez del fruto en el momento de la recolección pero también durante la conservación, en la que se debe de mantener la calidad comercial del fruto. Por ello se han desarrollado nuevas técnicas de conservación, como son las técnicas de atmósfera controlada y atmósfera modificada (Montoya Lirola, 1992). Numerosos trabajos de investigación han sido enfocados a determinar índices de madurez óptimos y parámetros de calidad adecuados (Jackson & Weaver, 1966), (Nelson, 1991) (Ezeike, 1987). En este sentido cabe destacar el enorme impacto que ha supuesto la electrónica en la industria agroalimentaria que han sido implementados en los sistemas de calidad, de almacenamiento y de control, entre otros (Studman, 2001).

La evaluación de las propiedades eléctricas se emplean en una amplia gama de disciplinas e industrias (Hlaváčová, 2003). En el sector agroalimentario, la medida de la conductividad eléctrica (CE) se aplica para la determinar diversas características de distintos productos agroalimentarios (Alwis & Mitchell, 1989), (Nelson, 1991), pero también para estimar la sensibilidad a heladas o la tolerancia de los frutos a la congelación, o tasar el contenido de humedad y la capacidad de germinación de semillas (Paine, D.H., et al., 2002).

Paralelamente se han desarrollado diversos métodos capaces de determinar los cambios en las propiedades eléctricas de los frutos durante la maduración (Montoya Lirola, 1992). En 1966 Jackson y Weaver (Jackson & Weaver, 1966), sugieren que la medida de la impedancia eléctrica a frecuencias del orden de magnitud de  $10^3$  hercios (Hz), pueden constituir un índice objetivo de madurez en el melocotón (*Prunus persica* L.). Para ello emplearon un puente de impedancias y un sistema de electrodos, consistente en dos agujas niqueladas con una separación de 5 mm y una longitud de penetración de 7 mm, dispuestas en un cabezal de goma. Las medidas, tomadas a 250 y 4000 Hz, se

obtuvieron insertando los electrodos en la zona ecuatorial del fruto y tomando el primer valor registrado por el puente de impedancia. Los cambios de impedancias fueron apreciables únicamente para la frecuencia de medida más baja. La impedancia aumentó progresivamente durante las cuatro semanas previas al alcance de la madurez de recolección y disminuyó a continuación con la progresiva maduración post cosecha del melocotón.

Empleando básicamente la misma técnica de Jackson y Weaver, otros autores (Cline et al., 1981) determinaron la impedancia eléctrica en manzanas (*Malus domestica* B.) tratadas con daminocina y calcio (usados como reguladores del crecimiento), como un índice de los cambios de permeabilidad en la membrana. A posteriori se observó que la variedad de la manzana y la temperatura, influían sobre la impedancia eléctrica, impidiendo que esta se pudiese aplicar eficazmente con fines comerciales (Jackson & Harker, 2000).

La mayoría de los estudios de impedancia, se han dirigido hacia los cambios producidos por la aclimatación en frío y los daños causados en el fruto por el frío (Hall, McLaughlin, & Stout, 1987) (Stout, 1988). Arnold, Bauchot y Harker en el año 2000 (Arnold, Bauchot, & Harker, 2000), hicieron uso de la espectroscopía de impedancia eléctrica para evaluar la condición fisiológica del kiwi (*Actinidia deliciosa* A. Chev.) durante su maduración, utilizando corriente alterna a frecuencias entre 50 Hz y 1 MHz. Durante maduración hubo pocos cambios en las características de impedancia de la fruta, a pesar de una disminución de 10 veces en la firmeza. Esto resultó inesperado ya que los estudios anteriores con la nectarina (*Prunus persica* var. *nectarina*) (Dunlop & Harker, 1994), y el caqui (*Diospyros kaki* L.), (Harker & Forbes, 1997), mostraron una considerable reducción de la impedancia durante la maduración. Todos los resultados sugieren que la movilidad de los electrolitos dentro de la pared celular no cambia durante la maduración del kiwi. Los autores especulan que las interacciones físico-químicas que tienen lugar dentro de la pared celular puede tener un gran impacto en la impedancia del tejido del kiwi.

Por otro lado también se han llevado a cabo distintos estudios sobre propiedades dieléctricas en frutas y hortalizas. Así por ejemplo Coleman y Hart (Coleman & Hart, 1989), midieron las propiedades dieléctricas de las manzanas utilizando espectroscopía en el dominio del tiempo. En 1993 Cole y Hart (Cole & Hart, 1993), midieron la capacitancia y la conductancia de los espectros entre 100 Hz. y 100 kHz. para tres variedades de manzana. El análisis de los espectros para varios tipos de material de electrodo indica qué efectos de los electrodos no era relevante para las frecuencias superiores a 1 kHz.

Investigaciones recientes (Butz et al., 2005), (Nelson & Nigmatullin, 2006), (Abu Izneid, B., et al., 2011), proponen el estudio de la impedancia eléctrica como una técnica no invasiva, tanto para la evaluación y análisis de la calidad de frutos, como para la cuantificación del índice de madurez sin ensayos destructivos de los mismos.

## 2.1.- Revisión de los equipos y técnicas afines desarrollados hasta la fecha.

En marzo de 1986, Barceló (Barceló Homs, 1986), solicita la patente para un conductímetro capaz de detectar líquidos extraños mezclados con el agua. La principal novedad que presenta Barcelo es que su conductímetro es digital, con lo que consigue multiplicar la precisión de las medidas que hasta entonces se obtenían con los mismos métodos analógicos.

En 1994 (Mayo, 1994), se registra un sensor consistente principalmente en varias bobinas, una principal capaz de generar un campo electromagnético variable en el tiempo y otras dos secundarias que inducen voltajes opuestos entre ellas y que son capaces de detectar las variaciones que provocarían el paso de un material conductor no metálico entre ellas. La ventaja que supone esta nueva técnica e invención es la de proporcionar un sistema preciso y fiable que permita determinar la naturaleza o propiedades de diferentes materiales que sean conductores aunque no metálicos, como les ocurre a los alimentos.

Estos dispositivos no empiezan a implementarse con cierto éxito hasta finales del siglo XX en el ámbito de agronómico. Por ejemplo, las técnicas existentes para determinar la humedad de un suelo, abarcaban desde los clásicos métodos gravimétricos caracterizados por ser destructivos e imposibles de automatizar hasta aquéllas posteriores (Topp et al., 1980), que se basaban en la evaluación de la constante dieléctrica mediante la medición de la velocidad de propagación de impulsos eléctricos. Esta última técnica se popularizó rápidamente por ser relativamente sencilla y rápida de emplear y además no es destructiva. Sin embargo implica varias dificultades que la encarecen y la hacen poco precisa: el tiempo de los impulsos eléctricos es demasiado bajo por lo que induce a errores en la medida de los intervalos necesarios. Esto la convierte en una técnica inútil en suelos que presenten una baja conductividad eléctrica, pues en ellos se producen interferencias por: 1.- el amplio espectro de frecuencias que utiliza, 2.- la baja velocidad de propagación que presentan a través del material a analizar y 3.- la sonda que emplea debe tener una longitud mínima, lo que obliga a tener que trabajar con grandes volúmenes de suelo a analizar.

En 1998, Vidal (Vidal Pezzi, 1998), presenta un dispositivo capaz de solventar estos inconvenientes. Sustituye los impulsos eléctricos por ondas senoidales de frecuencia única y descarta así la necesidad de medir los intervalos de tiempo en la velocidad de propagación de los impulsos. En su caso mide la impedancia compleja a frecuencia constante de los electrodos que emplea como sonda.

En el ámbito de post cosecha de frutas y verduras, se tendrá que esperar casi una década para conocer un dispositivo de medida de la conductividad eléctrica diseñado específicamente para el control y manejo de estos productos.

En 2005, Sinclair y Briggs (Sinclair & Briggs, 2005), proponen un dispositivo múltiple que permitiría medir el estado de la fruta y vegetales por un sistema de émbolos no destructivos y uno o varios sensores pasivos: un sistema de vacío capaz de analizar la emisión gaseosa, de la fluorescencia clorofílica por medio de un dispositivo óptico y uno eléctrico capaz de medir la transferencia de carga. Estos sensores indicarían el grado de

maduración de cada fruto o vegetal permitiendo una correcta clasificación y manejo de los mismos.

En este mismo sentido desde la Universidad Politécnica de Valencia se propone en 2012, (Fito Suñer, et al., 2012a), (Fito Suñer, et al., 2012b), un método basado en medir el espectro dieléctrico de la fruta (espectroscopía eléctrica) que permitiría una rápida y eficaz clasificación de la misma según su grado de madurez. Para ello proponen un primer procedimiento de calibración basado únicamente en las mediciones dieléctricas, que además permitirían establecer el contenido en azúcares y ácidos orgánicos y del que se obtendría un Índice de Maduración Dieléctrica a partir de la cual establecer un valor de referencia que hiciese posible la clasificación para cada pieza de fruta, máxime si los sensores se integran en una máquina clasificadora tradicional de calibre, peso o color.







## 3.- JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS

---

### 3.- JUSTIFICACION Y OBETIVOS

La medida de parámetros eléctricos en frutos como elementos de caracterización objetiva de la madurez del fruto se ha empleado desde hace tiempo (Jackson & Weaver, 1966), permitiendo que se pueda cuantificar el índice de madurez sin ensayos destructivos del fruto.

El principal objetivo del presente trabajo es el desarrollo y evaluación de un conductímetro de baja frecuencia (50 Hz)<sup>4</sup>, y una caracterización preliminar de la conductividad del mesocarpio aplicado a la aceituna de almazara.

Para ello se procedió a:

1. Ensayos preliminares y estudio de la impedancia en un espectro amplio de frecuencia.
2. Diseño en laboratorio de un medidor experimental de impedancia para una frecuencia fija.
3. Medición de la conductividad eléctrica del mesocarpio de frutos de aceituna y estudio de la correlación con otros parámetros: la dureza y rendimiento graso, acidez, etc.

---

<sup>4</sup> Los ensayos de laboratorio que ya se han efectuado avalan esta cifra como idónea.



MATERIALES Y MÉTODOS

## 4.- MATERIALES Y MÉTODOS

---

### 4.- MATERIALES Y MÉTODOS

Para conocer el efecto de la frecuencia de la corriente eléctrica empleada en la medida de la impedancia de la pulpa de las aceitunas, se han realizado pruebas iniciales con un medidor de impedancia eléctrica basado en un chip AD5933 (Ferreira, J. et al., 2010). Estas pruebas previas han permitido asegurar que es suficiente la medida de la impedancia a una sola frecuencia. Ensayos posteriores con otras variedades conducirán a la misma aseveración.

El chip AD5933 (Serres, 2012), es un medidor de impedancia de alta precisión (12 bits), que incluye internamente un generador digital senoidal (DDS) y un convertidos A/D de 12 bits y 1 MSPS que es el encargado de hacer la estimación de la impedancia. El AD5933 incorpora un interfaz I<sup>2</sup>C para configurar y controlar este chip desde un dispositivo I<sup>2</sup>C maestro.

El AD5933 emplea un pin para inyectar una señal de onda sinusoidal de tensión y otro pin para leer la corriente circulante, con ello puede estimar la magnitud de impedancia y los valores de fase. La señal de voltaje sinusoidal excursiona con una gama de frecuencias de 1 Hz a 100 kHz. El rango de impedancias que el chip puede medir es de 1 k $\Omega$  a 1 M $\Omega$ . El tiempo de conversión de impedancia es de aproximadamente 1 ms cuando se emplea un oscilador de 16 MHz como base de tiempos del chip AD5933.

Para obtener los valores de magnitud y fase de la impedancia conectada, tras aplicar la tensión y medir la corriente que circula por la impedancia con el conversor A/D, el chip realiza una transformada directa de Fourier (DFT) de 1024 puntos sobre la señal digitalizada, entonces el resultado se coloca en dos registros separados. Para obtener los valores reales e imaginarios de la impedancia, los resultados obtenidos deben multiplicarse por un factor de calibración que se ha obtenido previamente en una fase de calibrado.

#### 4.1.1. Tarjeta de evaluación AD5933EBZ

Para poder usar el chip AD5933 se ha adquirido una tarjeta de evaluación EVAL-AD5933EBZ; Analog Devices, cod. 2301749, Farnell, (Analog Devices, 2015), que incluye este chip AD5933 (Analog Devices, 2010), ver Ilustración 6.

