

UNIVERSIDAD MIGUEL HERNÁNDEZ DE ELCHE
ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE ORIHUELA
GRADO EN INGENIERÍA AGROALIMENTARIA Y AGROAMBIENTAL



**EVALUACIÓN FÍSICOQUÍMICA Y FISIOLÓGICA DEL
DESARROLLO Y LA MADURACIÓN DE DOS
CULTIVARES DE *Ziziphus jujuba* Mill.**

TRABAJO FIN DE GRADO

Julio - 2015

Autor: María Nicolás Almansa

Tutores: Francisca Hernández García

M^a Asunción Amorós Marco

Evaluación fisicoquímica y fisiológica del desarrollo y la maduración de dos cultivares de *Ziziphus jujuba* Mill.

Physicochemical and physiological properties during growth and ripening of two *Ziziphus jujuba* Mill. cultivars

RESUMEN

En este trabajo se estudia la evolución de las características fisicoquímicas, fisiológicas y funcionales de jínjoles (*Ziziphus jujuba* Mill.) pertenecientes a dos variedades denominadas Jínjoles Medianos y Grandes de Albaterra, durante el desarrollo y la maduración. Se determina que los jínjoles de las dos variedades son no climatéricos, siendo JM una variedad de fruto pequeño, pero más dulce, blando y coloreado que GA, que se caracteriza por ser una variedad de fruto más grande, más firme y menos dulce. Ambas variedades poseen una alta AAT y una gran concentración de fenoles totales, lo que les confiere unas grandes propiedades funcionales. El jínjol se cultiva sobre todo en China, donde es reconocido como una excelente fuente de compuestos biológicamente activos, tanto a nivel funcional como nutracéutico. Sin embargo, en España este cultivo tiene una escasa importancia económica y se realiza de forma marginal con fines ornamentales o para autoconsumo. Dadas las excelentes propiedades de estos frutos y la elevada tolerancia del cultivo a la sequía y la salinidad, se podría considerar como una especie frutal de gran interés y potenciar el cultivo de aquellas variedades de mayor rentabilidad.

ABSTRACT

In this work the evolution of the physico-chemical, physiological and functional properties in two cultivars (Medium and Large) of jujube fruits (*Ziziphus jujuba* Mill.) was evaluated during growth and ripening on-tree. Both cultivars showed a non-climacteric ripening pattern, although JM cultivar had smaller, sweeter, softer and higher colored than GA, which was characterized by having larger and firmer fruits, although less sweet and colored. Both varieties showed high AAT which was highly correlated with concentration of total phenols, leading to give them great functional properties. The jujube tree is grown mainly in China, where it is recognized as an excellent source of biologically active compounds with both functional and nutraceutical properties. However, in Spain this crop has little economic importance and it is just marginally growth for self-consumption or with ornamental purposes. Given the excellent properties of these fruits and the high crop tolerance to drought and salinity it could be considered as a fruit species of great interest and then, the commercial growth of these varieties with high yield and fruits with high functional properties should be promoted.

Palabras clave: jínjol, propiedades funcionales, azúcares, ácidos orgánicos, antioxidantes, fenoles.

Keywords: jujube fruit, functional properties, sugars, organic acids, antioxidants, phenols.

AGRADECIMIENTOS

Quisiera expresar mi más sincera gratitud a mis directoras Francisca Hernández García del Departamento de Producción Vegetal y Microbiología, y M^a Asuncion Amorós Marco del Departamento de Biología Aplicada, por su dedicación y su disposición a la hora de elaborar y redactar este trabajo.

A Pilar Legua Murcia por su gran ayuda en los momentos de máxima actividad en el laboratorio.

A María Serrano Mula por aportarme un diminuto granito de arena de sus dunas de sabiduría y su inestimable ayuda en los momentos complicados.

A todos aquellos profesores, en especial a Fabián y a Casilda, que con sus enseñanzas y trato personal han contribuido a que haya podido abordar esta gran recta final.

A mi hermana por realizar todas las tareas que no he podido hacer durante todos los sprints de mi carrera.

A Jose por apoyarme desde el primer minuto, siempre que lo necesito puedo contar contigo.

Y por último, y en especial, a Soledad Almansa Pascual de Riquelme, por estar siempre ahí dándome ánimos, resolviéndome todos mis problemas, aguantando todas mis crisis y confiar en mi constantemente.



A mi madre

ÍNDICE

| | |
|--|-----------|
| 1. INTRODUCCIÓN..... | 13 |
| 1.1. ORIGEN Y SISTEMÁTICA..... | 13 |
| 1.2. DESCRIPCIÓN DEL CULTIVO..... | 14 |
| 1.3. IMPORTANCIA ECONÓMICA DEL CULTIVO DEL JINJOLERO. | 18 |
| 1.4. PROPIEDADES ANTIOXIDANTES DEL JÍNJOL..... | 20 |
| 1.5. USOS MEDICINALES..... | 23 |
| 1.6. DESARROLLO Y MADURACIÓN DEL FRUTO..... | 25 |
| 1.6.1. DESARROLLO DEL FRUTO DEL JINJOLERO..... | 25 |
| 1.6.2. FACTORES QUE AFECTAN AL DESARROLLO DEL FRUTO. | 26 |
| 1.6.3. MADURACIÓN DEL FRUTO: CAMBIOS FISIOLÓGICOS Y BIOQUÍMICOS..... | 28 |
| 2. OBJETIVOS..... | 33 |
| 3. MATERIAL Y MÉTODOS..... | 37 |
| 3.1. LOCALIZACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LA PARCELA..... | 37 |
| 3.2. MATERIAL VEGETAL..... | 40 |
| 3.3. DISEÑO EXPERIMENTAL..... | 40 |
| 3.4. DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS FÍSICOS..... | 43 |
| 3.4.1. DETERMINACIÓN DEL PESO. | 43 |
| 3.4.2. DETERMINACIÓN DE LA LONGITUD. | 43 |
| 3.4.3. DETERMINACIÓN DEL DIÁMETRO. | 43 |
| 3.4.4. DETERMINACIÓN DE LA FIRMEZA. | 44 |
| 3.4.5. DETERMINACIÓN DEL COLOR..... | 45 |
| 3.5. DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS QUÍMICOS. | 46 |
| 3.5.1. OBTENCIÓN DE EXTRACTOS PARA LA DETERMINACIÓN DE ÁCIDOS ORGÁNICOS, AZÚCARES Y PROTEÍNAS. | 46 |
| 3.5.2. DETERMINACIÓN DE ÁCIDOS ORGÁNICOS Y AZÚCARES REDUCTORES..... | 48 |
| 3.5.3. DETERMINACIÓN DE PROTEÍNAS TOTALES. | 49 |
| 3.5.4. OBTENCIÓN DE EXTRACTOS PARA LA DETERMINACIÓN DE ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE Y FENOLES TOTALES. | 50 |
| 3.5.5. DETERMINACIÓN DE LA ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE TOTAL HIDROSOLUBLE Y LIPOSOLUBLE..... | 51 |
| 3.5.6. DETERMINACIÓN DE FENOLES TOTALES. | 53 |
| 3.6. DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS FISIOLÓGICOS..... | 54 |

| | |
|--|------------|
| 3.6.1. DETERMINACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE ETILENO Y DE LA TASA DE RESPIRACIÓN..... | 54 |
| 3.7. ANÁLISIS ESTADÍSTICO..... | 57 |
| 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN..... | 61 |
| 4.1. EVOLUCIÓN DEL PESO..... | 61 |
| 4.2. EVOLUCIÓN DE LA LONGITUD..... | 63 |
| 4.3. EVOLUCIÓN DEL DIÁMETRO..... | 65 |
| 4.4. EVOLUCIÓN DE LA FIRMEZA..... | 66 |
| 4.5. EVOLUCIÓN DEL COLOR..... | 69 |
| 4.5.1. EVOLUCIÓN DEL PARÁMETRO L*..... | 69 |
| 4.5.2. EVOLUCIÓN DEL PARÁMETRO a*..... | 71 |
| 4.5.3. EVOLUCIÓN DEL PARÁMETRO b*..... | 72 |
| 4.6.1. EVOLUCIÓN DE LA GLUCOSA..... | 74 |
| 4.6.2. EVOLUCIÓN DE LA FRUCTOSA..... | 75 |
| 4.7. EVOLUCIÓN DE ÁCIDOS ORGÁNICOS..... | 77 |
| 4.7.1. EVOLUCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO..... | 77 |
| 4.7.2. EVOLUCIÓN DE ÁCIDO MÁLICO..... | 78 |
| 4.7.3. EVOLUCIÓN DE ÁCIDO CÍTRICO..... | 80 |
| 4.8. EVOLUCIÓN DE LAS PROTEÍNAS TOTALES..... | 81 |
| 4.9. EVOLUCIÓN DE LA ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE TOTAL..... | 82 |
| 4.9.1. EVOLUCIÓN DE LA ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE TOTAL DE LA FRACCIÓN HIDROSOLUBLE..... | 83 |
| 4.9.2. EVOLUCIÓN DE LA ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE TOTAL DE LA FRACCIÓN LIPOSOLUBLE..... | 84 |
| 4.10. EVOLUCIÓN DE LOS FENOLES TOTALES..... | 85 |
| 4.11. ESTUDIO DE LA FISIOLÓGÍA DE LOS JÍNJOLES..... | 89 |
| 4.11.1. EVOLUCIÓN DE LA TASA DE RESPIRACIÓN..... | 89 |
| 4.11.2. EVOLUCIÓN DE LA TASA DE DESPRENDIMIENTO DE ETILENO..... | 90 |
| 5. CONCLUSIONES..... | 97 |
| 6. BIBLIOGRAFÍA..... | 101 |
| ANEXO I..... | 111 |



INTRODUCCIÓN

1. INTRODUCCIÓN.

1.1. ORIGEN Y SISTEMÁTICA.

Hay numerosas especies del género *Ziziphus*, siendo el más conocido el *Z. jujuba*, azufaifo o jinjolero. Es originario de Oriente, donde se cultiva a gran escala, mientras que en la Península Ibérica se encuentra asilvestrado (Font-Quer, 1959; Azam-Ali *et al.*, 2006).

El azufaifo común, según de Candolle, parece ser originario de China del Norte, y según Vavilov, el centro primario de origen se encuentra en China centro-occidental y en Asia Central (Afghanistan, Tadjikistán, Uzbekistán). Un centro secundario existiría en Asia Menor. Se puede encontrar de manera espontánea en el Punjab, Pakistán, Mongolia y Armenia. Tal difusión se explica por su rusticidad y gran capacidad para retoñar (Azam-Ali *et al.*, 2006).

La clasificación sistemática del jinjolero es la expuesta a continuación (Tropicos, 2015; The Plant List, 2015):

- Clase: Equisetopsida C. Agardh
- Subclase: Magnoliidae Novák ex Takht.
- Superorden: Rosanae Takht.
- Orden: Rosales Bercht. & J. Presl
- Familia: Rhamnaceae Juss.
- Género: *Ziziphus* Mill.
- Especie: *Ziziphus jujuba* Mill.
- Sinónimos: *Ziziphus vulgaris* Lam., *Ziziphus sativa* Gaertn., *Ziziphus muratiana* Maire. y *Ziziphus zizyphus* (L.) H.Karst.
- Nombre común: jinjolero, azufaifo, azofaifo.

1.2. DESCRIPCIÓN DEL CULTIVO.

El jinjolero es un árbol bastante resistente a las bajas temperaturas, pero tiene unas necesidades de frío muy pequeñas. Su fruto no madura en veranos cortos o fríos. Las necesidades de frío para estratificar las semillas y eliminar su latencia se cifran en 60 días a 5°C (Westwood, 1982; Azam-Ali *et al.*, 2006).

La maduración de los frutos se produce entre finales de agosto, septiembre y principios de octubre.

Esta especie soporta las heladas invernales, desconociéndose daños por frío en nuestro país, soportando temperaturas alrededor de -15°C. También resiste las heladas de primavera, ya que tiene una floración tardía (mayo-junio). Por el contrario, necesita elevadas cantidades de calor para fructificar.

Como buena especie de zonas áridas presenta una resistencia elevada a la sequía, debido a que su sistema radicular le permite aprovechar los suelos profundos, y una gran tolerancia a la salinidad, prosperando mejor en los loess y las arenas, no siendo adecuados los suelos pesados y mal drenados para su crecimiento. Todo ello hace que sea una especie frutal de gran interés como alternativa a otras en el Sureste español (Zuang *et al.*, 1992).

La tolerancia del jinjolero a la sequía es similar a la del granado (*Punica granatum* L.), por lo que en climas como los del Sureste español, requiere aportaciones de agua similares o incluso inferiores a este (4.500 m³/ha*año).

Por otro lado, la resistencia a la salinidad es similar a la de la chumbera (*Opuntia ficus-indica* L.), superior a la que presenta el granado e inferior a la de la palmera datilera (*Phoenix dactylifera* L.) (Melgarejo y Salazar, 2003).

Las perspectivas para el cultivo del jinjolero en plantación regular son buenas y se puede pensar en su potenciación, siempre que se seleccionen los genotipos que más interesen y que tengan mayor rentabilidad, resultando imprescindible ampliar los conocimientos sobre las técnicas de cultivo más adecuadas para este frutal.

El azufaifo (*Ziziphus jujuba*) es un **árbol** pequeño, aunque pueden encontrarse algunos cultivares que alcancen los 9 m de altura, de hoja caduca, muy ramificado con ramas colgantes que crecen con un patrón de zig-zag. La madera es muy dura y fuerte. Dependiendo del cultivar, el tamaño y el porte varían, presentando unos un hábito de crecimiento alargado y estrecho, mientras que otros son extensos y cortos (Fotografía 1 y 2).



Fotografía 1: Ejemplar de jinjolero (*Ziziphus jujuba* Mill)



Fotografía 2: Patrón de crecimiento en zig-zag en rama adulta y joven.

Este frutal se multiplica fácilmente por semillas y sierpes, aunque las variedades de interés se reproducen vegetativamente a través de injertos.

Las características morfológicas del jinjolero son las siguientes (Melgarejo y Salazar, 2003; Zuang *et al.*, 1992; Azam-Ali *et al.*, 2006).

Las **hojas** son alternas, coriáceas, con una forma oblonga a oval lanceolada. Los bordes son sutilmente dentados. Haz de color verde intenso brillante. En otoño las hojas adquieren un color amarillo brillante antes de caer; tienen dos estípulas espinosas en la base de cada hoja. Algunas espinas tienen forma de gancho mientras que otras son rectas y largas (Fotografía 3 y 4).



Fotografía 3: Hojas de jinjolero.



Fotografía 4: Detalle de estípulas espinosas en forma de gancho y recta.

Las **flores** son axilares, pequeñas, de color amarillo verdoso de 3 a 5 mm de diámetro, poco llamativas, dispuestas en grupos de 2-6 a lo largo de las ramas; sépalos y pétalos en número de 5, siendo éstos últimos blanquecinos y más cortos que el cáliz; 5 estambres y un estilo corto; pedúnculo de 2-3 mm de color amarillo-verdoso. Ovario súpero (Fotografía 5).



Fotografía 5: Detalle de flores.

La **floración** se produce sobre ramos mixtos del año, en las axilas de las hojas y en racimos, diferenciándose estas a medida que avanza el crecimiento del racimo, por lo que las flores de la base cuajan antes que las de la parte media y las del ápice, lo que provoca una maduración escalonada.

El **fruto** es una drupa, de tamaño variable, puede ser como una cereza o llegar al tamaño de una ciruela, dependiendo del cultivar. Tiene una forma redonda, oval o alargada, con peciolo corto. Los alargados tienen forma de dátil, por lo que recibe el nombre de “*dátil chino*”. Tiene el exocarpo de color verde brillante a avellana oscuro en la madurez, pulpa blanca o blanco-amarillenta, crujiente, perfumada y de sabor azucarado; hueso duro, alargado y a veces apuntado.

Poco después de madurar completamente, el fruto comienza a ablandarse y se arruga. Aunque puede ser comido después de este momento, la mayoría de la gente prefiere consumirlo durante el intervalo que va entre la etapa de color verde-amarillento y la etapa roja al completo (Fotografía 6).



Fotografía 6: Evolución del color en la maduración del fruto.

1.3. IMPORTANCIA ECONÓMICA DEL CULTIVO DEL JINJOLERO.

El jinjolero, también conocido como azufaifo, es un cultivo tradicionalmente utilizado en China desde hace 4.000 años, que además de representar una fuente alimentaria muy importante, ha sido utilizado comúnmente en la medicina tradicional china (Gao *et al.*, 2013). Otros países

asiáticos donde el cultivo del jinjolero tiene una cierta importancia, aunque no tanta, son India, Corea del Sur, Japón y Pakistán. Este cultivo se encuentra moderadamente difundido por África del Norte pero, por el contrario, es escasamente cultivado en el Sur de Europa. En los Estados Unidos, las zonas interesadas por el cultivo del azufaifo son California, Florida, Georgia y Alabama (Melgarejo y Salazar, 2003).

El único país que se conoce hasta la fecha como exportador de jínjoles es China. Su área de cultivo ha alcanzado 1,5 millones de hectáreas y su producción es de 400.000 toneladas al año, de las cuales exporta alrededor de 4.700 toneladas (Gao *et al.*, 2013).

En Italia y España no tiene una importancia señalable, aunque aparezca en la mayoría de sus regiones sobre todo como planta ornamental y esporádicamente en márgenes de cultivos extensivos y en los huertos familiares (Melgarejo y Salazar, 2003).

España mantiene una población de jinjoleros bastante baja, existiendo muy pocas plantaciones regulares de la especie. Se cultiva desde antiguo, siendo apreciado por las personas que viven en el ámbito rural donde tradicionalmente se ha cultivado, destinándose principalmente al autoconsumo y fines ornamentales. Las zonas en las que encontramos más ejemplares son el Sur y Levante de la Península Ibérica. Es tradicional encontrar frutos en las ferias en el mes de septiembre, siendo muy apreciados por sus conocedores (Fotografía 7).



Fotografía 7: Puesto de jínjoles en la feria de septiembre.

En el Sureste español, concretamente en Alicante, Murcia y Almería, el jinjolero ha sido un cultivo conocido desde siempre, como marginal, en zonas de huerta tradicional, márgenes de río etc., siendo en todos los casos cultivado el jínjol común, que tiene frutos pequeños del tamaño de una aceituna aproximadamente.

Actualmente no existe ningún censo de este frutal debido a su escasa importancia económica, y ha sido encuadrado en el grupo denominado “frutales menores” o “frutales subutilizados”.

1.4. PROPIEDADES ANTIOXIDANTES DEL JÍNJOL.

Los antioxidantes naturales, como las vitaminas y los polifenoles, se encuentran de forma casi exclusiva en frutas y hortalizas, siendo este uno de los motivos por los que se recomienda su consumo diario en nuestra dieta.

Los antioxidantes son moléculas que, a bajas concentraciones, actúan previniendo o retardando grandemente la oxidación de sustancias fácilmente oxidables tales como las grasas. La oxidación es una reacción química de transferencia de electrones de una sustancia a un agente oxidante. Las reacciones de oxidación pueden producir radicales libres que inician reacciones

en cadena que dañan las células. Los antioxidantes paran estas reacciones eliminando intermedios del radical libre e inhibiendo otras reacciones de oxidación al oxidarse ellos mismos.

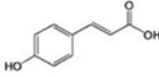

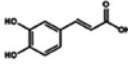
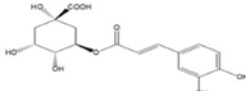
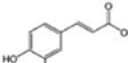


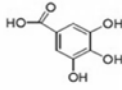
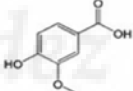
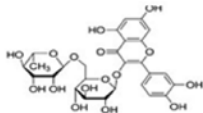
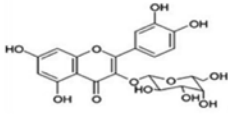
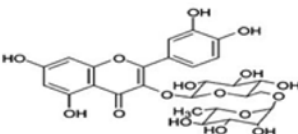
En el organismo se produce un equilibrio entre oxidantes/antioxidantes, cuando este equilibrio se rompe a favor de los oxidantes se produce un estrés oxidativo el cual está implicado en muchos procesos fisiopatológicos. Por tanto, es de vital importancia el consumo de alimentos que contengan antioxidantes naturales que ayuden a mantener el equilibrio o incluso lo desplacen a favor de los antioxidantes. Además, si tenemos en cuenta que a medida que el individuo envejece dicho balance cambia a favor de los oxidantes, es aún de mayor importancia para contrarrestarlos.

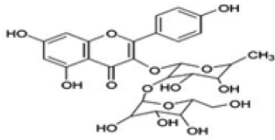
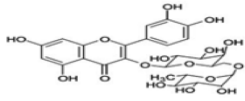
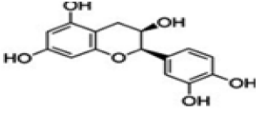
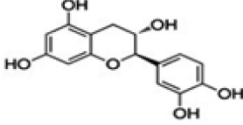
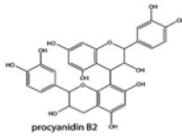
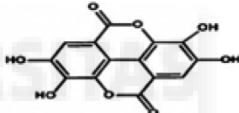
El jínjol es un fruto que tiene gran capacidad antioxidante debido a su alto contenido de vitamina C, fenoles y polifenoles totales (flavonoides, antocianinas, ácidos fenólicos etc.) (Gao *et al.*, 2013).

Los polifenoles son sintetizados por las plantas como producto de su metabolismo secundario, siendo los compuestos no energéticos más abundantes que contienen. Su estructura se caracteriza por poseer uno o más anillos aromáticos y dobles enlaces conjugados, que les otorgan su capacidad antioxidante. El diferente número de anillos sirve para clasificar los tipos de polifenoles: ácidos fenólicos (derivados del ácido hidroxibenzóico o del hidroxicinámico), estilbenos, lignanos, alcoholes fenólicos y flavanoides.

Una gran variedad de estos compuestos han sido encontrados en el jínjol (Tabla I) (Gao *et al.*, 2013).

Tabla I: Polifenoles encontrados en frutos de *Ziziphus jujuba*.

| main class | sub-class | name | chemical structure |
|-------------------------|--|-------------------------------|---|
| phenolic acids | hydroxycinnamic acids | <i>p</i> -coumaric acid |  |
| | | cinnamic acid |  |
| | | caffeic acid |  |
| | | chlorogenic acid |  |
| | | ferulic acid |  |
| | benzoic acids | <i>p</i> -hydroxybenzoic acid |  |
| | | protocatechuic acid |  |
| | | gallic acid |  |
| | | vanillic acid |  |
| | | flavonoids | flavonols |
| rutin |  | | |
| quercetin-3-galactoside |  | | |
| quercetin-3-rutinoside |  | | |

| main class | sub-class | name | chemical structure |
|--------------|--------------|--------------------------------|---|
| | | kaempferol-glucosyl-rhamnoside |  |
| | | quercetin-3-robinobioside |  |
| | Flavan-3-ols | epicatechin |  |
| | | catechin |  |
| | | procyanidin B2 |  |
| ellagic acid | | |  |

1.5. USOS MEDICINALES.

Este fruto es generalmente reconocido como una excelente fuente de compuestos biológicamente activos tanto a nivel nutricional como nutracéutico. Los frutos secos de este cultivo han sido utilizados como alimento, aditivos alimentarios y aromatizantes desde hace miles de años debido a su alto valor. También se han consumido en forma de pasta, puré y jarabe para mejorar la digestión y la salud en general. Asimismo, ha sido utilizado en la medicina tradicional China para el tratamiento de multitud de enfermedades (Azam-Ali *et al.*, 2006)

Este fruto es considerado como un alimento funcional, debido a la evidencia de que un alto consumo de azufaifos, y de todos sus productos industriales, se relaciona con una reducción del riesgo de algunos tipos de cánceres (Gao *et al.*, 2013; Plastina *et al.*, 2012).