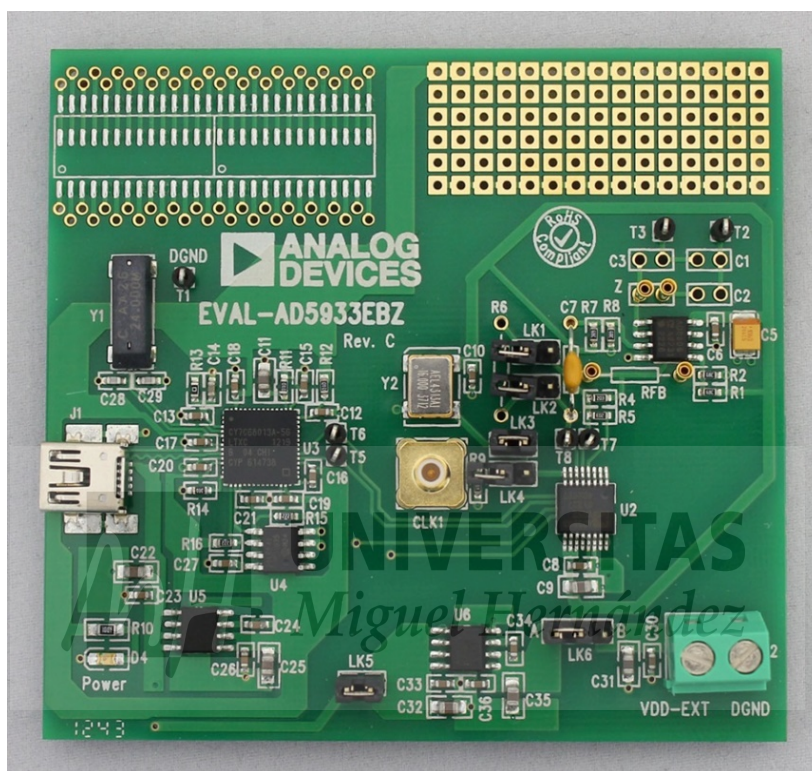


Ilustración 6.- Tarjeta de evaluación EVAL - AD5933EBZ, para la medida de la impedancia compleja con barrido de frecuencia.

#### 4.2.- Diseño de un medidor de impedancia para una frecuencia fija de 50 Hz

Se diseñó un medidor de impedancia para una frecuencia fija de 50 Hz con el que se midió la conductividad eléctrica de la pulpa de las aceitunas. Consta de: (1) un transformador reductor de 230 V a 6 V en corriente alterna, que proporciona la señal de excitación a aplicar con una frecuencia constante de 50 Hz.

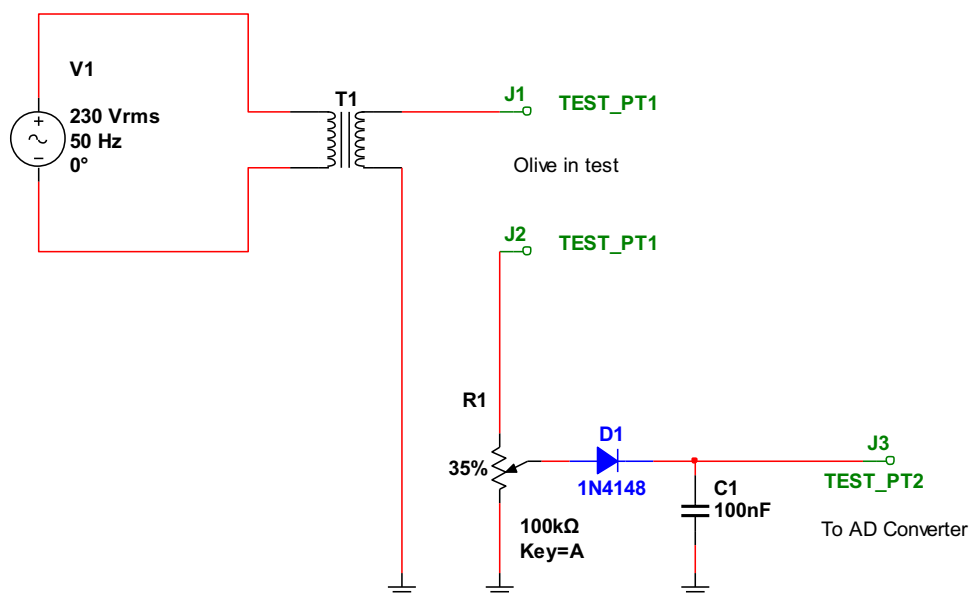


Ilustración 7.- Representación gráfica del circuito electrónico diseñado.

Esta señal de excitación se divide con (2) un divisor resistivo en dos partes, una de ellas sobre una resistencia patrón de valor conocido y la otra sobre la propia pulpa del fruto. El valor de la tensión medida sobre esta última es rectificado por un rectificador a diodo (3) y finalmente es digitalizada por (4) un convertidor analógico digital (AD) de 10 bits con conexión USB que gestionado por un microcontrolador PIC 18F2550, permite el volcado de la información a un PC.

Las sondas empleadas para la medida de la conductividad eléctrica atienden a la Ecuación 2:

$$S = \frac{1}{R} \cdot \frac{L}{A} \quad (2)$$

La lectura depende de la geometría de la celda de medición (una célula de medición consta al menos de dos polos con carga opuesta), que se describe con la constante de celda (K), siendo esta la relación entre la distancia (l) y el área (A) de los polos:

$$K = \text{Constante de la celda} \rightarrow K = l/A \text{ (cm}^{-1}\text{)}$$

Los términos de la ecuación son:

L = Distancia entre los electrodos (cm)

A = Área eficaz de la sección transversal del electrolito entre los electrodos (cm<sup>2</sup>)

S = Conductividad (S/m)

R = Resistencia media ( $\Omega$ )

En este caso, los electrodos seleccionados incluyeron la condición  $S \times R = 1$  ( $K=1$  cm<sup>-1</sup>, con  $l=0,254$  cm). La longitud (L) de los electrodos empleados fue  $L = 0,254$  cm, (ver Ilustración 21), que es adecuada para perforar la pulpa de la aceitunas sin alcanzar el hueso.

Inicialmente, dada la época en la que se realizan los primeros ensayos, las aceitunas están verdes y para distinguir entre dos zonas con conductividad eléctrica distinta, se procede a tratar parcialmente la superficie con hidróxido de sodio (NaOH) al 50 %.

El circuito de test está basado en un divisor de tensión resistivo, un osciloscopio mide el valor eficaz de la tensión alterna obtenida a partir de un transformador reductor.

El montaje en prototipo, medidas y aceitunas se muestran en las Ilustraciones 8 a 12.

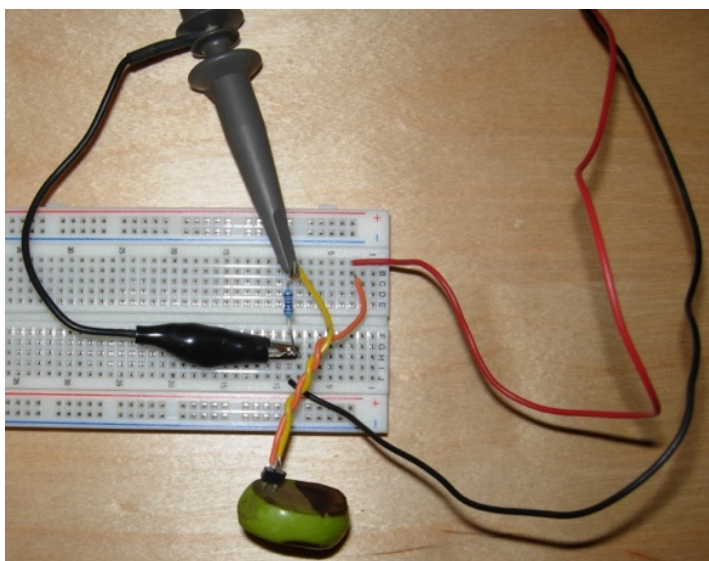


Ilustración 8.- Placa de desarrollo con el montaje para la medida de conductividad en la zona libre de hidróxido de sodio.

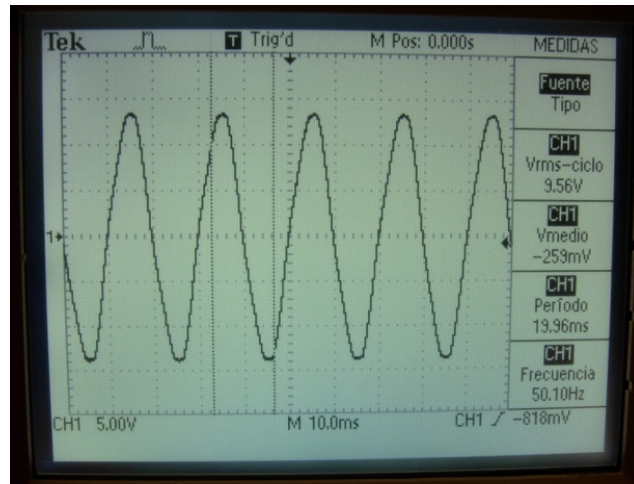


Ilustración 9.- Captura de pantalla del osciloscopio con nivel de tensión eficaz (9.56 V), correspondiente a la medida de conductividad en la zona libre de hidróxido de sodio.

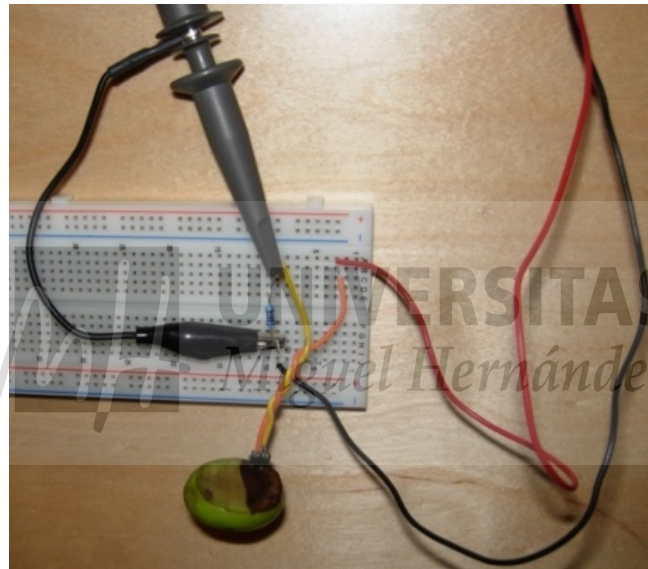


Ilustración 10.- Placa de desarrollo con el montaje para la medida de conductividad en la zona afectada por el hidróxido de sodio.

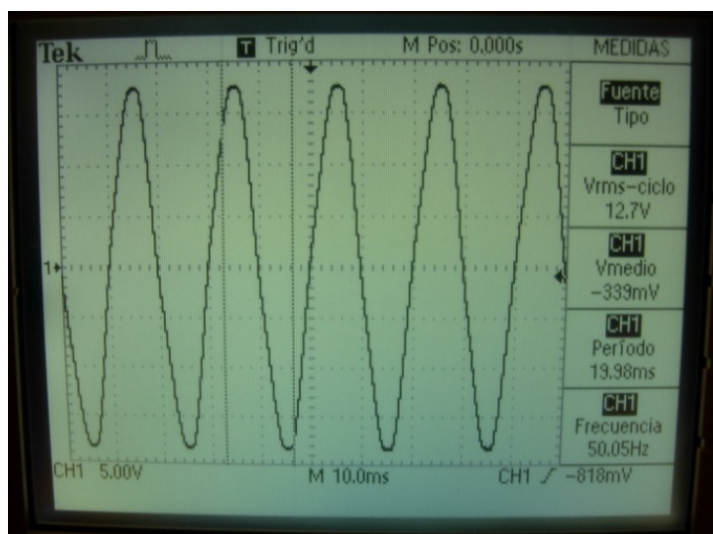


Ilustración 11.- Captura de pantalla del osciloscopio con nivel de tensión eficaz (12,7 V), correspondiente a la medida de la conductividad eléctrica en la zona afectada por el hidróxido de sodio.





Ilustración 12.- Estado de la aceituna tras el análisis de la conductividad donde se aprecian las zonas punzonadas.

Como cabe esperar, la presencia de hidróxido de sodio (NaOH) incrementa la conductividad eléctrica medida. El empleo de corriente alterna (CA), es fundamental dado que si se emplea corriente continua (CC), se produce un movimiento de electrolitos en la pulpa de la aceituna y por tanto la medida no es estable variando esta de manera continua en el tiempo.



#### 4.2.1.- Montaje de un prototipo para su uso en laboratorio

En las Ilustraciones 13 y 14 se aprecia la parte hardware del prototipo una vez ensamblado sobre PCB.

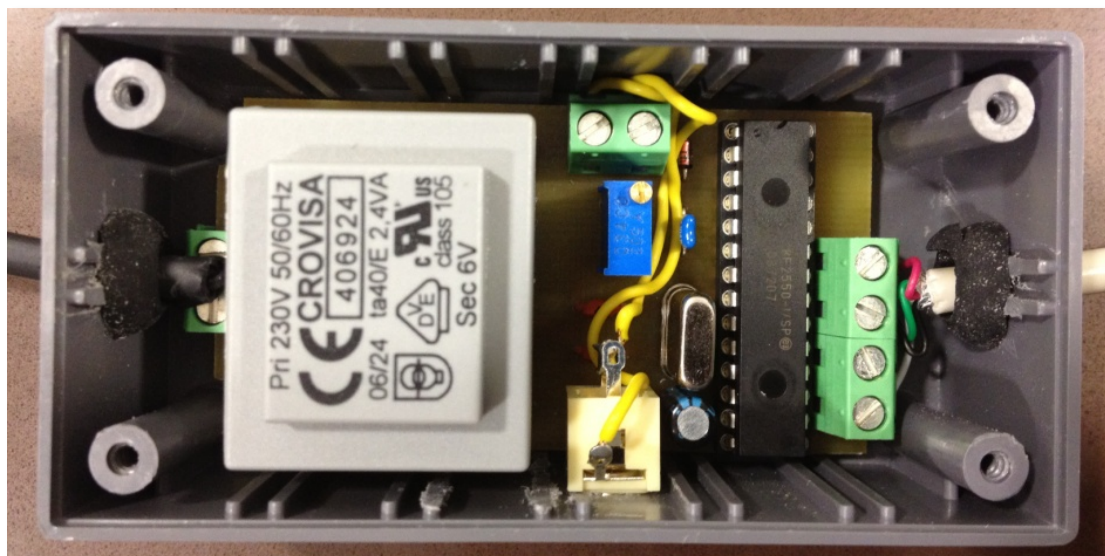


Ilustración 13.- Componentes del prototipo de conductímetro para laboratorio.

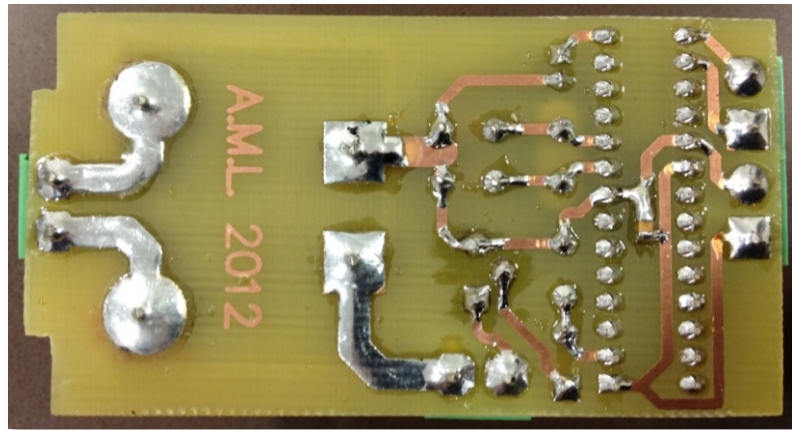


Ilustración 14.- Soldaduras placa del prototipo de conductímetro para laboratorio.

#### 4.2.2.- Software de gestión del conductímetro.

La señal eléctrica de CA que contiene la información de conductividad se debe procesar para su posterior registro. Para ello se empleó un circuito basado en un rectificador a diodo y un convertidor analógico-digital (AD), Ilustraciones 15 y 16.

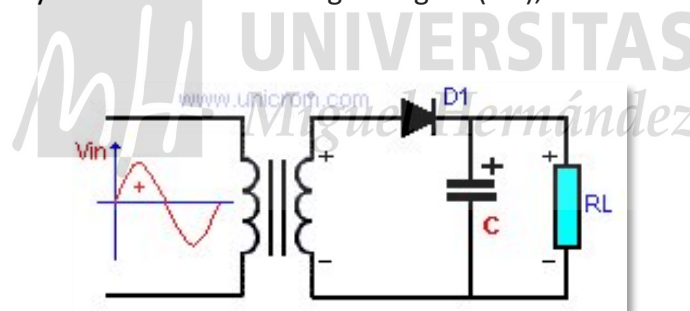


Ilustración 15.- Rectificador de media onda.

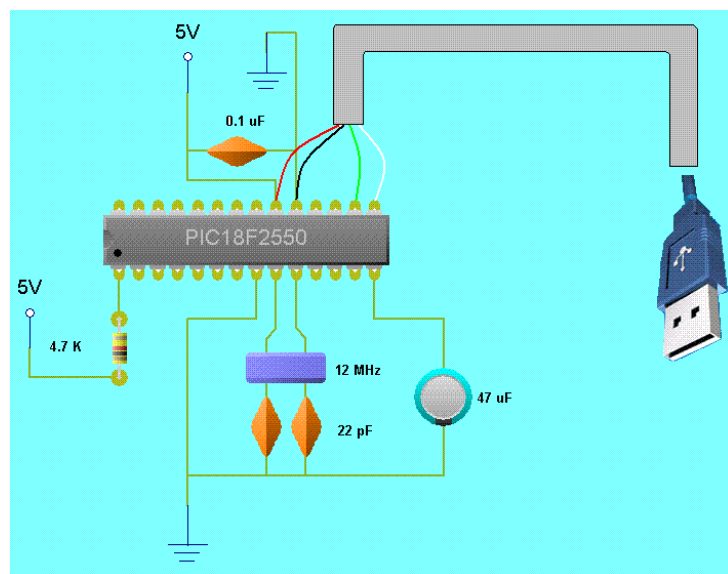


Ilustración 16.- Convertidor AD con conexión USB.

Para el volcado de la información a P.C. se empleó una conexión USB, de forma que toda la gestión de la digitalización analógico digital y conexión USB se encomienda a un microcontrolador PIC18F2550.

El conductímetro emplea dos programas, uno escrito para el microcontrolador y otro para el PC. En ambos casos se ha usado lenguaje Basic para efectuar la programación, Pic Basic Pro Compiler para el PIC18F2550 y Visual Basic 6.0 para el PC.

El programa del microcontrolador trabaja en un bucle cerrado realizando continuamente conversiones AD que son enviadas vía USB al P.C. (Ilustración 17). Por su parte el programa del PC desarrollado, realiza (Ilustración 18) tres funciones simultáneas: recepción de los datos vía USB, conversión a niveles de resistencia ( $\Omega$ ) o de conductividad (S) y grabación de los datos en un fichero para su gestión posterior.

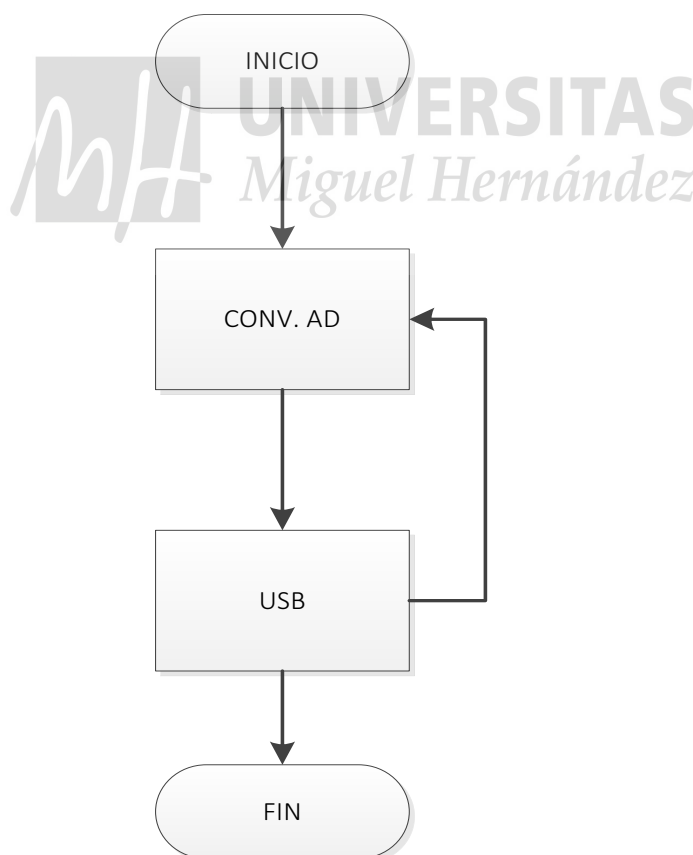


Ilustración 17.- Organigrama del programa del microcontrolador.

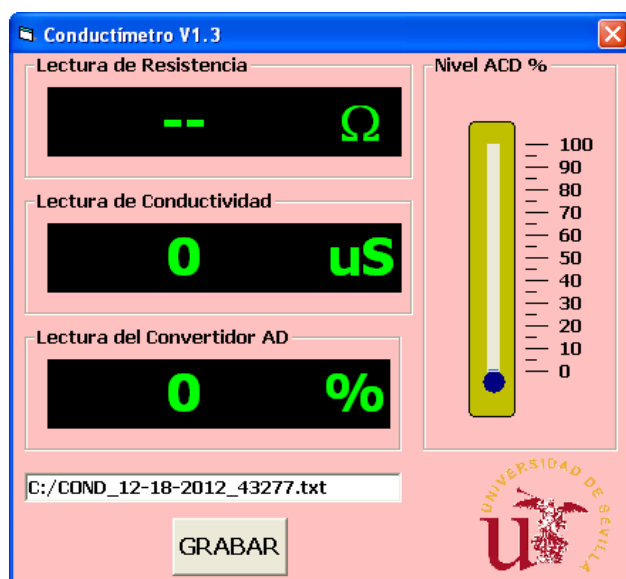


Ilustración 18.- Programa para P.C..

Para la conversión de niveles de tensión a niveles de resistencia o conductividad eléctrica se ha empleado una aproximación por splines cúbicos, como se muestra en el siguiente fragmento del programa:

```
Private Const nPoints = 17
Private x(nPoints) As Single
Private y(nPoints) As Single
Private p(nPoints) As Single
Private u(nPoints) As Single
```

```
Private Function getCurvePoint(i As Integer, v As Single) As Single
    Dim t As Single
    t = (v - x(i)) / u(i)
    getCurvePoint = t * y(i + 1) + (1 - t) * y(i) + u(i) * u(i) * (F(t) * p(i + 1) + F(1 - t) * p(i)) / 6#
End Function
```

```
Private Function F(x As Single) As Single
    F = x * x * x - x
End Function
```

```
Private Sub SetPandU()
    Dim i As Integer
    Dim d(nPoints) As Single
    Dim w(nPoints) As Single
    For i = 2 To nPoints - 1
        d(i) = 2 * (x(i + 1) - x(i - 1))
    Next
```

```

For i = 1 To nPoints - 1
    u(i) = x(i + 1) - x(i)
Next
For i = 2 To nPoints - 1
    w(i) = 6# * ((y(i + 1) - y(i)) / u(i) - (y(i) - y(i - 1)) / u(i - 1))
Next
For i = 2 To nPoints - 2
    w(i + 1) = w(i + 1) - w(i) * u(i) / d(i)
    d(i + 1) = d(i + 1) - u(i) * u(i) / d(i)
Next
p(1) = 0#
For i = nPoints - 1 To 2 Step -1
    p(i) = (w(i) - u(i) * p(i + 1)) / d(i)
Next
p(nPoints) = 0#
End Sub

```

Dim piece As Integer, xPos As Single, yPos As Single

```

xPos = dato
x(1) = 0:          yPos = 100000
x(2) = 10.5894:   yPos = 36400
x(3) = 11.3738:   yPos = 34000
x(4) = 18.4334:   yPos = 20000
x(5) = 32.1604:   yPos = 9940
x(6) = 49.4172:   yPos = 4960
x(7) = 56.4768:   yPos = 3740
x(8) = 61.9676:   yPos = 3000
x(9) = 71.3804:   yPos = 1990
x(10) = 78.44:    yPos = 1370
x(11) = 83.5386:  yPos = 996
x(12) = 89.4216:  yPos = 618
x(13) = 95.3046:  yPos = 300
x(14) = 96.089:   yPos = 249.6
x(15) = 98.8344:  yPos = 100
x(16) = 99.2266:  yPos = 74.6
x(17) = 100.011:  yPos = 0

If xPos > x(1) And xPos <= x(2) Then piece = 1
If xPos > x(2) And xPos <= x(3) Then piece = 2
If xPos > x(3) And xPos <= x(4) Then piece = 3
If xPos > x(4) And xPos <= x(5) Then piece = 4
If xPos > x(5) And xPos <= x(6) Then piece = 5
If xPos > x(6) And xPos <= x(7) Then piece = 6
If xPos > x(7) And xPos <= x(8) Then piece = 7
If xPos > x(8) And xPos <= x(9) Then piece = 8
If xPos > x(9) And xPos <= x(10) Then piece = 9
If xPos > x(10) And xPos <= x(11) Then piece = 10

```

```

If xPos > x(11) And xPos <= x(12) Then piece = 11
If xPos > x(12) And xPos <= x(13) Then piece = 12
If xPos > x(13) And xPos <= x(14) Then piece = 13
If xPos > x(14) And xPos <= x(15) Then piece = 14
If xPos > x(15) And xPos <= x(16) Then piece = 15
If xPos > x(16) And xPos <= x(17) Then piece = 16

```

Call SetPandU

yPos = getCurvePoint(piece, xPos)

El fondo de escala se dividió en 17 segmentos y se procedió a su calibración con resistencias patrón de valor conocido (Ilustración 19 y Tabla 1), para ajustar los límites entre cada intervalo.