También se recomienda el consumo de jínjoles para el tratamiento de algunas enfermedades tales como trastornos digestivos, problemas del hígado,

obesidad, diabetes, infecciones de la piel, pérdida de apetito, fiebre, faringitis, anemia, diarrea, etc (Plastina *et al.*, 2012).

En la tabla II se pueden observar algunas de las actividades farmacológicas que tienen distintos órganos de *Z. jujuba* (Tripathi, 2014).

Tabla II: Actividades farmacológicas del jinjolero.

| Actividad | Parte usada | Resultado |
|--|--------------------|--|
| Hipnótico-sedante y efecto ansiolítico | Semilla | Los extractos de semilla tienen un efecto ansiolítico significativo. Deprimen la actividad del sistema nervioso central por lo que reduce la ansiedad e induce al sueño. Provoca sueño pero no es un relajante muscular. |
| Actividad anticancerígena | Fruto | La citotoxicidad de los ácidos triterpenos se probó contra líneas de células tumorales. |
| Actividad antioxidante | Fruto | La piel del jínjol es una rica fuente de compuestos antioxidantes. |
| Efectos inmunoestimulantes | Hoja | Los extractos de hoja estimulan la quimiotaxis y la potencia fagocítica de neutrófilos. |
| Curación de heridas | Corteza | El extracto metanólico de corteza tiene gran actividad de curación de heridas en ratas albinas. |
| Actividad antiinflamatoria | Hoja | El extracto de hojas de posee una actividad anti-inflamatoria significativa contra el edema inducido por carragenina en ratas. |
| Actividad antiobesidad | Hoja | El extracto alcohólico de hojas produce la disminución del peso corporal, apetito, glucosa sérica y niveles de lípidos en órganos internos de ratas obesas. |

1.6. DESARROLLO Y MADURACIÓN DEL FRUTO.

1.6.1. DESARROLLO DEL FRUTO DEL JINJOLERO.

El tamaño final de los frutos carnosos está determinado por tres procesos importantes: la fase inicial de la división celular, responsable de la formación del ovario antes de la antesis (apertura de la flor), la segunda fase de división celular que tiene lugar después de la antesis y la polinización, y por último la fase de elongación o expansión celular, que es muy importante en casi todos los frutos carnosos ya que presentan un gran contenido en agua. La fase de elongación es la más estudiada debido a que afecta directamente a la producción y a la calidad del fruto y a que es el periodo que mejor se puede controlar. El proceso de desarrollo del fruto concluye con la maduración, aunque existe un solapamiento inevitable entre ambos procesos (Bollard, 1970; Coombe, 1976).

En los frutos tipo drupa, como es el caso del jínjol, la curva de crecimiento es doble sigmoide, pudiéndose distinguir en ella tres fases distintas, concretamente dos fases de crecimiento activo denominadas periodo I y III, separadas por una fase intermedia, denominada periodo II, en la que apenas tiene lugar crecimiento alguno. Este tipo de crecimiento se puede observar en la figura 1.

En la **primera fase** (periodo I), se produce un crecimiento rápido en el pericarpo como consecuencia de la división y la posterior expansión celular que sufren los tejidos del fruto. Durante esta fase el endocarpo y la cubierta de la semilla alcanzan casi su tamaño definitivo, pero el embrión apenas se desarrolla.

En la **segunda fase** (periodo II), disminuye bruscamente la intensidad de crecimiento debido, fundamentalmente, a que se detiene la expansión celular, lo que retarda el crecimiento del mesocarpo. El hecho dominante que caracteriza este periodo es el endurecimiento y la lignificación del endocarpo que pasará a formar el hueso del fruto. La duración de esta fase es muy variable dependiendo de la especie y de la variedad. Es en esta fase cuando el

embrión alcanza su tamaño máximo, en el caso de variedades tardías, mientras que continúa en la siguiente en el caso de variedades tempranas.

En la **tercera fase** (periodo III) se reanuda el crecimiento del mesocarpo debido a que se produce de nuevo expansión celular, aumentando tanto el tamaño como el peso del fruto, con una intensidad similar a la de la primera fase. La semilla experimenta un aumento notable de peso seco y el embrión alcanza la madurez (Agustí, 2008). Hacia el final de esta fase se produce una reducción progresiva del crecimiento coincidiendo con el inicio de la maduración.

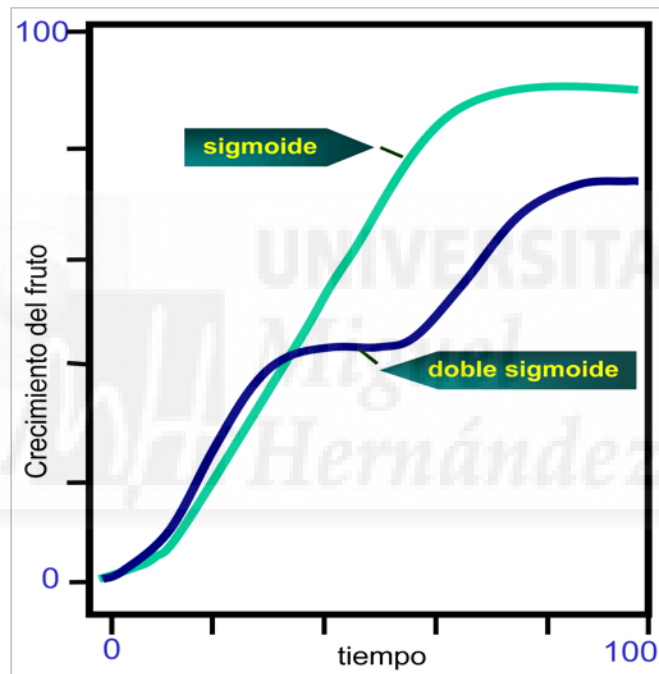


Figura. 1: Curvas de crecimiento de los frutos, mostrando el tipo sigmoide y doble sigmoide.

1.6.2. FACTORES QUE AFECTAN AL DESARROLLO DEL FRUTO.

Disponibilidad de carbono: el crecimiento y desarrollo del fruto está determinado por la cantidad de fotoasimilados que recibe. En plantas perennes, el crecimiento de la mayoría de los frutos depende, además, de la cantidad de carbono fijado durante la fotosíntesis, de las reservas acumuladas en la planta. En estas plantas, el efecto de las reservas es importante y se

valora utilizando la técnica del anillado de ramas. Se ha observado que estas plantas emplean las reservas almacenadas en sus tallos para mantener el crecimiento de los frutos, y que cuando el árbol no posee reservas de carbono, necesita un número considerable de hojas para mantener un tamaño comercial aceptable de los mismos (Agustí, 2008).

Disponibilidad de agua: el estado hídrico de la planta tiene un gran efecto sobre el cuajado y el desarrollo del fruto. Cuando las plantas sufren sequía disminuye el cuajado y aumenta la abscisión, por lo que disminuye el rendimiento del cultivo. Sin embargo, el déficit hídrico tiene menos efecto sobre el crecimiento del fruto cuando es joven. Esto quizá se deba a que en los frutos pequeños de muchas especies, aún se produce división celular, un proceso que no es tan dependiente del aporte de agua como lo es el de la expansión celular (Agustí, 2008).

Por otro lado, el efecto que el riego o la lluvia tienen sobre la expansión del fruto es, frecuentemente, espectacular, pudiendo llegar a provocar, en algunos casos, el agrietamiento de los frutos, lo que obliga a utilizar el programa óptimo de riego para cada cultivo.

En varios estudios se ha observado que la humedad ambiental afecta a la velocidad de crecimiento del fruto porque modifica fundamentalmente la transpiración de la planta, ya que, aunque los frutos presentan tasas de transpiración bajas, las intensidades de crecimiento menores coinciden con los periodos en los que la capacidad evaporativa de la atmósfera y las intensidades de transpiración son elevadas, probablemente debido a la competencia de las hojas por el agua.

Temperatura: a medida que aumenta la temperatura se incrementa la velocidad de crecimiento del fruto, debido a que aumentan las velocidades de división y expansión celular. Sin embargo, el tamaño final del fruto no aumenta, y por tanto, el fruto madura antes. Por otro lado, temperaturas muy altas o bajas pueden provocar lesiones externas en los frutos y alterar la calidad (decoloración, ruptura de tejidos, etc.) de los mismos (Agustí, 2008).

Intensidad luminosa: tiene dos efectos principales sobre el crecimiento del fruto, ambos indirectos. En primer lugar, la intensidad luminosa determina en gran medida la tasa de fotosíntesis foliar que gobierna el aporte de carbono al fruto en desarrollo, y en segundo lugar, también determina la transpiración de la planta mediante sus efectos directos sobre la apertura estomática, lo que puede tener profundas consecuencias sobre la expansión del fruto, debido a su íntima relación con el estado hídrico de la planta (Agustí, 2008).

1.6.3. MADURACIÓN DEL FRUTO: CAMBIOS FISIOLÓGICOS Y BIOQUÍMICOS.

En general, una vez que el fruto alcanza su tamaño definitivo, y en algunos casos incluso antes, inicia el proceso de maduración, un proceso programado genéticamente, que podríamos definir, desde un punto de vista comercial, como la secuencia de cambios en color, sabor, aroma y textura que conducen al fruto a un estado en el que es aceptable para el consumo (Rhodes, 1970; Giovannoni, 2001).

Los principales **cambios bioquímicos** que se producen durante la maduración de la mayoría de los frutos carnosos son los siguientes (Agustí, 2008; Hobson, 1999; Barceló, 2001):

- Degradación de clorofilas y desenmascaramiento o síntesis de pigmentos (carotenoides y/o antocianos), lo que provoca los cambios de color.
- Descenso en el contenido de almidón y acumulación de azúcares solubles (glucosa, fructosa y sacarosa), lo que aumenta el dulzor.
- Descenso del nivel de ácidos orgánicos y compuestos fenólicos, lo que disminuye la acidez y la astringencia.
- Síntesis y emisión de compuestos volátiles que contribuyen al aroma característico y al sabor del fruto.

- Y degradación de los componentes de la pared celular, lo que provoca los cambios de textura que conducen al ablandamiento del fruto.

En algunos frutos, conocidos con el nombre de **frutos climatéricos**, estos cambios que acabamos de comentar se producen de forma rápida. Además, en estos frutos, se detecta un brusco aumento de la producción de etileno y de la tasa de respiración durante la maduración, siendo el etileno la hormona responsable del inicio de este proceso. Entre los frutos climatéricos se encuentran frutos como el tomate, el plátano, la manzana, el melocotón, el albaricoque, la pera, la ciruela, el aguacate, la chirimoya, el caqui, el mango, el kiwi, el melón, el higo, etc.

En estos frutos, la evolución de la intensidad respiratoria pasa por tres periodos (Agustí, 2008; Hobson, 1999; Barceló, 2001):

El **periodo pre-climatérico**, durante el cual la intensidad respiratoria decrece hasta alcanzar un valor mínimo, que se mantiene hasta que el fruto alcanza su tamaño definitivo. Este periodo suele incluir las fases de división y expansión celular.

A continuación, en el **periodo climatérico**, periodo durante el cual se produce la maduración del fruto, la intensidad respiratoria aumenta hasta alcanzar un valor máximo, conocido como **incremento climatérico**, que normalmente coincide con el final del proceso de maduración.

Y finalmente, el **periodo post-climatérico**, durante el cual la intensidad respiratoria decrece; aunque posteriormente pueda producirse un pequeño incremento de esta intensidad debido a los procesos de sobremaduración.