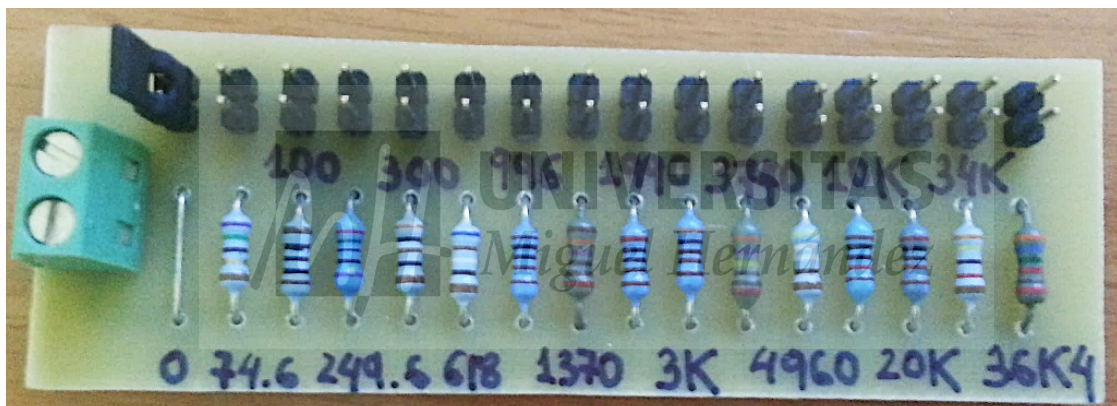


Ilustración 19.- Resistencias patrón para calibrado.

Tabla 1.- Resistencias patrón (tolerancia 1%), y valores del ADC para calibración de esplines cúbicos.

Resistencia patrón ( $\Omega$ )	Salida del AD en % de FE	Resistencia patrón ( $\Omega$ )	Salida del ADC en % de FE
0	100,01	3000	61,97
74,6	99,23	3740	56,48
100	98,83	4960	49,42
249,6	96,09	9940	32,16
300	95,30	20000	18,43
618	89,42	34000	11,37
996	83,54	36400	10,59
1370	78,44	10000	0,00
1990	71,38		

### 4.3.- Ensayos y toma de datos.

#### 4.3.1.- Descripción de los ensayos.

##### Primer ensayo: Conductividad eléctrica / Dureza

En el primer ensayo, además de la conductividad eléctrica, se midió la dureza de los frutos de muestras de las variedades elegidas en diferentes estados de madurez determinado de forma subjetiva, según el protocolo desarrollado por Uceda y Frías (Uceda, 1975) y Ferreira (Ferreira, J. et al., 2010); (Ferreira, 1979). Para medir la dureza se empleó un penetrómetro digital PTR-200, acoplado sobre un puesto de medición de fuerza modelo PCE-MT S500. Los datos obtenidos fueron enviados a intervalos de 0,25 segundos por conexión RS232C desde el penetrómetro a un PC para su procesado.

##### Segundo ensayo: Conductividad eléctrica / Rendimiento graso y acidez.

En el segundo ensayo se trató de relacionar la conductividad eléctrica con el rendimiento graso y la acidez del aceite resultante. Para ello se mandaron muestras a un laboratorio donde se midieron los parámetros de rendimiento graso, expresado en % de grasa sobre materia seca y la acidez del aceite resultante, expresado en %.

#### 4.3.2.- Descripción del material vegetal.

Para correlacionar la conductividad eléctrica con la madurez de la aceituna y el rendimiento graso, se tomaron dos muestras de 100 frutos cada una, para cada variedad estudiada: 'Picual', 'Manzanilla de Sevilla', 'Hojiblanca' y 'Gordal sevillana', en una finca sita al sur de la provincia de Jaén, en la comarca de Sierra Mágina. El periodo de recogida de las muestras se estableció entre el 10 de noviembre de 2014 y el 18 de diciembre de 2014.

Para el ensayo de correlación de la conductividad eléctrica con la Dureza se tomaron muestras de 100 frutos de cada cultivar estudiado: 'Picual', 'Manzanilla de

Sevilla' Hojiblanca', y. 'Gordal sevillana'. La muestra se dividió en dos submuestras de 50 frutos cada una, sobre una se midió la conductividad eléctrica y en la otra la dureza. Para el ensayo de la correlación de la conductividad eléctrica con los parámetros físicos y químicos, las muestras fueron también de 100 frutos que se dividieron a su vez en dos submuestras de 50 frutos cada una. En una de ellas se miden los parámetros químicos de grasa sobre materia seca y acidez y sobre la otra se mide la conductividad eléctrica. En la Tabla 2, se describen las fechas de recolección y total de frutos analizados para cada ensayo.

Tabla 2.- Fecha de recolección del material vegetal empleado y ensayos realizados.

Fecha recolección	Ensayos	Fecha recolección	Ensayos
10/11/2014	CE / Dureza CE / Rdto. Graso y acidez	01/12/2014	CE / Dureza CE / Rdto. Graso y acidez
13/11/2014	CE / Dureza	04/12/2014	CE / Dureza
17/11/2014	CE / Dureza CE / Rdto. Graso y acidez	08/12/2014	CE / Dureza CE / Rdto. Graso y acidez
20/11/2014	CE / Dureza	11/12/2014	CE / Dureza
24/11/2014	CE / Dureza CE / Rdto. Graso y acidez	15/12/2014	CE / Dureza CE / Rdto. Graso y acidez
27/11/2014	CE / Dureza	18/12/2014	CE / Dureza

#### 4.5.- Medición de la dureza de los frutos.

Para la medida de la dureza se empleó un penetrómetro digital PTR-200, controlado por un microprocesador de lectura rápida. Está montado sobre un puesto de medición de fuerza modelo PCE-MT S500, ambos poseen certificado de calibración para laboratorio según la DIN ISO 9000 y son de la marca PCE Ibérica. Ilustración 20: penetrómetro PTR 200 S500 (A). Puesto de medición PCE-MT (B).





Ilustración 20.- Penetrómetro PTR 200 - S500 (A). Puesto de medición PCE - MT (B).

La carga de medición máxima es de 20 Kg/196 N con una resolución de 10 g/ 0.05 N y una precisión de  $\pm 0,5$  %, + 2 dígitos. La unidad de medida es  $N \cdot cm^{-2}$ . El puesto de medición es accionado por motor eléctrico con un recorrido máximo de 300 mm, con una velocidad variable entre  $0-240m \cdot min^{-1}$ .

Los datos que se obtuvieron fueron procesados en un ordenador que se comunica con el penetrómetro por un interfaz RS-232. Durante el registro de datos el penetrómetro envió los valores cada 0,25 segundos a una ventana del hiperterminal de Windows, posteriormente los datos se transfirieron a una tabla EXCEL donde se analizaron.

#### 4.6.- Medición de la conductividad eléctrica.

Una vez construido y calibrado el conductímetro, se procedió al estudio de la conductividad eléctrica de cada muestra. Para ello y en todos los casos se llevó a cabo la siguiente metodología:

En ensayos anteriores (Ventura Pérez, 2013), se comprobó que no existen diferencias entre la zona del ápice, la zona media y el pedúnculo de los frutos para la

medición de la conductividad eléctrica, por lo que se procedió a: 1. conectar el conductímetro a la toma corriente eléctrica para su alimentación y al ordenador en que se haya instalado el software, para la transferencia de datos; 2.- introducir las sondas directamente en el fruto sin retirar el exocarpio y con cuidado de no golpear las sondas con el endocarpio lignificado; 3.- memorizar los resultados en el ordenador, por medio del software diseñado al efecto (Ilustración 21). Es importante recordar que entre cada medición, especialmente entre los frutos, se deben limpiar las sondas con un paño humedecido en alcohol para evitar medidas erróneas.

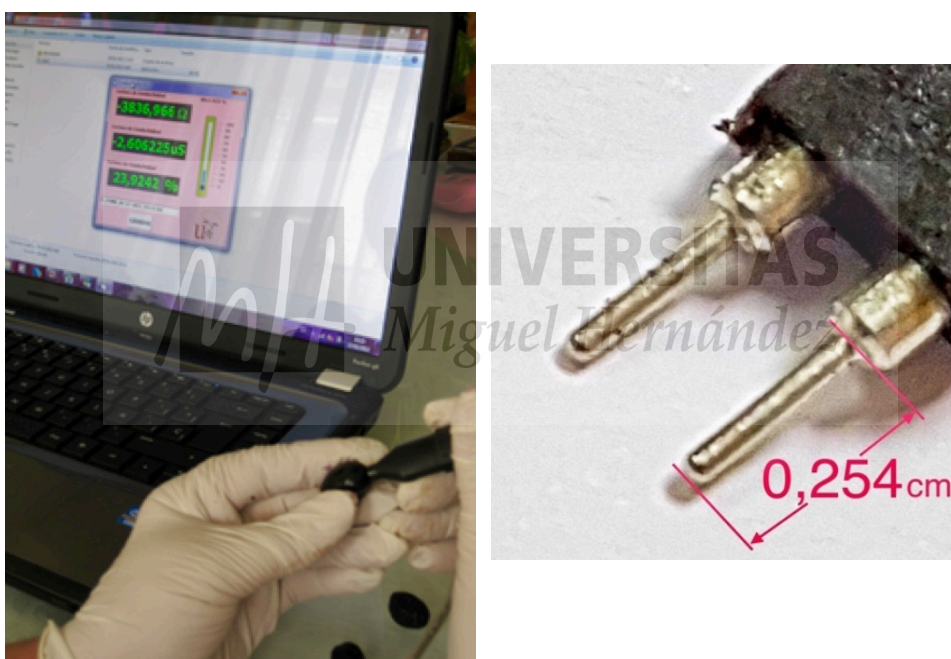


Ilustración 21.- Procedimiento de la medición de la conductividad eléctrica en las aceitunas maduras y detalle de las sondas empleadas.



## 5.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

### 5.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 5.1.- Ensayos preliminares con frecuencias entre 1 Hz y 100 kHz, en aceitunas de la variedad ‘Manzanilla de Sevilla’.

Se empleó un medidor de impedancia basado en un chip AD5933 (Ferreira, J. et al., 2010), para caracterizar la variación de este parámetro de la pulpa de la aceituna en función de la frecuencia. Los resultados obtenidos aparecen en las Ilustraciones 22 a 24. En la Ilustración 22 se muestran las zonas de transición de impedancia en aceituna madura. En la Ilustración 23 se muestra la zona 2 ampliada y en la Ilustración 24 de manera conjunta, los 4 estados analizados, (azul: aceituna verde, fucsia: envero 1, amarillo: envero 2 y rojo: aceituna madura). Los círculos concéntricos se corresponden al valor del módulo de la impedancia compleja expresados en ohmios. Los radios representan la fase de la impedancia compleja expresada en grados sexagesimales. El barrido de frecuencia es desde 10 Hz a 100 kHz. El inicio de la zona 1 corresponde a 0 Hz y el final de la zona 4 a 100 kHz.

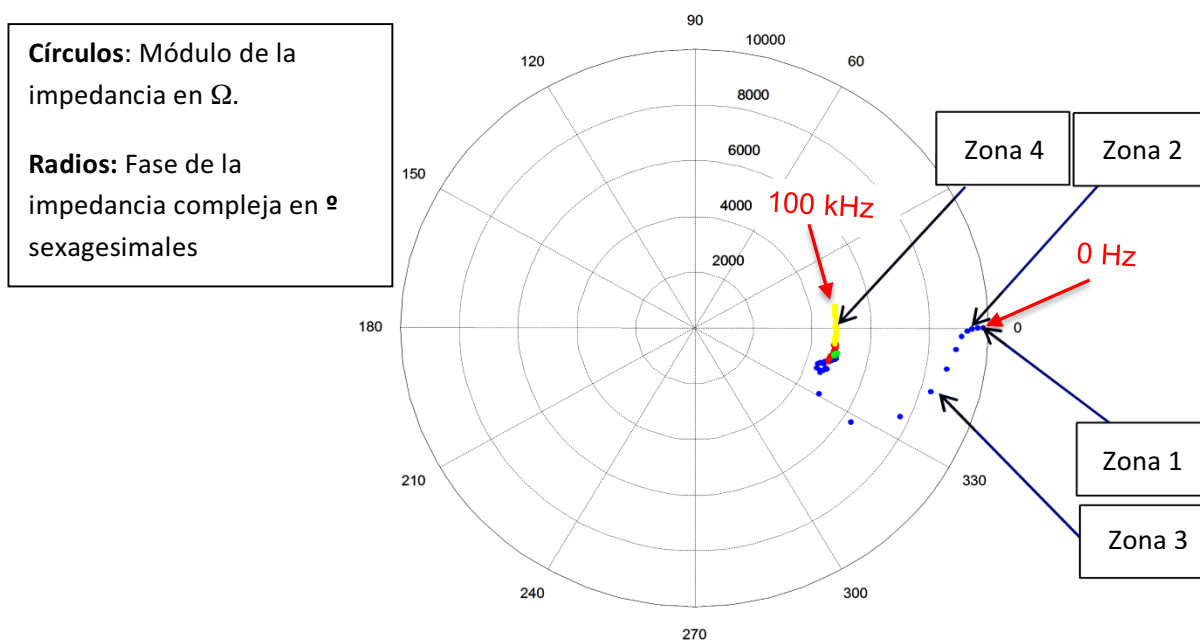


Ilustración 22.- . Diagrama de las zonas de evolución de la impedancia en aceituna madura y análisis de los 4 estados de maduración.