Sin embargo, en otros frutos, conocidos como **frutos no climatéricos**, estos cambios se producen, generalmente, de forma lenta y gradual y la maduración no va acompañada por un aumento de la producción de etileno ni de la respiración. Además, la aplicación de etileno a estos frutos, aunque aumenta la intensidad respiratoria en proporción a la concentración empleada, no acelera el proceso de maduración ni estimula la autocatálisis de etileno, aunque pueden aparecer algunos síntomas de envejecimiento, como son la degradación de clorofila y la acumulación de carotenoides. En algunos de estos

frutos en los que el etileno desempeña un papel mínimo durante la maduración, los niveles de ácido abscísico aumentan durante la misma, por lo que se ha sugerido que esta hormona podría ser el promotor más importante de la maduración de estos frutos. Sin embargo, se desconoce aún el mecanismo que desencadena la maduración de los frutos no climatéricos entre los que se incluyen los cítricos, la fresa, la uva, la cereza, la piña, el pepino, la calabaza, etc.





OBJETIVOS

2. OBJETIVOS.

El jingolero (*Ziziphus jujuba* Mill.) es un frutal originario de Asia, cultivado tradicionalmente desde hace milenios en China y otros países orientales. En este país además de representar una fuente alimentaria muy importante, se ha utilizado en su medicina tradicional debido a las propiedades funcionales y nutracéuticas que presentan los frutos del jingolero.

Existen multitud de variedades, cada una de ellas con características fisicoquímicas, fisiológicas y funcionales diferentes. La mayoría de los estudios que se han realizado han sido sobre variedades asiáticas, sin embargo, las variedades españolas aún están muy poco estudiadas.

En España, el cultivo del jingolero se ha realizado de forma marginal durante muchos años, sin embargo, en la actualidad, está aumentando el interés por este frutal debido a las propiedades de sus frutos.

Debido a esto, el objetivo de este trabajo ha sido caracterizar dos variedades de jingol español, de la zona de la Vega Baja del Segura, cultivadas en condiciones homogéneas en la finca experimental de la Escuela Politécnica Superior de Orihuela. Estas variedades son denominadas jingoles medianos (JM) y Grandes de Albaterra (GA). Para su caracterización se han determinado parámetros físicos (peso, longitud, diámetro, firmeza y color), químicos (ácidos orgánicos, azúcares reductores, actividad antioxidante total hidrosoluble y liposoluble, fenoles totales y proteínas) y fisiológicos (emisión de etileno y tasa de respiración).





MATERIAL Y MÉTODOS

3. MATERIAL Y MÉTODOS.

3.1. LOCALIZACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LA PARCELA.

Las variedades de jínjol utilizadas en este trabajo se encuentran en una finca experimental de la Escuela Politécnica Superior de Orihuela (Universidad Miguel Hernández), situada en el término municipal de Orihuela (Alicante), concretamente en el km 3,2 de la carretera Orihuela-Beniél. Esta finca consta de 155.792 m² de superficie.

Las temperaturas, humedad relativa y precipitaciones durante el año en el que se realizó el experimento fueron recogidas mediante la estación MU21, en el municipio de Beniél, que pertenece al Sistema de Información Agraria de Murcia (SIAM) del Instituto Murciano de Investigación y Desarrollo Agrario y Alimentario (IMIDA), y se encuentra a 4 km de la finca experimental (Fig. 2, 3 y 4).

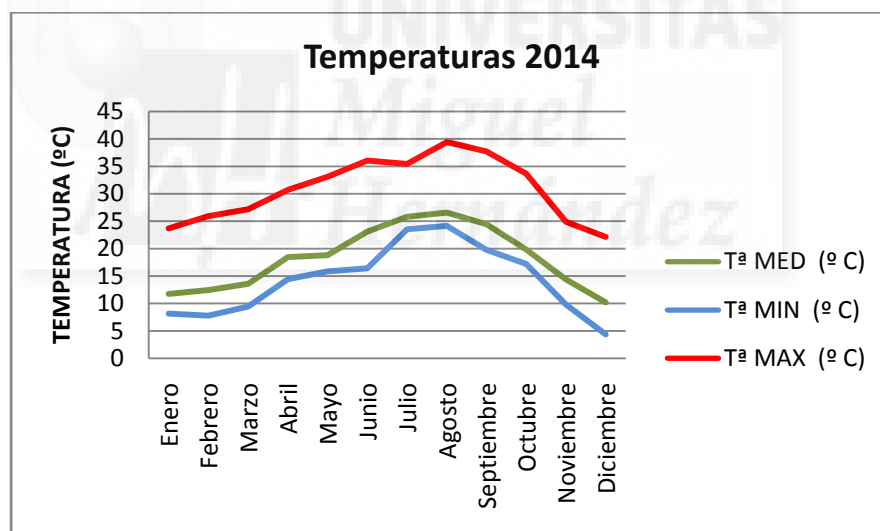


Figura 2: Temperaturas máximas, medias y mínimas durante el año 2014 (SIAM-IMIDA, 2015).

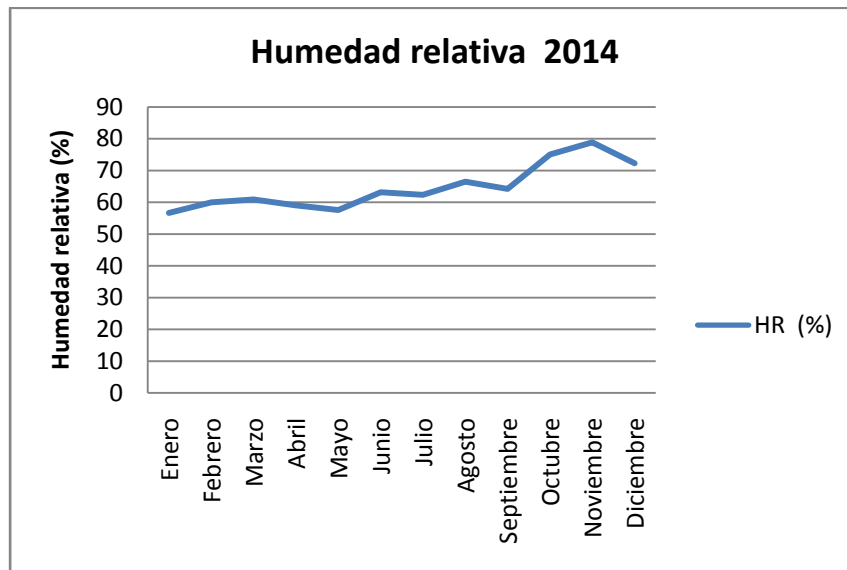


Figura. 3: Humedad relativa durante el año 2014 (SIAM-IMIDA, 2015).

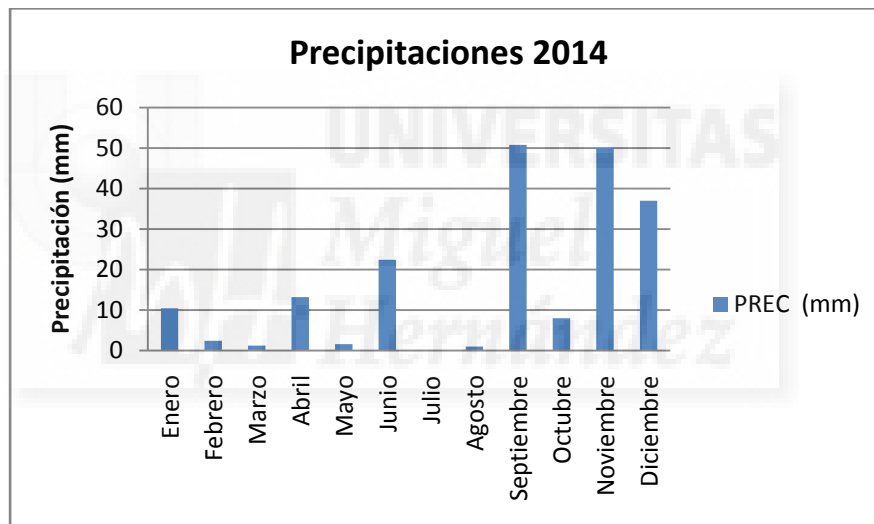


Figura. 4: Precipitaciones durante el año 2014 (SIAM-IMIDA, 2015).

El sistema de riego utilizado en la parcela es el riego localizado (riego por goteo), mediante goteros autocompensantes.

El suelo de la parcela presenta una textura franco-arcillosa-limosa y con aptitud media para su uso agrícola y una salinidad ligeramente alta, poca cantidad de materia orgánica y algo de poder clorosante.

La fertilización y el riego que se emplearon en la finca experimental durante el año 2014 se puede observar en la tabla III:

Tabla III: Fertilización y riego de la finca experimental (2014).

| Mes | Fertilización | | | | | Riego | |
|------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------------|-----------------------|---------------------|-----------------------------|
| | Nitrato amónico (kg/mes) | Nitrato cálcico (kg/mes) | Acido fosfórico (kg/mes) | Nitrato potásico (kg/mes) | Quelato Fe++ (kg/mes) | Tiempo de riego (h) | Días de riego (días/semana) |
| Enero | | | 7,2 | | 1,2 | 0,5 | 3 |
| Febrero | | | 7,2 | 18 | 1,2 | 1 | 3 |
| Marzo | | | 7,2 | 18 | 0,6 | 1,5 | 3 |
| Abril | | | 7,2 | | 0,6 | 1,5 | 3 |
| Mayo | 9,6 | 7,2 | | 15 | | 2 | 5 |
| Junio | 9,6 | 7,2 | | 15 | | 2,5 | 5 |
| Julio | | | 3,6 | 18 | 0,6 | 3 | 5 |
| Agosto | | | | 18 | | 3 | 5 |
| Septiembre | | | | 18 | | 2 | 5 |
| Octubre | | | | 15 | | 2 | 3 |
| Noviembre | | | 7,2 | | | 0,5 | 3 |
| Diciembre | | | 7,2 | | | 0,5 | 3 |

Los tratamientos fitosanitarios que se llevaron a cabo en la parcela para su correcto mantenimiento durante el año 2014 se pueden observar en la tabla IV:

Tabla IV: Tratamientos fitosanitarios (2014).

| Tratamientos | Materia activa | Nombre comercial | Dosis 100 l |
|---------------------|------------------------------------|------------------------------|-----------------|
| De invierno | Imidacloprid 20% p/v | Confidor | 50 c.c./ 100 l |
| | Piriproxifen 10% p/v | Atominal | 60 c.c./ 100 l |
| | Oxicloruro de cobre 50% p/p | Oxicloruro de cobre 50 | 400 g/ 100 l |
| | Aceite de parafina 83% p/v | Aceite de parafina 83 LE CAG | 1,5 l/ 100l |
| De primavera (Mayo) | Imidacloprid 20% p/v | Couraze | 75 c.c. / 100 l |
| | Ciproconazol 10% WG | Candy 10 Pépité | 18 g/100 l |
| | Hierro 2% + Manganeso 6% + Zinc 6% | Brexil Nutre | 100 g/ 100 l |
| | Mojante | Agral | 50 c.c./ 100 l |
| De verano | Lambda cihalotrin 10% p/v. CS | KARATE Zeon | 20 c.c. / 100 l |
| | Mojante | Agral | 50 c.c./ 100 l |
| | Cipermetrin 10% p/v | Cipermetrina | 100 c.c. /100 l |
| | Hierro 2% + Manganeso 6% + Zinc 6% | Brexil Nutre | 100 g/ 100 l |
| | Mojante | Agral | 50 c.c./ 100 l |

3.2. MATERIAL VEGETAL

Los frutos caracterizados en este trabajo pertenecen a jingoleros (*Ziziphus jujuba* Mill.) plantados en condiciones de cultivo homogéneas en la finca experimental de la EPSO, tal y como se ha indicado anteriormente, con un marco de plantación de 4x3 m. Los árboles están formados en vaso y tienen 20 años de edad.

Se han utilizado dos variedades distintas, una de tamaño mediano denominada Jínjoles Medianos (JM), y otra de mayor tamaño denominada Grandes de Albatera (GA).