**Zona 2 de aceituna verde:**  
equivale a un circuito R-L. El valor máximo está sobre el círculo de  $13,5k\Omega$  y un ángulo de fase de unos  $5^\circ$ .

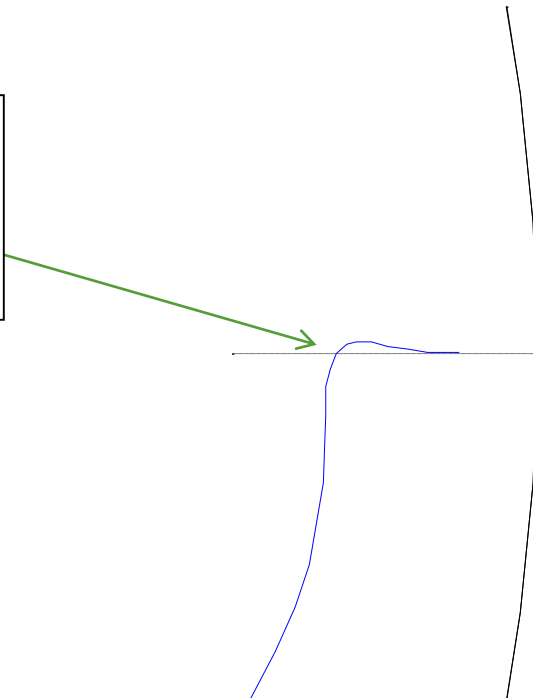


Ilustración 23.- Detalle Zona 2 de aceituna en verde.

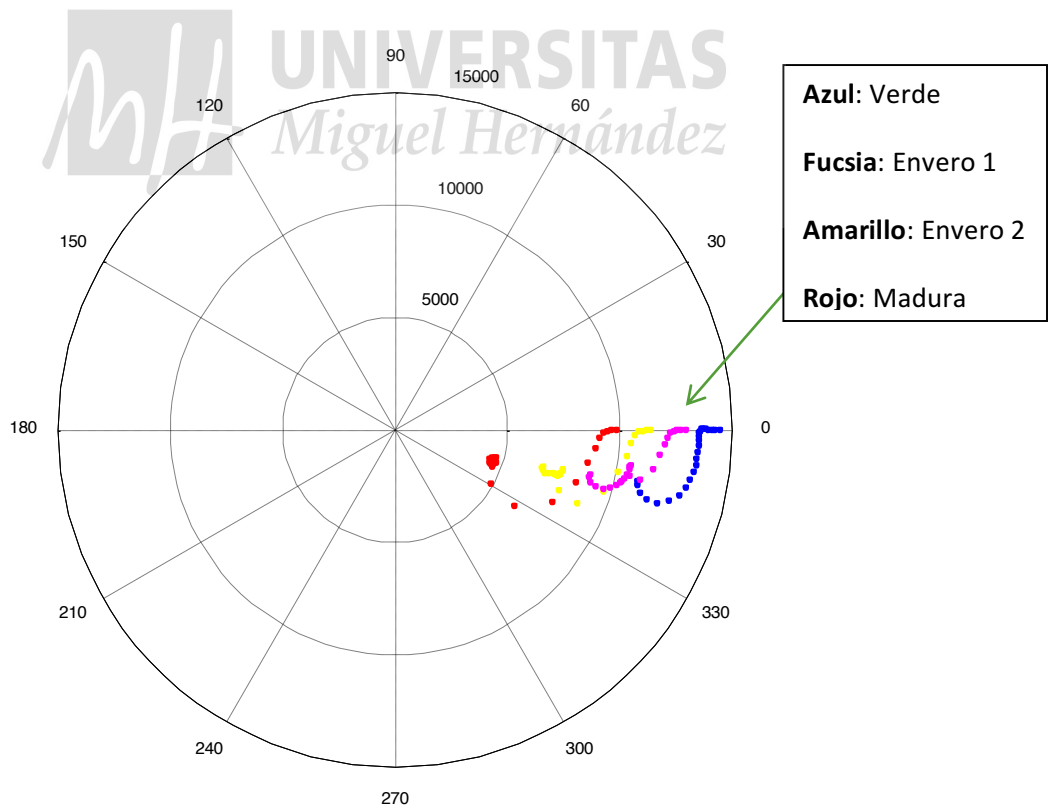


Ilustración 24.- Evolución de la impedancia en aceituna durante su maduración, (se muestran 4 estados: Verde, Envero 1, Envero 2 y Madura).

En todos los estados de la aceituna (desde verde a totalmente madura), se aprecia una primera zona (1) prácticamente resistiva con valores característicos de impedancia eléctrica promedio (14, 13, 12, 9 k $\Omega$  y ángulo de fase prácticamente 0 $^\circ$ ) respectivamente, una zona de transición (2) donde la pulpa de la aceituna tiene un compartimiento eléctrico equivalente a un circuito R-L con valores de impedancia eléctrica promedio (13.5, 12.5, 10.5, 8 k $\Omega$  y ángulo de fase 5 $^\circ$ ) respectivamente, una zona de transición (3) con un carácter muy variable con puntos con resonancias parciales y comportamiento de circuito R-C y finalmente una última zona (4) donde la impedancia eléctrica adquiere un módulo constante y fase variable (en promedio 4.9 k $\Omega$  y fase desde 330 $^\circ$  a valores próximos a 0 $^\circ$ ).

Igualmente se aprecia que cada zona se corresponde con un intervalo de frecuencias característico, en la Tabla 3 aparecen estos intervalos para aceitunas verdes y totalmente maduras.

Tabla 3.- Intervalos de transición en Hz y kHz

	1	2	3	4
Verde	0 a 50	50 a 60	60 a 60k	60k a 100k
Madura	0 a 20	20 a 30	30 a 600	600 a 100k

Para las otras variedades estudiadas se constata un comportamiento idéntico por ello, el uso de la zona 1 en la que la fase es prácticamente cero permite una realización simplificada de un medidor de impedancia para frecuencias bajas del orden de 50 Hz.

## 5.2.- Calibración del equipo.

Para calibrar el conductímetro se realizó un ensayo con resistencias patrón de valor conocido y de tolerancia 1 %, comparándose con el valor que devuelve el equipo para cada valor. La calibración obtenida se muestra en la Tabla 4 y se representa Ilustración 25.

Tabla 4.- Valores que devuelve el equipo (%FE) y resistencias patrón (Ohmios).

% FE	Resistencia	% FE	Resistencia
0,00	100000	78,44	1370
10,5894	36400	83,5386	996
11,3738	34000	89,4216	618
18,4334	20000	95,3046	300
32,1604	9940	96,0890	249,6
49,4172	4960	98,8344	100
56,4768	3740	99,2266	74,6
61,9676	3000	100,0110	0
71,3804	1990		

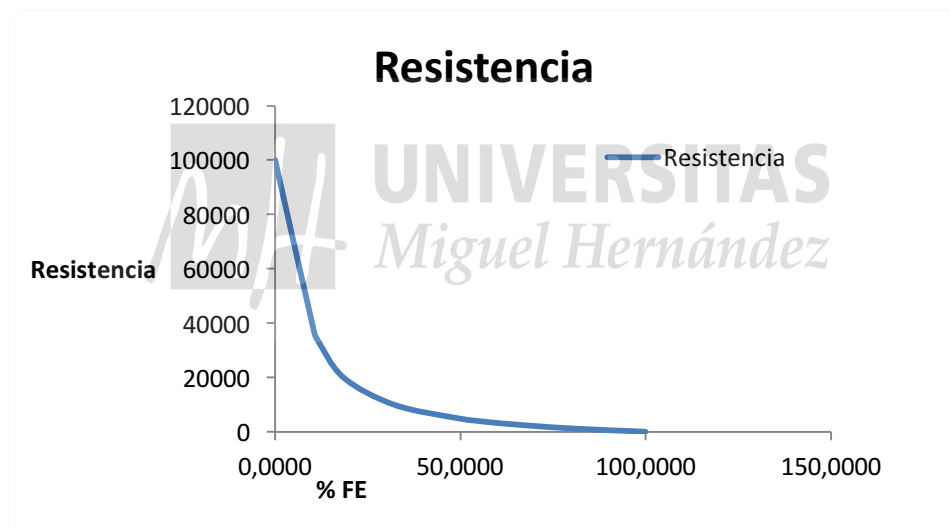


Ilustración 25.- Representación Gráfica del ensayo de calibración realizado con resistencias patrón conocidas (medidas en ohmios  $\Omega$ ) y valores que devuelve el equipo.

Como se puede observar, cuando el porcentaje de fondo de escala (% FE) es cero la resistencia es máxima con un valor de 100000 Ohmios, conforme los valores del fondo de escala aumentan, disminuyen de forma inversamente proporcional los valores de la Resistencia, de modo que para un valor de 100 % de fondo de escala, la resistencia presentará un valor de cero.

El software desarrollado al efecto, emplea esta relación para interpolar entre cada dos puntos consecutivos otros valores obtenidos en las medidas, cómo % FE y traducirlos

a valores de resistencia  $\Omega$  o conductividad S. Para esto último se emplea la relación antes mencionada  $S \cdot R = 1$ , ya que las puntas de medición seleccionadas han sido fabricadas con una constante  $K = l/A = 1$ .

### 5.3.- Resultados del ensayo de correlación de la conductividad eléctrica con la dureza.

En la Tabla 5 e Ilustraciones 26 y 27, se recogen los datos relativos para las variedades estudiadas, 'Picual', 'Manzanilla de Sevilla', 'Hojiblanca' y 'Gordal sevillana'. Los parámetros reflejados corresponden a las mediciones de conductividad eléctrica expresada en porcentaje de Fondo de Escala (% F.E.), (Ilustración 26) y la dureza en Newton por centímetro cuadrado ( $N/cm^2$ ), (Ilustración 27).

Tabla 5.- Resultados de la medida del índice de madurez, conductividad eléctrica y dureza.

Variedad	'Picual'			'Manzanilla de Sevilla'			'Hojiblanca'			'Gordal sevillana'		
	Fecha	IM	% FE	$N/cm^2$	IM	% FE	$N/cm^2$	IM	% FE	$N/cm^2$	IM	% FE
10/11/14	3,8	25,3	17,4	4,2	25,1	15,5	3,6	25,4	21,3	3,7	25,6	15,72
13/11/14	4,1	26,18	17,7	4,5	25,85	15,05	4	25,84	20,89	4,2	26,12	14,98
17/11/14	4,6	26,29	17,78	4,7	26,1	14,6	4,2	26,23	19,76	4,9	27,3	14,27
20/11/14	4,9	27,69	17,35	5,3	26,52	14,4	4,6	26,52	18,63	5,1	28,67	13,94
24/11/14	5,2	30,23	16,83	5,7	27,97	13,2	4,9	27,98	17,24	5,3	29,45	13,51
27/11/14	5,4	30,96	15,3	5,9	28,61	12,8	5,1	31	16,76	5,5	32,98	12,91
01/12/14	5,8	32,03	15	6,3	28,88	12,3	5,4	33,32	16,58	5,9	35,31	11,67
04/12/14	6,3	36,97	14,4	6,7	32,51	11,9	5,7	36,47	15,8	6,2	44,81	9,12
08/12/14	6,6	40,58	13,65	7	43,49	11,6	5,9	38,67	15,21	6,5	46,37	7,23
11/12/14	6,9	48,32	1,5	7	49,1	5,7	6,1	42,3	14,3	6,8	49,87	1,7
15/12/14	7	53,05	1,3	7	49,46	2,3	6,5	45,12	12,84	7	51,7	1,2
18/12/14	7	53,89	0,9	7	50,87	0,85	6,8	48,95	9,67	7	53,26	0,8

IM=Índice de madurez; FE=Fondo de escala;



A rasgos generales, en las Ilustraciones 26 y 27 se observa cómo la conductividad eléctrica presenta tendencia a ir aumentando conforme va pasando el tiempo. Paralelamente la tendencia de los valores de la dureza es la de ir disminuyendo, lo cual es lógico ya que lo que se mide es la dureza de la pulpa la cual disminuye conforme aumenta el índice de madurez (IM) de la aceituna. Esto sigue la tendencia descrita en diferentes estudios realizados anteriormente como el de Montoya Lirola (Montoya Lirola, 1992), sobre frutos climatéricos, o el de Arnold (Arnold et al., 2000), sobre el kiwi en donde se observó que durante la maduración se produce una disminución de 10 veces la dureza de los frutos. Además concuerda por lo descrito por Civantos (Civantos, 2008a), que realizó un estudio sobre la evolución de la dureza en el fruto de la aceituna durante la maduración de la misma.

De forma general, el índice de madurez (IM), se sitúa al inicio del ensayo entre 3,6 para la variedad 'Hojiblanca' y 4,2 para la variedad 'Manzanilla de Sevilla', al final del ensayo todas los cultivares se encuentran ya al final de la maduración con un IM cercano a 7. Las diferencias observadas se corresponden a los diferentes tiempos de maduración que presentan cada variedad, siendo la 'Hojiblanca' la que más ralentiza su maduración y la 'Manzanilla de Sevilla' la que presenta una maduración más acelerada. De este modo, la variedad 'Hojiblanca', incrementa su IM de 3,6 al inicio de los ensayos y al final de la sexta semana su IM se sitúa en 6,8. Mientras tanto, en la variedad 'Manzanilla de Sevilla' se observa que desde un IM 4,6, alcanza la plena madurez al inicio de la quinta semana. En la variedad 'Picual' se incrementa desde un inicial IM = 3,8, que sería el final del envero, el día 10 de noviembre, hasta un IM = 7, el 15 de diciembre. Para la variedad 'Gordal sevillana' y en el mismo periodo aproximadamente, se observa primeramente un índice de madurez de 3,7 que casi coincide con el inicio de la maduración propiamente dicho, y llega hasta la madurez plena IM = 7, al principio de la sexta semana.

Paralelamente y para todos los cultivares, se muestra de forma general un aumento de los valores de la conductividad eléctrica y una disminución en los valores de la dureza. Esto parece presentar un avance más o menos paulatino al inicio del ensayo y un cambio brusco para final del mismo, coincidiendo en todos los casos con la plena madurez de las aceitunas.

Para la variedad 'Picual', la conductividad eléctrica pasa de 25,3 % de FE el 10 de noviembre a 32,03 % de FE el 1 de diciembre. Cuando el fruto se acerca a alcanzar la madurez plena (IM=7), se produce un crecimiento más acusado pasando de 36,97 % de FE el día 4 de diciembre, al 53,89 % de FE el día 18 de diciembre. En la variedad 'Manzanilla de Sevilla', se observa el mismo efecto de un crecimiento pausado. Éste se inicia con un 25,1 % de FE el 10 de Noviembre, hasta un 28,88 % de FE el 1 de diciembre, disparándose su valor hasta el 50,87 % FE el día 18 de diciembre. En la variedad 'Hojiblanca' este efecto también tiene lugar, aunque de forma menos acusada, el 10 de noviembre se inicia con un 25,4 % de FE llega al 42.3 % de FE el día 11 de diciembre y pasa al 48,95 % FE al final del ensayo el 18 de diciembre. Finalmente, para la variedad 'Gordal sevillana' se aprecia el mismo patrón. Se inicia el ensayo el 10 de noviembre con un 25,6 % de FE, aumenta hasta el 35,31 % de FE el día 1 de diciembre, a partir del cual se inicia un acentuado aumento alcanzando un 53,26 % de FE el día 18 de diciembre.

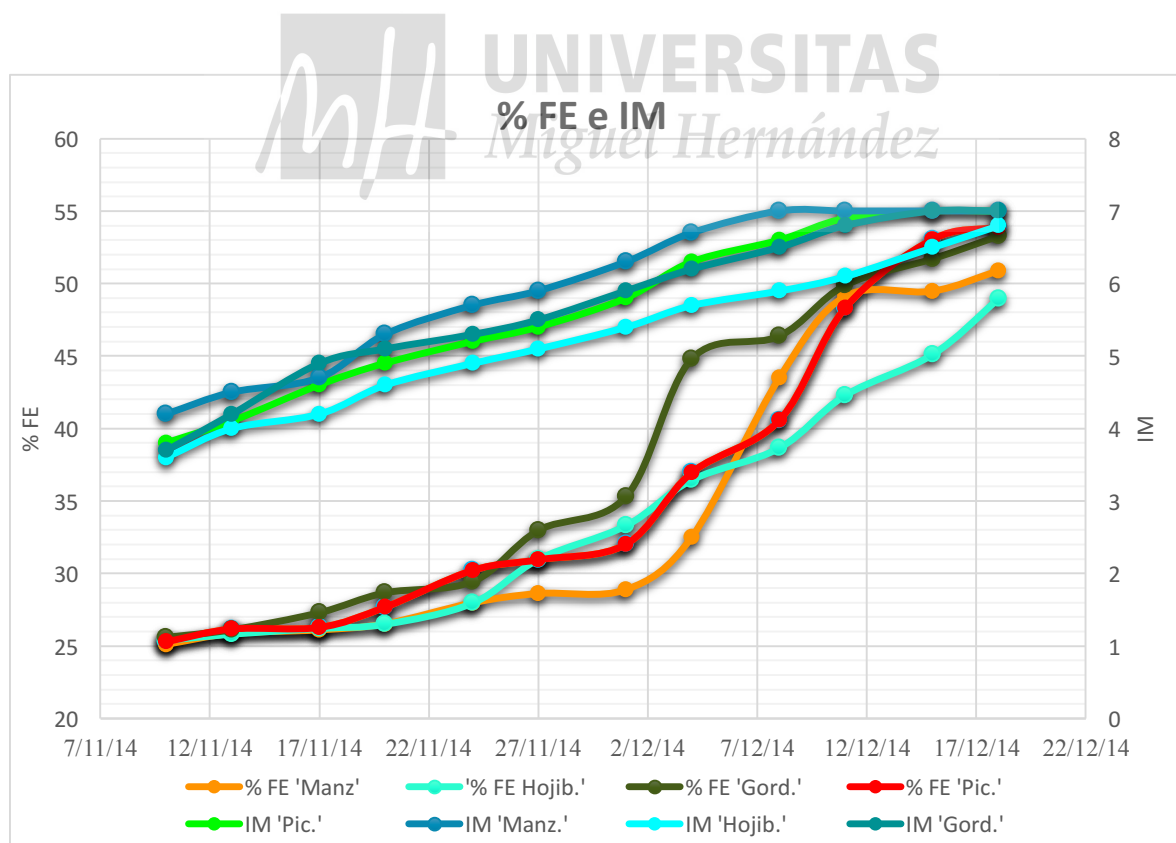


Ilustración 26.- Conductividad eléctrica (% FE) e Índice de Madurez (IM), para las cuatro variedades

Simultáneamente, la dureza (Ilustración 27) parece presentar un patrón similar aunque inverso, produciéndose un descenso muy brusco cuando los frutos se aproximan a la plena madurez (IM=7). En el caso de la variedad 'Picual' se observa este cambio brusco de 13,65 N·cm<sup>-2</sup> el 8 de diciembre, a 0,9 N·cm<sup>-2</sup> el 18 de diciembre, en variedad 'Manzanilla de Sevilla' este cambio se produce entre el 8 de diciembre con 11,6 N·cm<sup>-2</sup> y el 18 de diciembre con 0,85 N·cm<sup>-2</sup>. Para la variedad 'Hojiblanca', que es la variedad que más parece tardar en madurar, se encontró que pasa de 14,3 N·cm<sup>-2</sup> el 11 de diciembre y tan sólo disminuye hasta una dureza de 9,67 N·cm<sup>-2</sup> al final del ensayo. Así mismo en la variedad 'Gordal sevillana' se observó el cambio entre el 1 de diciembre con un 11,7 N·cm<sup>-2</sup> y el 18 de diciembre que alcanza 0.8 N·cm<sup>-2</sup>. Estos valores de dureza indican una madurez plena de los frutos (Civantos, 2008a) (Barranco, D., et al., 2008), (Fernández Díaz, M.J., et al., 1985), (Ferreira, 1979).

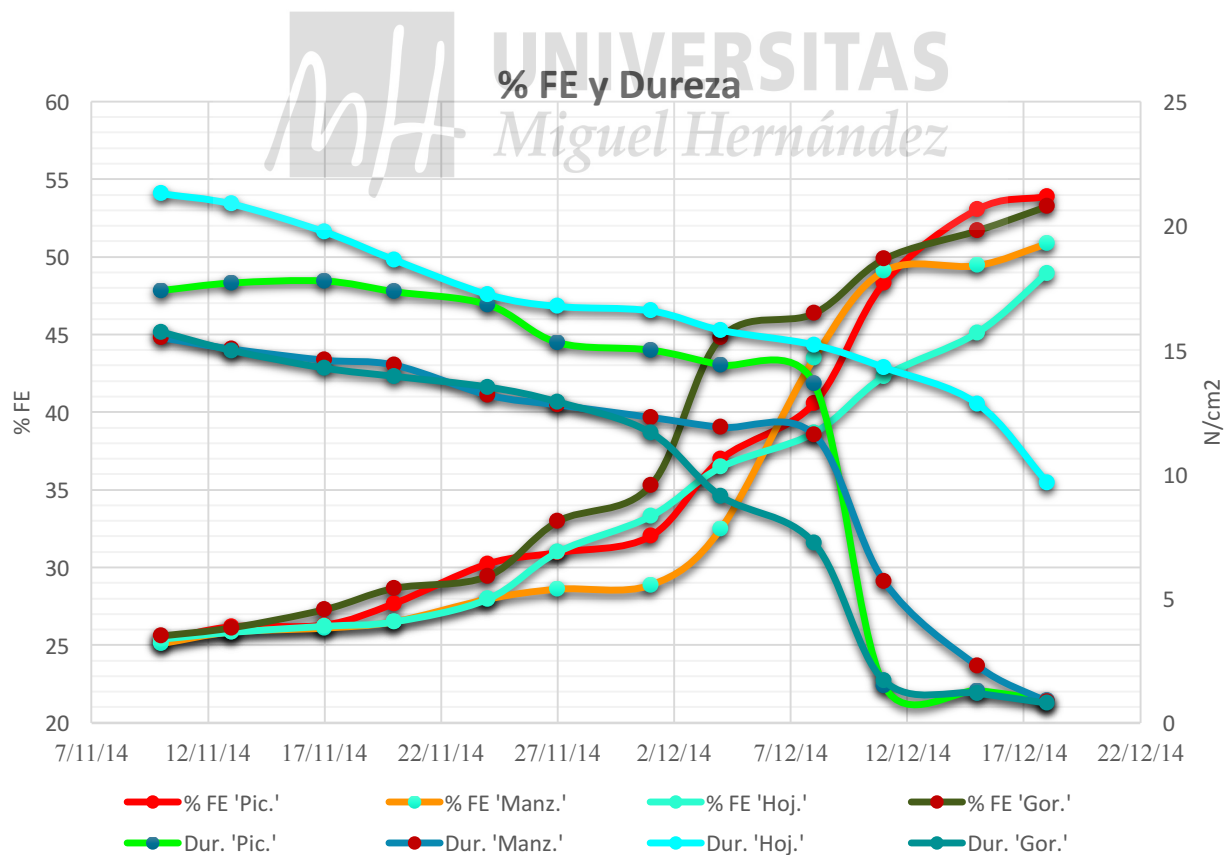


Ilustración 27.- Conductividad eléctrica (%FE) y Dureza (N/cm2), para las cuatro variedades

En lo que respecta a la evolución de la medida de la conductividad eléctrica (expresada en % de FE), los resultados obtenidos muestran tendencia a un aumento progresivo durante la maduración, coincidiendo así con resultados de estudios precedentes como el de Weaver y Jackson (Jackson & Weaver, 1966), en que sugieren tomar la medida de la impedancia eléctrica, como índice objetivo de madurez en el melocotón. Observando en sus ensayos que la impedancia eléctrica aumentaba progresivamente durante las cuatro semanas previas al alcance de la madurez de recolección y que a continuación disminuía con la maduración post cosecha del melocotón.

Por otro lado, los resultados obtenidos en el análisis de dureza de frutos (expresados en  $N \cdot cm^{-2}$ ), muestran como la dureza disminuye conforme avanza la maduración del fruto, siguiendo los patrones observados en investigaciones anteriores existentes para frutos climatéricos (Montoya Lirola, 1992) y sobre la propia aceituna según Civantos (Civantos, 2008a), Barranco (Barranco, D., et al., 2008), Fernández (Fernández Díaz, M.J., et al., 1985) y Ferreira (Ferreira, 1979).

Las medidas efectuadas demuestran que cada variedad de aceituna parece tener un valor promedio característico de la conductividad, 'Picual' (35,96 % de FE), 'Manzanilla de Sevilla' (34,54 % de FE), 'Hojiblanca' (33,98 % de FE) y 'Gordal sevillana' (37,62 % de FE). Cole y Hart (Cole & Hart, 1993), demostraron un comportamiento similar en referencia a la distinción según cultivares para tres variedades de manzanas donde la conductividad eléctrica de la variedad de manzanas 'Roma' parece ser relativamente más alta que las observadas para las variedades 'Granny Smith' y 'Red Delicious'. Sin embargo no fue hasta el año 2000 cuando Jackson y Harker (Jackson & Harker, 2000) observan la influencia que tenía la variedad de manzana sobre la impedancia eléctrica.

En trabajos anteriores se constató que estadísticamente existe una regresión lineal entre la conductividad eléctrica medida en % de Fondo de Escala y el resto de parámetros (Ventura Pérez, 2013), por lo que es suficiente con calcular la correlación Pearson para cada uno y en cada variedad.