3.3. DISEÑO EXPERIMENTAL.

Los árboles de los cultivares JM y Grandes de Albatera, alcanzaron la plena floración el 9 de mayo de 2014, y se seleccionaron dos árboles por variedad. Una vez cuajados los primeros frutos, se marcaron cuatro ramas por árbol situadas en los cuatro puntos cardinales que contenían frutos de tamaño uniforme y representativo de la media de los frutos del árbol, obteniendo así, un total de 8 muestras representativas del desarrollo de los frutos por variedad. Los frutos de estas ramas supusieron una guía para la toma de muestras.

Desde el 28 de mayo (20 días después de la plena floración) se realizó una recolección semanal de frutos hasta el 6 de agosto, y a partir de aquí, dos recolecciones a la semana hasta el 25 de agosto, con el fin de seguir el proceso de desarrollo y maduración de los frutos de forma más detallada. Realizando, por tanto, un total de 17 recolecciones.

De forma previa a todas las recolecciones se realizaba *in situ* una media de las mediciones de longitud y diámetro de los frutos marcados para, a partir de ésta, recoger una muestra de unos 40 frutos por árbol y variedad que presentaran similares características. Las muestras recogidas se llevaron al laboratorio de Fisiología Vegetal de la Universidad Miguel Hernández de forma inmediata. De estas muestras se seleccionaron unos 20 frutos por árbol y variedad que se ajustaran a la media de las medidas de longitud y diámetro, y

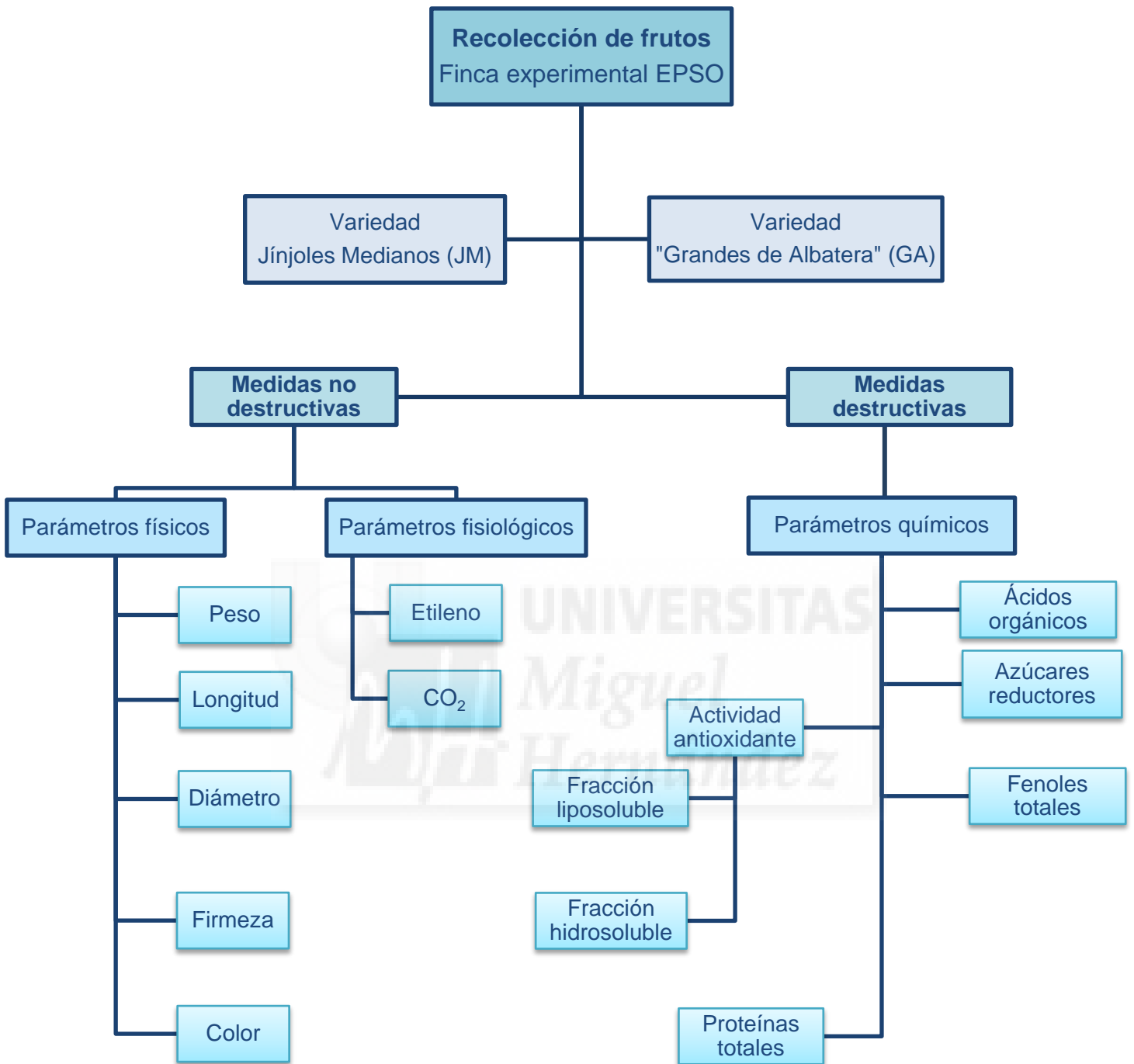
que se encontraran en perfecto estado, para la realización de las determinaciones de peso, longitud, diámetro, color y firmeza.

A partir del 13 de junio, cuando los frutos pesaban entre 1 y 2 g, tras pesar los frutos, se introducían por grupos en botes de cristal herméticos provistos de un septum en la tapa, para realizar, al cabo de una hora, determinaciones del desprendimiento de etileno y CO₂. Posteriormente, se midieron el resto de parámetros físicos indicados anteriormente.

A continuación, los frutos de cada variedad se agruparon en dos submuestras que eran congeladas a -80°C para su posterior análisis químico.

Las determinaciones de los parámetros químicos se realizaron a partir de muestras obtenidas de los frutos congelados. Los jínjoles de cada muestra fueron troceados (excluyendo el endocarpo y la semilla) y separados en dos submuestras, constituidas por trozos equitativos de cada uno de los jínjoles que componían la muestra. Una submuestra, constituida por 1 g, era destinada a la determinación de la actividad antioxidante total, tanto de la fracción liposoluble como de la hidrosoluble, así como a la determinación de los fenoles. La segunda submuestra, en este caso de 2 g, se utilizó para la determinación del contenido de ácidos orgánicos, azúcares reductores y proteínas.

Todo el plan experimental descrito anteriormente se puede observar en el siguiente esquema:



3.4. DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS FÍSICOS.

3.4.1. DETERMINACIÓN DEL PESO.

Para la determinación del peso de los frutos de cada una de las muestras se utilizó una balanza analítica de precisión (Sartorius Basic, modelo B 120 S).

Los resultados obtenidos se expresaron como la media \pm E.S. de las 40 medidas por muestra y se expresaron en g.

3.4.2. DETERMINACIÓN DE LA LONGITUD.

La longitud de cada uno de los jínjoles se midió con un calibre electrónico digital TESA DIGIT-CAL de 150 mm (Fotografía 8). Los resultados obtenidos se expresaron como la media \pm E.S. de las 40 medidas realizadas por muestra y se expresaron en mm.



Fotografía 8: Calibre electrónico TESA DIGIT-CAL.

3.4.3. DETERMINACIÓN DEL DIÁMETRO.

A la vez que se determinaba el parámetro anterior se midió el diámetro de cada uno de los jínjoles, para lo que se utilizó el mismo calibre electrónico que el descrito en el apartado anterior (Fotografía 8). Los resultados obtenidos se expresaron como la media \pm E.S. de las 40 medidas realizadas por muestra y se expresaron en mm.

3.4.4. DETERMINACIÓN DE LA FIRMEZA.

Para determinar las propiedades mecánicas de los frutos se utilizó un texturómetro TA-XT2i (Texture Analyzer, Stable Microsystems, Godalming, UK) que es válido para hacer ensayos de tracción, compresión y flexión, con una fuerza máxima de ensayo de 25 KN y una precisión en la medida de 0.5-1%. Este aparato está conectado a un ordenador personal para el procesado de datos (Fotografía 9).

Para determinar la firmeza de los frutos se utilizó una sonda P100, consistente en un plato de compresión de 100 mm de diámetro de base plana, montada sobre el Texturómetro TA-XT2i (Fotografía 9), determinándose la fuerza ejercida sobre el fruto hasta producirle una deformación del 3%. La velocidad de descenso del disco fue fijada en 0,3 mm/seg, expresando los resultados en N/mm.



Fotografía 9: Texturómetro TA-XT2i, con los accesorios empleados en el ensayo de compresión.

Las medidas de firmeza se realizaron sobre cada uno de los 20 jínjoles de cada árbol y variedad, siendo los resultados, para cada variedad, expresados como la media \pm E.S. de 40 medidas.

3.4.5. DETERMINACIÓN DEL COLOR.

Para la determinación del color de los frutos se utilizó un colorímetro triestímulo MINOLTA modelo CR-300 (Fotografía 10). Este aparato está provisto de una fuente luminosa constante que proyecta una luz sobre la muestra formando un ángulo de 45° y la refleja verticalmente a través de los correspondientes juegos de filtro y fotocélula para dar valores a los parámetros L^* , a^* y b^* .



Fotografía 10: Colorímetro triestímulo MINOLTA CR-300.

Para cada fruto se efectuaron 3 medidas repartidas uniformemente por toda su superficie, siendo el valor que aparece en las figuras la media de las tres medidas de los 20 frutos de cada árbol y variedad.

Para la determinación del color se utilizó el sistema CIELab (L^* , a^* , b^*). Las coordenadas del sistema CIELab (Fig. 5) están correlacionadas con tres índices básicos que se pueden distinguir en toda apreciación del color: luminosidad y cromaticidad (tono y croma).

El parámetro L^* (eje Y) indica la luminosidad del fruto, varía de 0 (negro) a 100 (blanco).

Los parámetros a^* y b^* , indican conjuntamente la cromaticidad, a^* representado en el eje X, va desde colores verdes ($-a^*$) hasta rojos ($+a^*$) y b^* representado el eje Z (perpendicular) evoluciona desde el azul ($-b^*$) hasta el

amarillo (+b*). Cada color viene dado por tres valores de estas coordenadas, que representan un punto en el espacio tridimensional. Los resultados se expresan como L*, a*, b*.

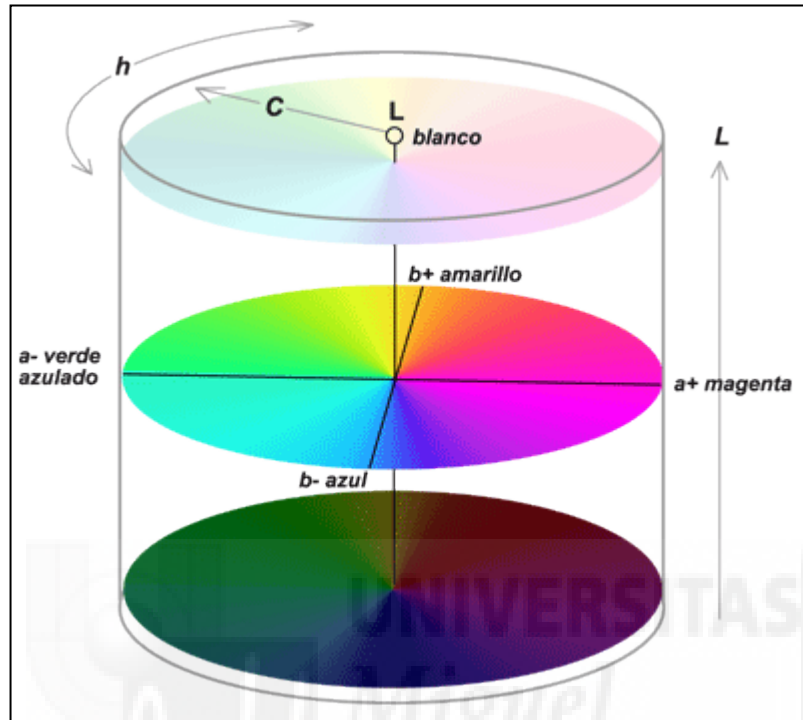


Figura 5: Color según los parámetros L*, a* y b* del sistema CIELab.