En la Tabla 7 se observa cómo el Coeficiente de Correlación es cercano a 1 cuando se relaciona con el Índice de madurez y toma valores negativos, aunque también cercanos a 1 cuando se relaciona con la dureza. En ambos casos indica una estrecha relación lineal, siendo para el caso de la dureza una relación negativa en la que al aumentar la conductividad eléctrica la dureza tiende a disminuir.

Tabla 6.- Correlaciones Pearson entre la medida de la conductividad eléctrica (% FE), el Índice de Madurez y la Dureza.

Variedad	'Picual'		'Manzanilla de Sevilla'		'Hojiblanca'		'Gordal sevillana'	
	IM	N/cm <sup>2</sup>	IM	N/cm <sup>2</sup>	IM	N/cm <sup>2</sup>	IM	N/cm <sup>2</sup>
<b>PEARSON % F.E.</b>	0,9204	-0,9618	0,8309	-0,9302	0,9602	-0,9572	0,9428	-0,9691

El estudio entre las propiedades eléctricas (la conductividad eléctrica en este caso) y mecánicas, como es la dureza de frutos, muestra que la medida de las propiedades eléctricas pueden constituir una medida objetiva de la maduración de las aceitunas, lo que ya fue propuesto para otros frutos y vegetales en investigaciones recientes (Abu Izneid, B., et al., 2011), (Nelson & Nigmatullin, 2006), (Butz et al., 2005), (Arnold et al., 2000), (Montoya Lirola, 1992), (Nelson, 1991), (Jackson & Weaver, 1966).

#### 5.4.- Resultados del ensayo de correlación de la conductividad eléctrica con el Rendimiento Graso y el porcentaje de acidez.

En la Tabla 8 e Ilustraciones 28 y 29, se presentan los resultados de medir en la primera submuestra de 50 frutos de cada variedad, la conductividad eléctrica, expresada en porcentaje de Fondo de Escala (% FE), y los de medir sobre la segunda submuestra, el rendimiento graso expresado mediante el cálculo en porcentaje de la grasa sobre la muestra seca (% GMS) y el porcentaje de acidez (% Ac) calculado por volumetría y para cada cultivar.

Tabla 7.- Resultados de la medida de la conductividad eléctrica (en % FE), Grasa sobre Materia Seca (en % GMS) y Acidez (Ac.)

Variedad	'Pical'			'Manzanilla de Sevilla'			'Hojiblanca'			'Gordal sevillana'			
	FECHA	FE	GMS	Ac.	FE	GMS	Ac.	FE	GMS	Ac.	FE	GMS	Ac.
	10/11/14	26,18	42,8	0,11	24,29	42,26	0,18	25,5	37,92	0,16	26,81	34,8	0,22
	17/11/14	27,32	43,12	0,14	25,92	42,32	0,23	26,58	38,75	0,18	28,65	36,8	0,29
	24/11/14	31,15	45,2	0,17	27,52	42,5	0,27	31,28	39,59	0,21	33,01	39,3	0,32
	01/12/14	34,51	46,32	0,19	31,26	42,73	0,31	34,83	41,24	0,26	39,22	41,15	0,37
	08/12/14	37,15	47,89	0,23	44,79	42,96	0,36	36,38	43,97	0,28	48,58	41,16	0,39
	15/12/14	54,01	49,7	0,26	51,31	43,12	0,38	49,12	44,56	0,32	52,04	41,78	0,41

FE= Fondo de escala (expresado en %); GMS= Grasa sobre materia seca (expresado en %); Ac= Acidez

Atendiendo a la acidez, (Ilustración 28), tan sólo cabe destacar el incremento paulatino que presentan todas las variedades conforme la aceituna va madurando. Sin embargo este dato por sí solo, aunque es muy influyente, no se puede considerar como un parámetro determinante para la calidad del aceite resultante.

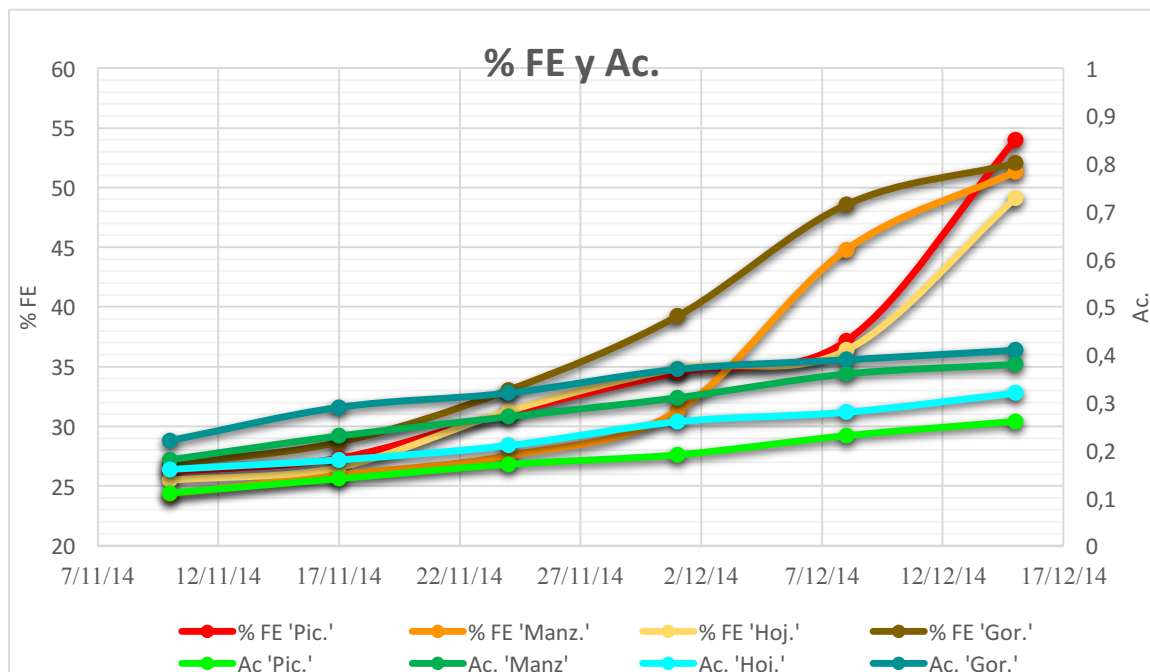


Ilustración 28.- Conductividad eléctrica (% FE) y acidez (Ac.), para todas las variedades

El rendimiento graso, expresado como grasa sobre materia seca en %, presentó un valor máximo de 49,7 % para la variedad 'Picual'. De forma general, esta variedad es la que mayor porcentaje de grasa total media presenta, lo que concuerda con la bibliografía consultada y que sitúa a esta variedad como una de las que presenta mayor rendimiento graso (Barranco, D., et al., 2008). Por otra parte, la variedad 'Manzanilla de Sevilla' presentó un valor máximo de 43.12 %, la variedad 'Hojiblanca' 44,56 % y la 'Gordal sevillana' un 41,78 % de grasa sobre materia seca, al final del ensayo.

La conductividad eléctrica está expresada en porcentaje del fondo de escala (% FE) y para todas las variedades se presenta un incremento paulatino que se vuelve más acusado al final del ensayo coincidiendo con que la aceituna se encuentra cerca de la maduración completa (Ilustración 29). Para la variedad 'Picual' este incremento se produce entre el 8 y el 15 de diciembre, pasando de 37,15 % FE a 54,01 % de FE, mientras que para la variedad 'Manzanilla de Sevilla' este incremento más pronunciado, se produce entre el 1 y el 15 de diciembre, donde se observa que pasa del 31,26 % FE al 51,31 de % FE. En la variedad 'Hojiblanca' el incremento no es tan notable pasando de un 34.83 % FE el 1 de diciembre a 49,12 % FE el 15 de diciembre, mientras que en 'Gordal sevillana' si resulta más evidente pasando del 33,01 % FE el 24 de noviembre, al 52,04 % FE para el final del ensayo.

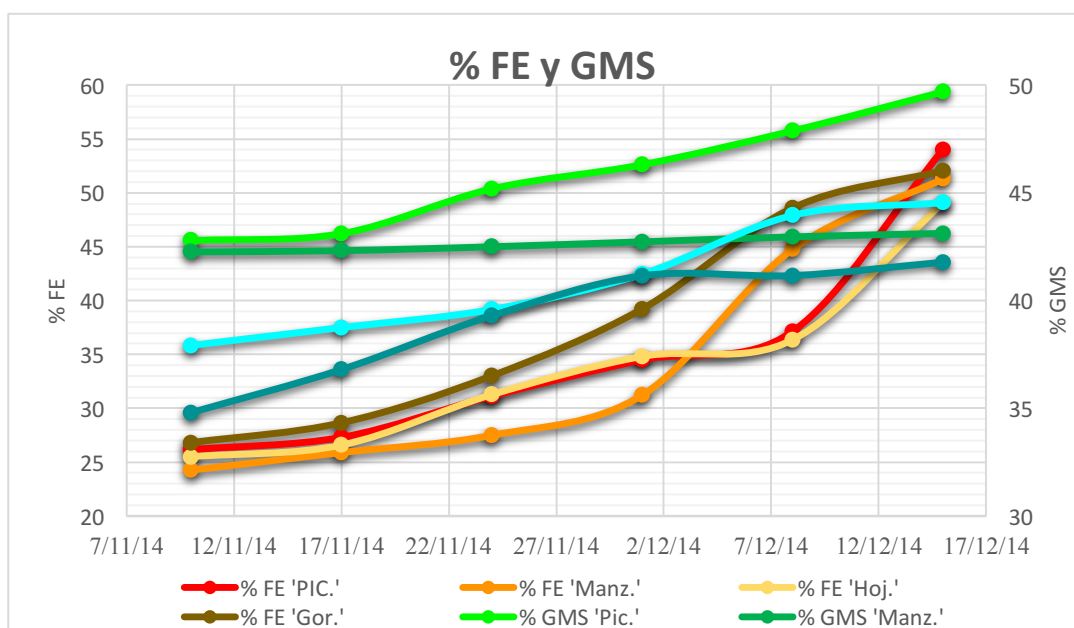


Ilustración 29.- Conductividad eléctrica (% FE) y Rendimiento Graso, expresado en % GMS

En la Tabla 9 se observan los coeficientes de correlación Pearson entre la conductividad eléctrica (% CE) y el porcentaje de grasa sobre materia seca (% GMS) para las diferentes variedades. Se puede apreciar que el Índice de Correlación toma valores cercanos a 1 lo que indica una relación lineal positiva, de modo que cuando aumenta la conductividad eléctrica (% FE), aumenta también el porcentaje de grasa sobre muestra seca.

Tabla 8.- Correlaciones Pearson entre la medida de la conductividad eléctrica (% FE) y El porcentaje de Grasa sobre muestra seca (% GMS)

Variedad	'Picual'	'Manzanilla de Sevilla'	'Hojiblanca'	'Gordal sevillana'
Parámetro	% GMS	% GMS	% GMS	% GMS
<b>PEARSON % F.E.</b>	0,9305	0,8854	0,9085	0,8880

Los datos obtenidos para las variedades 'Manzanilla de Sevilla' y 'Gordal sevillana' presentan la correlación de Pearson más pequeña, 0,8854 y 0,8880 respectivamente, lo que se puede deber al menor contenido graso que suelen presentar de forma natural estas variedades.

De forma general se puede concluir que para las cuatro variedades se aprecia que la conductividad (expresada en porcentaje de Fondo de Escala) está relacionada con el porcentaje de grasa sobre materia seca (% GMS), que se incrementa a medida que se incrementa el Índice de Madurez en los frutos a lo largo del tiempo. Esta relación parece ser que es específica para cada variedad analizada





## 6.- CONCLUSIONES.

---

### 6.-CONCLUSIONES

1.-El uso de corriente alterna de 50 Hz para la medida de la parte real de la impedancia compleja del mesocarpio de la aceituna (conductividad), ha demostrado ser útil como parámetro para caracterizar el índice de madurez de la misma, ya que las pruebas realizadas de medida de la impedancia en un rango amplio de frecuencias (de 0 Hz a 100 kHz), demuestran que las aceitunas para cualquier estado de maduración presentan a baja frecuencia una zona prácticamente resistiva, lo que permite caracterizar la impedancia de manera simplificada usando la corriente alterna de la red eléctrica.

2.- El equipo desarrollado emplea un divisor resistivo sobre el que un convertidor analógico digital (ADC) realiza la medida. Las pruebas efectuadas demuestran que el uso de 10 bits es suficiente para expresar la conductividad media con una resolución adecuada. Para calibrar el equipo se ha correlacionado con un ajuste empírico mediante esplines cúbicos, las medidas del ADC y la resistencia eléctrica de la pulpa de la aceituna. La conductividad para nuestro equipo es la inversa de la resistencia eléctrica al emplearse sondas de factor (constante de la celda )  $K=1$ .

3.- Ensayos anteriores de otros autores, junto a las pruebas efectuadas en este trabajo, nos permiten asegurar que no hay diferencias significativas para la medición de la conductividad eléctrica entre la zona del ápice, la zona media y el pedúnculo de los frutos. Las mediciones en este estudio demuestran que la conductividad eléctrica (expresada en % FE) aumenta mientras que la dureza disminuye (expresada en  $N \cdot cm^{-2}$ ) durante la maduración del olivo para las cuatro variedades examinadas en este estudio.

4.- Simultáneamente, % de grasa sobre materia seca (% GMS) y la conductividad eléctrica (% de FE) aumentó a medida que el índice de madurez va aumentando con el tiempo, lo que sugiere que existe una relación entre ambos parámetros. Para confirmar esta hipótesis se necesitan estudios futuros durante temporadas de cosecha adicionales.

5.-Cada variedad de aceituna parece tener un valor promedio característico de la conductividad desde el inicio del envero hasta que alcanza su fase madura. Por ejemplo se observa que la variedad 'Picual' presenta unos valores situados entre un 35,96 y un 35,05 % de FE, con una diferenciación de casi un punto, mientras que la variedad 'Hojiblanca' presenta una diferenciación menor a medio punto al situarse entre el 33,98 y el 33.95 de % FE.

6.- La medición de la conductividad eléctrica es un método sencillo para determinar el estado de madurez de las aceitunas y se podría aplicar fácilmente en el campo. Este método permite caracterizar el punto óptimo de la cosecha para aceitunas de mesa y aceitunas de molino, el último de los cuales se puede comparar con el método de Jaén.

#### 6.1.- Puntos débiles y futuras líneas de investigación

El Sistema desarrollado funciona adecuadamente, su único punto débil es que para la generación de la señal senoidal de excitación a 50 Hz, recurre a corriente obtenida de la red eléctrica, lo que impide que el equipo sea portátil. Actualmente los autores trabajan en un sistema autónomo basado en un Direct Digital Synthesizer (DDS), que permite generar la corriente de excitación de manera autónoma. Asimismo el nuevo prototipo se ha dotado de una interface que permite su control, obtención y almacenamiento de los datos directamente en dispositivos portátiles (tablets y teléfonos móviles). Este nuevo equipo permitirá que las medidas se hagan directamente en la finca sin necesidad de llevar las aceitunas a un laboratorio.



## 7.- BIBLIOGRAFÍA.

---

### 7.- BIBLIOGRAFÍA

Abu Izneid, B. A., Rehman, M., Rizal Arshad, M., & Zaid Abdullah, M. (2011). Assessment of quality of fruits using impedance spectroscopy. *International Journal of Food Science and Technology* (46), 1303–1309.

Aforo, o. (2016). *Aforo del olivar 2016-2017*. Recuperado el 2017, de [http://www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/AFORO\\_OLIVAR\\_2016-2017.pdf](http://www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/AFORO_OLIVAR_2016-2017.pdf).

AICA. (2016). *Agencia de Información y Control alimentarios*. Recuperado el 2017, de <http://www.aica.gob.es/>.

Alwis, A., & Mitchell, F. (1989). Electrical conductivity meter for food samples. *IOPscience* (22), 554-556.

Arnold, W., Bauchot, A., & Harker, F. (2000). The use of electrical impedance spectroscopy to assess the physiological condition of kiwifruit. *Postharvest Biology and Technology*, 18, 9-18.

Analog Devices. (10 de January de 2015). Recuperado el 2015, de [http://www.analog.com/static/imported-files/user\\_guides/UG-364.pdf](http://www.analog.com/static/imported-files/user_guides/UG-364.pdf).

Analog Devices; Sheet, (2010). Recuperado el January de 2017, de <http://www.analog.com/en/rfif-components/direct-digital-synthesis-dds/ad5933/products/product.html>.

Barcelo Homs, J. (1986). *Patente nº 295540*. España.

Barranco, D., Fernández Escobar, R., & Rallo, L. (2008). *El Cultivo Del Olivo* (6ª ed.). Madrid: Mundi-Prensa.

Biale, J. (1960). Respiration of fruits. *Han Busch der Pflanzenphysiologie*, 12, 536-592.

Briggs, P., & Sinclair, D. (2005). *Patente nº 98920631.3 / ES2230691T3*. Gran Bretaña.

Butz, P., Hofmann, C., & Tauscher, B. (2005). Recent Developments in Noninvasive Techniques for Fresh Fruit and Vegetable Internal Quality Analysis. *Journal Of Food Science*, 70 (9), 131-141.

CAPDR. (2016). *Anuario de estadísticas agrarias y pesqueras y censo Agrario*. Recuperado el 2017, de <http://www.juntadeandalucia.es/organismos/agriculturapescayderosarrollorural/consejeria/sobre-consejeria/estadisticas/paginas/agrarias-anuario.html>.

Civantos, L. (2008b). Aspectos Previos a la Elaboración. En *Obtención del Aceite de Oliva Virgen* (3ª ed., págs. 39-51). Editorial Agrícola Española, S.A.

Civantos, L. (2008a). La Producción Oleícola. En *Obtención del Aceite de Oliva Virgen* (3ª ed., págs. 25-32). Madrid: Agrícola Española S.A.

Cline, R., Loughheed, E., Miller, B., & Ripley, B. (1981). Electrical impedance of daminozide- and calcium-treated McIntosh apples. *Experientia* (37), 835-837.

COI. (2016). Recuperado el 2017, de Comité Oleícola Internacional ( International Olive Council ): <http://www.internationaloliveoil.org/>

Cole, W., & Hart, F. (1993). Dielectric properties of apples in the range 0.1-100 kHz. *Journal of Materials Science* , 28, 621-631.

Coleman, W., & Hart, F. (1989). Time-Domain Dielectric Spectroscopy of Apples. *IEEE Dielectrics and Electrical Insulation Society* , 24 (4), 627-634.

Donaire, J., Sánchez, A., López Gorgé, J., & Recalde, L. (1975). Metabolic Changes in Fruit and Leaf During Ripening in the Olive. *Phytochemistry* (14), 1167-1169.

Dunlop, J., & Harker, F. (1994). Electrical impedance studies of nectarines during coolstorage and fruit ripening. *Postharvest Biology and Technology* , 4, 125-134.

Duran Torrallardona, S. (1983). *Frigoconservación de la fruta*. Barcelona: Aedos.

ESYRCE. (2017). *Estadísticas agrarias magrama*. Obtenido de Encuesta sobre Superficies y Rendimientos Cultivos: <http://www.magrama.gob.es/es/estadistica/temas/estadisticas-agrarias/agricultura/esyrce/>

Ezeike, G. (1987). A Resistive Probe Moisture Sensor for Tropical Root Crops and Vegetables. *Journal of Agricultural Engineering Research* , 37, 15-26.

Fernández Díaz, M., Castro, R., Garrido, A., Gonzalez, F., Gonzalez Nosti, M., Heredia, A., y otros. (1985). *Bioteología de la aceituna de mesa*. (I. d. Científicas, Ed.) Madrid-Sevilla.

Ferreira, J. (1979). *Explotaciones olivareras colaboradoras*. Madrid: Ministerio de Agricultura.

Ferreira, J., Seoane, F., & Ansedo Peña, A. B. (2010). AD5933 - Based Spectrometer for Electrical Bioimpedance Applications. *International conference on electrical bioimpedance*. Florida: Gainesville.

Fito Suñer, P. J., Castro Giráldez, M., Fito Maupoey, P., & Chenol Cuadros, M. d. (2012). *Patente nº 2382268*. España.

Fito Suñer, P. J., Castro Giráldez, M., Fito Maupoey, P., Chenoll Cuadros, M. d., & UPV. (2012). *Patente nº ES 2 01000024A1*. Valencia.

Gerber, C. (1896). Recherches sur la maturation des fruits charnus. *Botan* , 8, 1-280.

Hall, J., McLaughlin, N., & Stout, D. (1987). In Vivo Plant Impedance Measurements and Characterization of Membrane Electrical Properties: The Influence of Cold Acclimation. *Cryobiology* (24), 148-162.

- Harker, R., & Forbes, S. (1997). Ripening and development of chilling injury in persimmon fruit: an electrical impedance study. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science* , 25, 149-157.
- Hermoso, M., Uceda, M., Frias, L., & Beltrán, G. (2008). Maduración. En *El Cultivo del Olivo* (6ª ed., págs. 154-170). Madrid: Mundi-Prensa.
- Hlaváčová, Z. (2003). Low frequency electric properties utilization in agriculture and food treatment. *Research in Agricultural Engineering* (49), 125-136.
- Jackson, H., & Weaver, G. (1966). Electric impedance, an objective index of maturity in peach. *The Canadian Journal of Plant Science* , 46, 323-326.
- Jackson, P., & Harker, F. (2000). Apple Bruise Detection by Electrical Impedance Measurement. *Hortscience* , 35, 104-107.
- Kidd, F. (1924). The rate of senescence and the control of it by conditions. Londres: F. T. Brooks.
- Kidd, F., & West, C. (1924). Respiration, carbon dioxide production of apples. *Food Invest. Board* , 45-46.
- Kidd, F., & West, C. (1925). The course of respiratory activity throughout the life of an apple. *Food Invest. Board* , 27-32.
- Leone, A., & Vitagliano, M. (1975). Estudio sobre la composición del medio de la variedad y de la época de recolección de las aceitunas. *Grasas y Aceites* , 26 (1).
- Levengood, W. C., & Burke, J. A. (2004). *Patente nº 2210572*. España.
- Müller-Thurgau, H., & Schneider-Orelli, O. (1910). Kenntnis der Leben vorgange in ruhenden Pflanzenteil. *Flora* , 101, 309-372.
- Müller-Thurgau, H., & Schneider-Orelli, O. (1908). Reifevorginge bei Kernobst Friichten. *Landwirtsch* , 22, 760-774.
- Marsilio, V. L. (1996). Olive Cell: wall components: Physical and biochemical changes during procesing. *J. Sc. Food Agric* (70), 35-43.
- Maxie, E., Catlin, P., & Hartmann, H. (1960). Respiration and ripering of olive fruits. *American Society for Horticultural Science* (75).
- Mayo, G. (1994). *Patente nº ES2060795T3*. Gran Bretaña.
- Montoya Lirola, M. (1992). Estudio de la conductividad electrica como índice de madurez en frutos climatéricos y su evolución durante la conservación frigorifica en atmosfera normal y modificada.
- Nelson, S. (1991). Dielectric Properties of Agricultural. *IEEE Transactions on Electrical Insulation* , 26 (5), 845-869.

- Nelson, S., & Nigmatullin, R. (2006). Recognition of the “fractional” kinetics in complex systems: Dielectric properties of fresh fruits and vegetables from 0.01 to 1.8GHz. *Signal Processing* , 2744–2759.
- Paine, D., Repo, T., & Taylor, S. (2002). Electrical impedance spectroscopy in relation to seed viability and moisture content in snap bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Seed Science Research* (12), 17-29.
- Primo Yúfera, E. (1979). *Química Agrícola: Alimentos* (Vol. 3). Madrid: Alhambra.
- Ranalli, A., Tombes, i. A., Ferrante, M., & G., D. M. (1998). Respiratory Rate of Olive Drupes During their Ripening Cycle and Quality of Oil Extracted. *J.Sci. Food Agric.* (77), 359-367.
- Rapoport, H. (2008). Botánica y Morfología. En *El cultivo del olivo* (6ª ed., págs. 35-60). Mundi-Prensa.
- Serres, V. (2012). AD5933 - Based System for Transthoracic Impedance Measurements. *Final Degree Thesis* , 1-45. Univerity of Boras.
- Sheet, A. D. (2010). Recuperado el January de 2017, de <http://www.analog.com/en/rfif-components/direct-digital-synthesis-dds/ad5933/products/product.html>.
- Sinclair Briggs, P. D. (2005). *Patente nº 2230691*. España.
- Stout, D. (1988). Effect of Cold Acclimation on Bulk Tissue Electrical Impedance. *Plant Physiol.* , 86, 275-282.
- Studman, C. (2001). Computers and electronics in postharvest. *Computers and Electronics in Agriculture* (30), 109-124.
- Topp, G., Davis, J., & Annan, A. (1980). Electromagnetic determination of soil water content: Measurement in coaxial transmission lines. *Water Resour* , 16, 579-582.
- Uceda, M. F. (1975). Harvest dates: evolution of the fruit oil content, oil composition and oil quality. *II Seminario Oleícola Internacional. COI*, (págs. 125-128). Córdoba.
- Vázquez, R., Maestro, D., & C.E, G. (1971). Cambios en los polifenoles de la aceituna durante la maduración. *Grasas y Aceites* , 22 (5), 366-370.
- Ventura Pérez, S. (2013). Medida de la conductividad eléctrica del mesocarpio de aceitunas. Aplicación a la aceituna de almazara. *PFC* . Sevilla: ETSIA Universidad de Sevilla.
- Vidal Pezzi, S. (1998). *Patente nº ES211144B1*. Madrid.
- Vlhaov, G. (1976). Gli Acidi Organici delle Olive: il rapporto málico/cítrico quale Indice di maturazione. *Ann.Inst.Sper.Elaist* , VI, 93-112.