3.5. DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS QUÍMICOS.

3.5.1. OBTENCIÓN DE EXTRACTOS PARA LA DETERMINACIÓN DE ÁCIDOS ORGÁNICOS, AZÚCARES Y PROTEÍNAS.

Para la determinación de ácidos orgánicos, azúcares reductores y proteínas se utilizaron las muestras de jínjoles que previamente habíamos congelado y conservado a -80°C , tras la determinación de los parámetros físicos y fisiológicos.

Una vez troceados los frutos de cada muestra, se pesaron 2 g de la parte comestible y se trituraron junto con 10 ml de tampón tris-acetato 50 mM, pH 6,0, CaCl 10 mM, en un Polytrón T.25 IKA LABORTECHNIK (Fotografía 11) durante 60 segundos a velocidad media de 9500 r.p.m. A continuación, los

homogenados se centrifugaron durante 20 min a 15000 r.p.m. y a 4°C en una centrífuga SIGMA 3-18K (Fotografía 12), el líquido sobrenadante se congelaba a -80°C hasta su posterior análisis.



Fotografía 11: Polytrón T.25 IKA
LABORTECHNIK.



Fotografía 12: Centrífuga SIGMA 3-18K.

3.5.2. DETERMINACIÓN DE ÁCIDOS ORGÁNICOS Y AZÚCARES REDUCTORES.

La determinación de ácidos orgánicos y azúcares reductores se llevó a cabo mediante cromatografía líquida de alta presión (HPLC) de acuerdo con Serrano *et al.* (2005). Los extractos obtenidos, como se indica anteriormente (apartado 3.5.1.), fueron tamizados con filtros de celulosa de 45 μm de poro y depositados en viales que posteriormente fueron introducidos en un cromatógrafo líquido de alta presión HEWLETT-PACKARD serie 1100 con detector visible-U.V. para ácidos orgánicos e índice de refracción para azúcares (Fotografía 13).



Fotografía 13: Cromatógrafo líquido de alta presión (HPLC) HEWLETT-PACKARD serie 1100.

Como fase móvil se utilizó ácido fosfórico al 0.1% con un flujo de 0,5 ml min^{-1} . Los ácidos orgánicos y los azúcares, se separaron en una columna SUPRACOGEL C-610H, de 30 cm de longitud y 7,8 mm de diámetro interno y se cuantificaron con un detector de absorbancia a 210 nm y de índice de refracción, respectivamente. Los resultados se obtuvieron comparando las áreas de los picos correspondientes a cada ácido y a cada azúcar con las de los patrones de concentración conocida. La cantidad de ácidos orgánicos y de azúcares reductores (glucosa y fructosa) se expresó como gramos por cada 100 g de peso fresco.

3.5.3. DETERMINACIÓN DE PROTEÍNAS TOTALES.

Para la determinación de proteínas se utilizó el método de Bradford (1976), empleando albúmina de suero bovino (BSA) como patrón de calibración.

Se empleó el ensayo colorimétrico simple de proteínas Bio-Rad para medir la concentración de proteínas totales que se basa en el cambio de color del colorante azul brillante de Coomassie G-250 que se une a restos de aminoácidos (Bradford, 1976) y que permite detectar pequeñas concentraciones de proteínas.

Para las determinaciones, se adicionaron a tubos de ensayo de 5 ml volúmenes de muestra que oscilaron de 10 a 50 μ l, a los que se les añadía tampón tris-acetato 50 mM, pH 6,0 hasta un volumen de 800 μ l. A continuación, se añadían 200 μ l del reactivo de Bio-Rad y se agitaba enérgicamente en un agitador vortex. Los tubos se mantenían a temperatura ambiente, entre 5-60 minutos y se medía la absorbancia a 595 nm.

La concentración de proteínas de las muestras ensayadas se determinaba por interpolación en una recta de calibrado construida con concentraciones conocidas de albúmina de suero bovino (Fig. 6). La ecuación de la recta de calibrado que se empleó fue $y = 0,057x + 0,017$, donde y = unidades de absorbancia a 595 nm y x = [BSA] (μ g), siendo $r^2 = 0,998$. Los resultados finales se expresaron en mg de proteína por cada 100 gramos de peso fresco, siendo estos la media \pm E.S. de 3 mediciones por muestra.

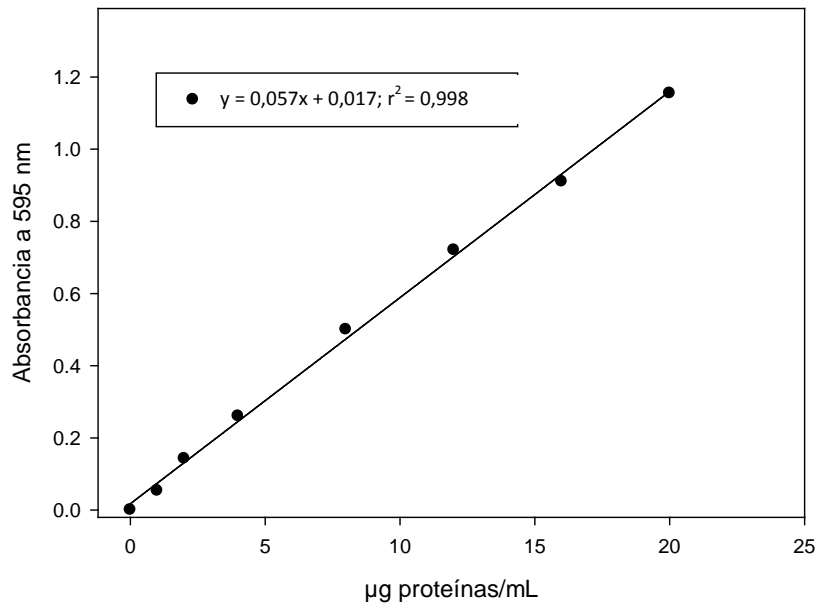


Figura. 6: Recta de calibrado para proteínas totales.

3.5.4. OBTENCIÓN DE EXTRACTOS PARA LA DETERMINACIÓN DE ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE Y FENOLES TOTALES.

Para la determinación de la actividad antioxidante y los fenoles totales se utilizaron las muestras de jínjoles que previamente habíamos congelado y conservado a -80°C .

Una vez troceados los frutos de cada muestra, se pesó 1 g de la parte comestible y se trituró junto con una mezcla constituida por 5 ml de tampón tris-acetato 50 mM, pH 6,0, CaCl 10 mM y 3 ml de Etilacetato, en un Polytrón T.25 IKA LABORTECHNIK (Fotografía 11) durante 60 segundos a velocidad media de 9500 r.p.m. A continuación, los homogenados se centrifugaron durante 20 min a 15000 r.p.m. y a 4°C en una centrífuga SIGMA 3-18K (Fotografía 12). Como resultado de la centrifugación se obtenían dos fracciones, una hidrosoluble y otra liposoluble (Arnao *et al.*, 2001), que se tomaban por separado y se congelaban a -80°C para su posterior análisis.

3.5.5. DETERMINACIÓN DE LA ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE TOTAL HIDROSOLUBLE Y LIPOSOLUBLE.

La determinación de la capacidad antioxidante total de la **fracción hidrosoluble** se llevó a cabo según el método de Cano *et al.* (1998). Este método se basa en la liberación de radicales $ABTS^+$ (2,2'azinobis (3-etilbenzotiazolin 6-ácido sulfónico)) que se produce por la acción de la enzima peroxidasa. Estos radicales libres muestran un máximo de absorbancia a 730 nm, por tanto, al añadir el extracto de jínjol sus antioxidantes reaccionan con los radicales libres $ABTS^+$ que desaparecen y en consecuencia la absorbancia disminuye.

La reacción se lleva a cabo adicionando a las cubetas 925 μ l de tampón Glicina 50 mM, 20 μ l de ABTS 10 mM y 20 μ l de H_2O_2 1 mM. A una de las cubetas se le añaden 15 μ l de peroxidasa 10 mM, se agita y se mide la absorbancia inicial a 730 nm.

A continuación, se adicionan 20 μ l de extracto de muestra, se agita y se vuelve a medir la absorbancia a los 90 segundos desde la adición. La diferencia de absorbancia entre la medida inicial y la de los 90 segundos nos permite determinar la actividad antioxidante de la fracción hidrosoluble. Las determinaciones se realizaban por triplicado para cada una de las muestras.

La determinación de la capacidad antioxidante total de la **fracción liposoluble** también se llevó a cabo según el método de Cano *et al.* (1998), sustituyendo el tampón glicina por etanol.

Para la expresión de los resultados finales de actividad antioxidante total de la fracción hidrosoluble se realizó una recta de calibrado de Trolox (6-hidroxi-2, 5, 7, 8-tetrametilcromo - 2-ácido carboxílico) cuya ecuación fue $y = 0,1383 x + 0,0335$, con una correlación del 99,9% (Fig. 7) y para la fracción liposoluble cuya ecuación fue $y = 0,093 x + 0,068$, siendo $y =$ unidades de absorbancia a 730 nm y $x = [Trolox]$ (μ g/ml), con una correlación del 99,8%.

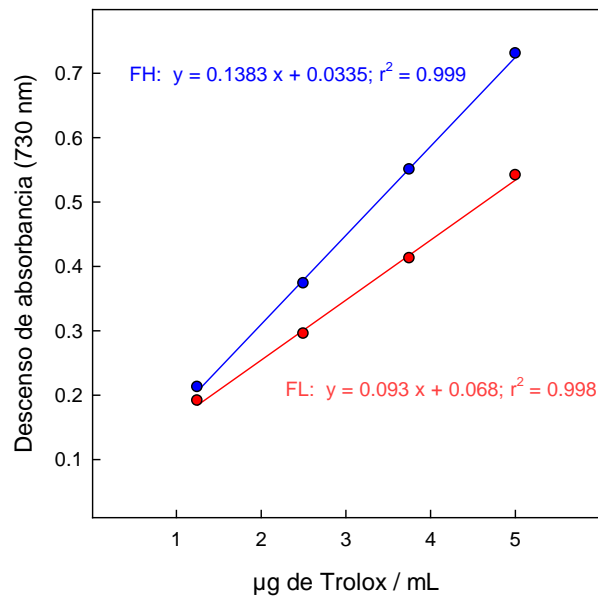


Figura 7: Recta de calibrado para actividad antioxidante total hidrosoluble (FH) y liposoluble (FL).

La capacidad antioxidante equivalente de Trolox mide la capacidad antioxidante de una sustancia dada, en comparación con el estándar de Trolox.

Los resultados obtenidos se expresaron como la media \pm E.S. de las 3 medidas por muestra y se expresaron como mg equivalentes Trolox por cada 100 g de peso fresco.

Para la determinación de las actividades antioxidantes se utilizó un espectrofotómetro UNICAM HELIOS α (Fotografía 14) y cubetas de plástico de 1.5 ml desechables.



Fotografía 14: Espectrofotómetro UNICAM HELIOS α .

3.5.6. DETERMINACIÓN DE FENOLES TOTALES.

El método empleado para la determinación de fenoles totales fue el método espectrofotométrico desarrollado por Folin-Ciocalteu (Singleton *et al.*, 1999).

La determinación de los fenoles totales de los extractos de jínjol procedentes de la fracción hidrosoluble se realizó de la siguiente manera: se añaden a un tubo de ensayo 2,5 ml de reactivo Folin, 25 μ l de muestra y 475 μ l de tampón fosfato 50 mM, pH 7,8. Se agita y se deja reposar 2 minutos. A continuación, se añaden 2 ml de Na_2CO_3 al 7,5% (p/v) y agitamos con un agitador automático. Los tubos de ensayo se ponen al baño maría a 50°C durante 5 minutos. Finalmente, se mide la absorbancia a 760 nm. El blanco de referencia utilizado contenía lo mismo que los tubos anteriores pero sin muestra.

Las medidas de absorbancia de cada muestra se llevaron a una recta de calibrado construida a partir de las medidas de absorbancia a 760 nm de distintas concentraciones de ácido gálico 1 mM, utilizado como patrón de fenoles totales (Fig. 8). La ecuación de la recta de calibrado que se empleó fue $y = 0,0208x + 0,0045$, donde y = unidades de absorbancia a 760 nm y x = [ácido gálico] ($\mu\text{g/ml}$), siendo $r^2 = 0,996$. Los resultados finales se expresaron en mg equivalentes de ácido gálico por cada 100 gramos de peso fresco, siendo estos la media \pm E.S. de 3 mediciones por muestra.

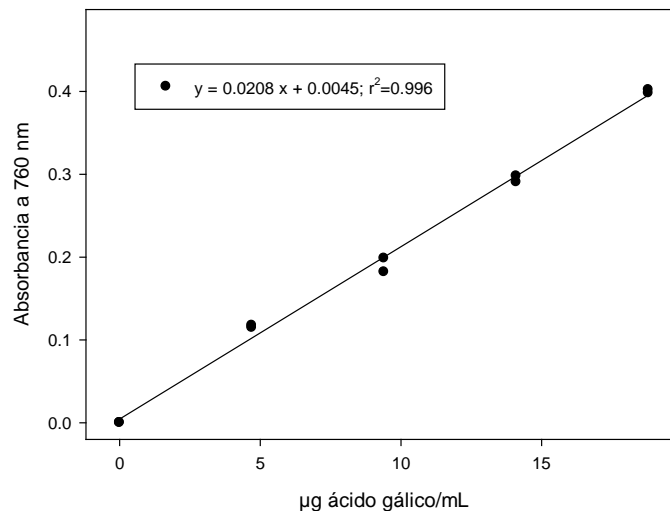


Figura. 8: Recta de calibrado para fenoles totales.

3.6. DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS FISIOLÓGICOS.

3.6.1. DETERMINACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE ETILENO Y DE LA TASA DE RESPIRACIÓN.

Para determinar el **etileno** emitido por los frutos, se siguió el método propuesto por Kader (1992), llamado sistema estático o cerrado, para ello se colocaron los jínjoles de las diferentes muestras en tarros de cristal herméticos, provistos en la tapa de un septum de silicona que permitiera la toma de muestra del contenido gaseoso del recipiente.

Los jínjoles de cada una de las muestras fueron divididos en 8 submuestras, cada una de las cuales se introdujo en un tarro, perteneciendo 4 submuestras a cada árbol de la misma variedad.

Se utilizaron envases de 6, 12 y 135 ml dependiendo del tamaño de los jínjoles de cada muestreo. De los envases de 6 y 12 ml únicamente se extrajo 1 ml del contenido gaseoso del recipiente para la medida de etileno, mientras que de los de 135 ml se extrajeron 2 muestras de 1 ml. Las extracciones se realizaron a los 60 minutos de haber estado cerrados los botes de forma hermética, pinchando a través del septum con una jeringuilla de gases de 1 ml.

Cada ml de la atmósfera del tarro era inyectado en un cromatógrafo de gases HEWLETT-PACKARD modelo 5890 (Fotografía 15), provisto de un

detector de ionización de llama y una columna de acero inoxidable, de 3 m de longitud y de 3,5 mm de diámetro, con relleno de alúmina activada de 80/100 mesh.

Las condiciones de trabajo empleadas fueron:

- Flujo del gas portador (N_2): 32 ml/min.
- Flujo de hidrógeno: 26 ml/min.
- Flujo de aire: 400 ml/min.
- Temperatura del detector y del inyector: 150 °C.
- Temperatura de la columna: 90 °C.

El cromatógrafo de gases estaba conectado a un registrador integrador HEWLETT-PACKARD modelo 5890 (Fotografía 15).



Fotografía 15: Cromatógrafo de gases HEWLETT-PACKARD modelo 5890.

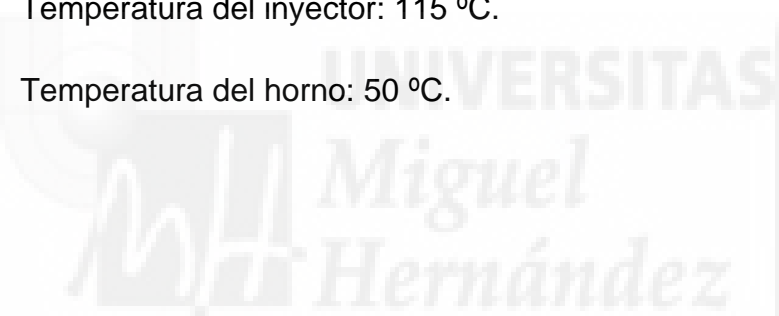
El etileno fue identificado por su tiempo de retención característico en la columna, que en las condiciones empleadas fue, aproximadamente, de 2 minutos y 38 segundos. Como estándar externo se utilizó un patrón de calibración con una concentración de 10 ppm de etileno en nitrógeno. Con él se construyeron rectas de calibrado que permitieron cuantificar de forma directa el etileno desprendido por los frutos. Los resultados obtenidos para el etileno son la media \pm E.S. de 20 medidas y se expresan como nanolitros de etileno desprendido por gramo de fruto y hora (nl de $C_2H_4 \cdot g^{-1} \cdot h^{-1}$).

Para determinar la **emisión de CO₂** por los frutos se utilizó el método de Kader (1992), descrito anteriormente. Las muestras del contenido gaseoso de los tarros donde se habían encerrado los frutos, se inyectaron simultáneamente a las de etileno, en un cromatógrafo de gases para CO₂ SHIMADZU GC-14B (Fotografía 16).

Los resultados se expresan como miligramos de dióxido de carbono desprendido por kilogramo de fruto y hora (mg CO₂*kg⁻¹*h⁻¹) y son la media ± E.S. de 20 medidas.

Las condiciones de trabajo empleadas fueron:

- Flujo del gas portador (Helio): 16 ml/min.
- Temperatura del detector: 150 °C.
- Temperatura del inyector: 115 °C.
- Temperatura del horno: 50 °C.



Fotografía 16: Cromatógrafo de gases SHIMADZU GC-14B.

3.7. ANÁLISIS ESTADÍSTICO.

En este trabajo se ha realizado un análisis estadístico de los datos obtenidos, usando el test T-Student para comprobar si las diferencias entre los distintos parámetros cuantificados en ambas variedades presentaban diferencias significativas al nivel de $p < 0,05$.







RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

4.1. EVOLUCIÓN DEL PESO.

Las curvas de crecimiento de las dos variedades de jínjol estudiadas se ajustaron a una curva doble sigmoide característica de los frutos de hueso tipo drupa y que también han presentado los frutos de otras especies de jínjoles como *Ziziphus mauritiana* (Abbas y Fandi, 2002; Bal y Sing, 1978) y la especie *Ziziphus spina-christi* (Abbas *et al.*, 1994).

En la figura 9 se representa la evolución del peso de los frutos, que muestra una fase inicial de crecimiento rápido del fruto durante las primeras semanas después de la antesis, hasta el 9 de julio de 2014 y que constituye la Fase I de crecimiento. Esta fase se caracteriza por un rápido crecimiento debido tanto a división como a elongación celular (Bollard, 1970) y está asociada con altos niveles de auxinas, giberelinas y citoquininas en la especie de jínjol *Ziziphus mauritiana*.

Como se puede observar en la figura, en ambas variedades estudiadas la duración de esta primera fase es la misma, 8 semanas desde la plena floración (9 de mayo), aunque la variedad Grandes de Albaterra (GA) presenta ya desde el día 13 de junio una mayor velocidad de crecimiento respecto a la variedad Jínjoles Medianos (JM), alcanzando un tamaño cuatro veces superior en esta fecha, lo que hace que los jínjoles sean de mayor peso al final de esta fase con $5,18 \pm 0,11$ g y $14,77 \pm 0,31$ g para JM y GA, respectivamente.

La longitud de este periodo es similar, aunque ligeramente mayor, que la encontrada para los jínjoles de la especie *Ziziphus mauritiana*, en la que ha durado 6 semanas, aunque dichos jínjoles son más pequeños que los estudiados en este trabajo (Abbas y Fandi, 2002; Bal y Singh, 1978) y en la especie *Ziziphus spina-christi* (Abbas *et al.*, 1994).

A partir del 9 de julio se inicia lo que sería la Fase II del desarrollo del fruto, que suele ser un periodo de parada del crecimiento. En la variedad JM no se produce ningún incremento en el tamaño del fruto, mientras que en la variedad GA incrementa muy ligeramente.

Esta fase dura sólo 1 semana, por lo que es más corta que en otras especies como en *Ziziphus mauritiana* que dura 2 semanas (Abbas y Fandi, 2002). Durante esta fase se produce el endurecimiento del hueso de la drupa y los niveles de auxinas, giberelinas y citoquininas disminuyen hasta ser indetectables.

El fruto entra después en una segunda etapa de rápido crecimiento (Fase III), que dura 2 semanas para JM y 3 semanas para GA, y en la que se produce, fundamentalmente, elongación celular. Según Bollard (1970), el incremento en el peso fresco del fruto en esta última fase de crecimiento puede ser debido a un incremento tanto en el tamaño celular como de los espacios intercelulares, lo que lleva a la máxima acumulación posible de asimilados. En los frutos de *Z. mauritiana* esta última fase se asoció con altos niveles de giberelinas, siendo las citoquininas indetectables. En esta especie, concretamente en el cultivar Zaytoni, esta fase duró 9 semanas (Abbas y Fandi, 2002) siendo, por tanto, mayor que la de las variedades estudiadas en este trabajo. Las dos variedades de *Ziziphus jujuba* estudiadas alcanzaron la plena floración en la misma fecha (9 de mayo) y mostraron prácticamente el mismo periodo de desarrollo por lo que presentan la misma fecha de recolección. La diferencia clara entre ellas es que la variedad GA presenta una mayor velocidad de crecimiento, lo que hace que el peso final de estos jínjoles sea significativamente mayor, concretamente de $23,41 \pm 1,16$ g frente a los $8,56 \pm 0,39$ g de los jínjoles de la variedad JM.

Los jínjoles de la variedad JM alcanzaron su máximo peso el 30 de julio, mientras que los de la variedad GA lo hicieron el 6 de agosto. A partir de estas fechas se produce una ligera disminución del tamaño de los frutos, que se mantiene hasta el 25 de agosto, lo que puede indicar que estos frutos se encuentran ya en la fase de post-climaterio, aunque también podría ser debido a una falta de agua de riego debido a las altas temperaturas que se alcanzaron a finales de agosto en la zona donde se encuentra la plantación (Fig. 2).

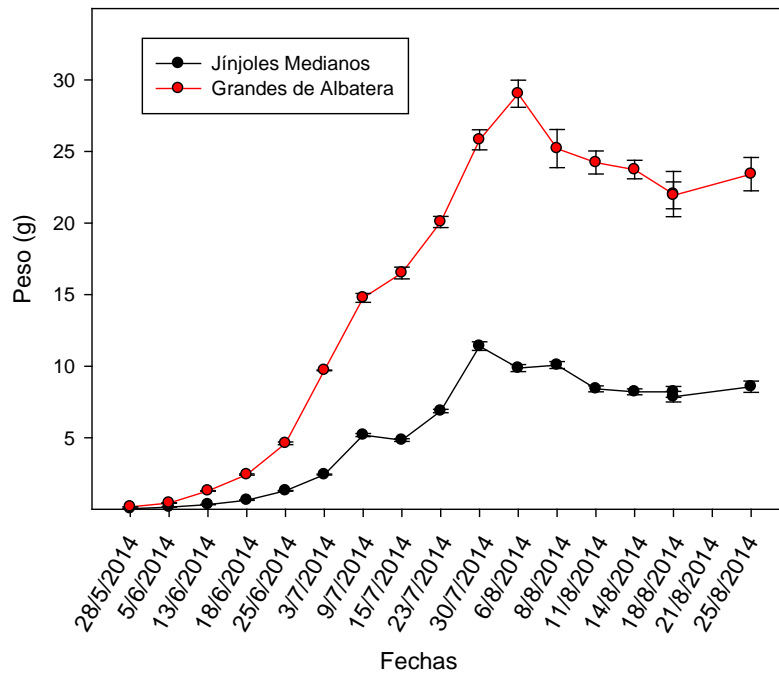


Figura 9: Evolución del peso de los frutos de las dos variedades de jínjol desde el cuajado hasta la maduración. Cada dato es la media \pm ES de 40 frutos.

El peso medio final de los jínjoles de las dos variedades estudiadas ha sido de 8,56 g y 23,41 g, sin embargo, la variedad GA alcanzó un peso menor que otros jínjoles españoles de la misma variedad que llegaron a un peso de 30,23 g (Collado-González *et al.*, 2014). Aunque una variedad es mediana y la otra grande, los valores obtenidos están dentro del rango de pesos de otras variedades de jínjoles coreanos que se encuentran entre 1,9-19,0 g (Choi *et al.*, 2011; 2012), variedades ucranianas que están entre 2,9-28,99 g (Grygorieva *et al.*, 2014), también similar a una variedad de Arabia Saudí de 18.03 g (Kassem *et al.*, 2011) y también dentro del rango de las variedades chinas que están entre 8-29 g (Gao *et al.*, 2011; 2012b; 2014; Wang *et al.*, 2012).

4.2. EVOLUCIÓN DE LA LONGITUD.

En la figura 10 se puede ver la evolución de la longitud de los frutos respecto al tiempo. Se obtuvieron curvas en doble sigmoide muy similares a las obtenidas para el diámetro (Fig. 11), pero un poco más atenuadas que las obtenidas para el peso (Fig. 9).

Desde la primera toma de muestras, se observa que la longitud de los jínjoles de la variedad GA es mayor que la de los jínjoles JM. Se observa claramente la primera fase (Fase I) que acaba el 9 de julio, con una longitud de $24,43 \pm 0,19$ y $34,58 \pm 0,30$ mm para las variedades JM y GA respectivamente. La segunda fase (Fase II) es muy corta, de una semana de duración en ambas variedades, y la tercera fase (Fase III) de crecimiento empieza el 15 de julio, obteniéndose finalmente unas longitudes significativamente diferentes, de $27,43 \pm 0,49$ y $37,30 \pm 0,53$ mm para las variedades JM y GA, respectivamente.

Estos valores están dentro del rango de longitudes de otras variedades de jínjoles coreanos que están entre 18-47 mm (Choi *et al.*, 2011; 2012), variedades ucranianas que están entre 20-40 mm (Grygorieva *et al.*, 2014), y una variedad de Arabia Saudí de 37 mm (Kassem *et al.*, 2011).

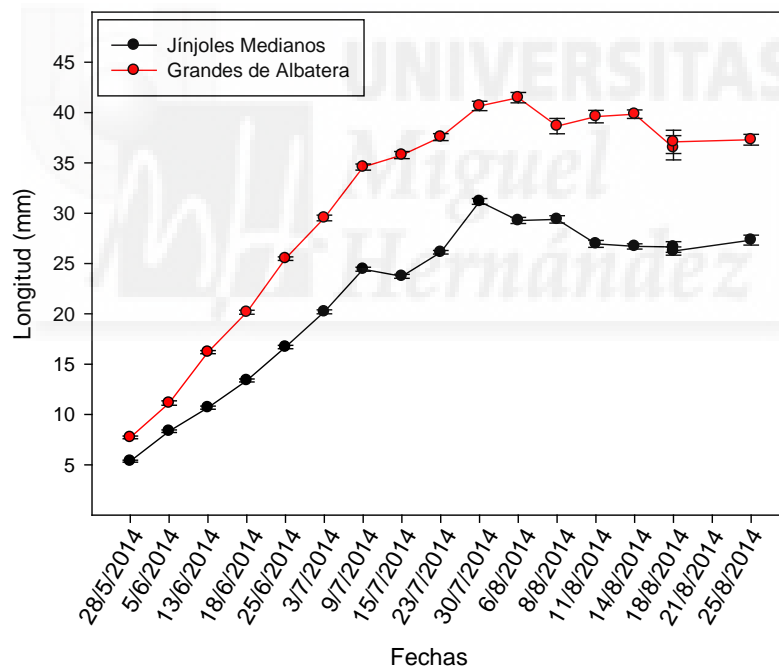


Figura. 10: Evolución de la longitud de los frutos de las dos variedades de jínjol desde el cuajado hasta la maduración. Cada dato es la media \pm ES de 40 frutos.

4.3. EVOLUCIÓN DEL DIÁMETRO.

En la figura 11 se puede observar la evolución del diámetro de los jínjoles respecto al tiempo. Se obtuvieron curvas en doble sigmoide similares a las obtenidas para la longitud (Fig. 10). Desde la primera toma de muestras, se observa que el diámetro de los jínjoles de la variedad GA es mucho mayor que la de los jínjoles JM, obteniéndose finalmente, unos diámetros de $23,45 \pm 0,51$ y $34,51 \pm 0,73$ mm para los jínjoles de las variedades JM y GA, respectivamente, por lo que presentaron diferencias significativas.

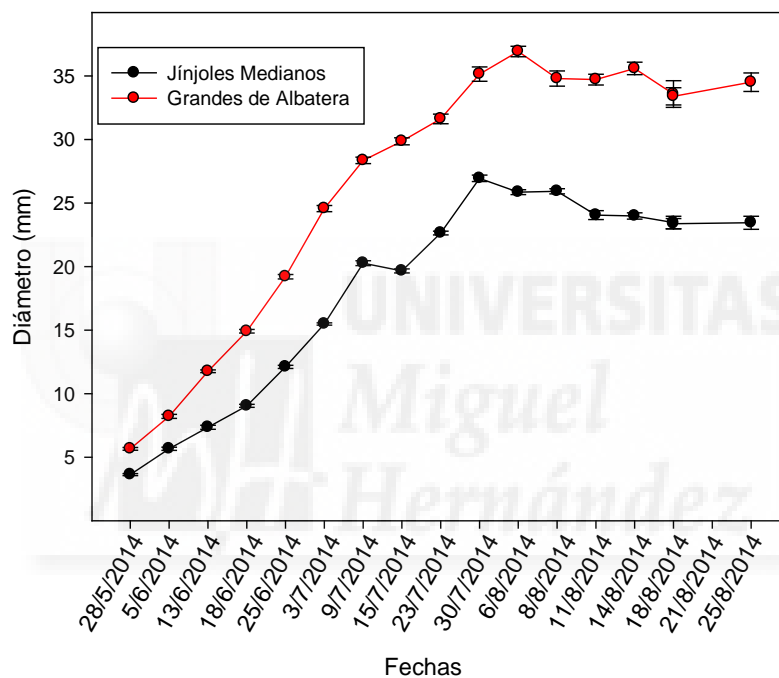


Figura 11: Evolución del diámetro de los frutos de las dos variedades de jínjol desde el cuajado hasta la maduración. Cada dato es la media \pm ES de 40 frutos.

Estos valores están dentro del rango de diámetros obtenidos en otras variedades de jínjoles coreanos que están entre 18-47 mm (Choi *et al.*, 2011; 2012), variedades ucranianas que están entre 15-31 mm (Grygorieva *et al.*, 2014), y una variedad de Arabia Saudí de 32,7 mm (Kassem *et al.*, 2011).

4.4. EVOLUCIÓN DE LA FIRMEZA.

La textura es un importante atributo para la decisión del consumidor a aceptar frutos de mesa (Prasanna *et al.*, 2007). En este caso, la firmeza se ha medido como la fuerza de deformación del fruto con piel.

En la figura 12 podemos observar la evolución de la firmeza de los frutos de las dos variedades estudiadas.

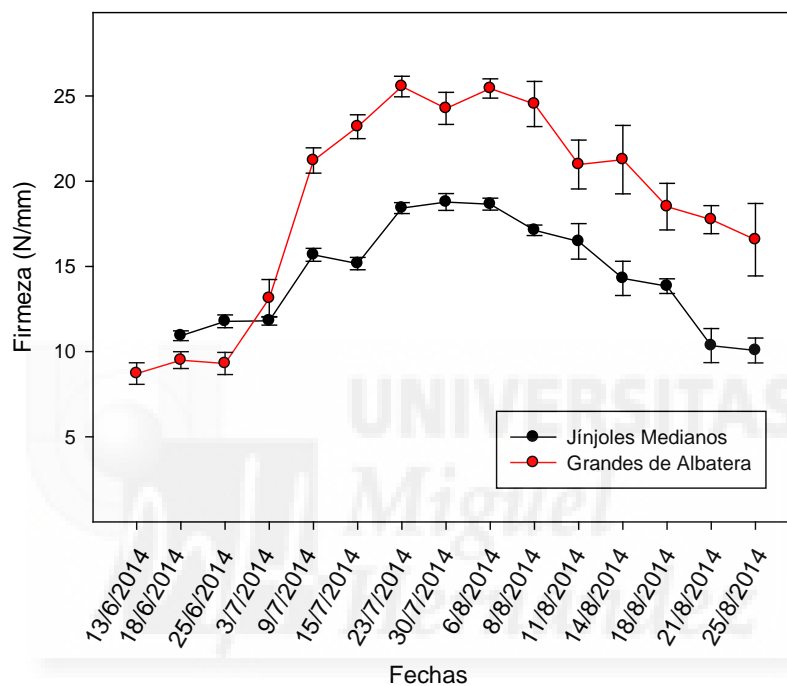


Figura 12: Evolución de la firmeza de los jínjoles, en N/mm, de las dos variedades hasta la maduración. Cada dato es la media \pm ES de 40 frutos.

Sin embargo, con el fin de comparar la evolución de este parámetro con el peso que alcanzan los frutos en cada una de las Fases del crecimiento, se ha realizado una representación de la evolución de ambos parámetros para cada una de las variedades estudiadas (Fig. 13 y 14).

Como podemos observar en estas figuras, en las semanas tempranas del desarrollo, la firmeza de los frutos se mantiene prácticamente constante, siendo de $9,30 \pm 0,65$ N/mm para los jínjoles GA y de $11,80 \pm 0,25$ N/mm para los jínjoles JM. En este momento, el peso de los frutos representa tan solo un 16% (GA) y un 21% (JM) del peso final de los mismos y probablemente es aquí

donde se deben estar produciendo las divisiones celulares que van a dar lugar al número total de células que tendrá el fruto maduro (Bollard, 1970).

A continuación, la firmeza de los frutos aumenta hasta alcanzar su valor máximo el 23 de julio en ambas variedades, representando, en este momento, el peso de los frutos un 60% (JM) y un 69% (GA) de su peso final. La variedad con mayor firmeza es la GA con un valor de $25,56 \pm 0,60$ N/mm, presentando la JM un valor de $18,42 \pm 0,32$ N/mm. Este aumento de la firmeza se está produciendo mientras ocurren en los frutos los procesos de endurecimiento del endocarpo y de expansión celular de las células formadas (final Fase I, Fase II y III del crecimiento). El valor máximo de firmeza se mantiene prácticamente constante durante dos semanas más, hasta el 6 de agosto, coincidiendo en ambas variedades con el momento en el que los frutos alcanzan su tamaño máximo.

A partir de aquí, la firmeza comienza a disminuir de forma lenta debido, probablemente, al cese de los procesos de expansión celular en el fruto y al inicio de la madurez fisiológica de los mismos. La firmeza final de los jínjoles de la variedad JM ($10,07 \pm 0,73$ N/mm) es significativamente menor que la de los jínjoles de la variedad GA ($16,57 \pm 2,13$ N/mm), por lo que muestra mejor palatabilidad.

Esta disminución de la firmeza de los jínjoles con la maduración también ha sido observada por otros investigadores como Wu *et al.* (2012) y Wang *et al.* (2012). Otros autores han encontrado firmezas en jínjoles maduros de *Ziziphus jujuba* de 2,56 kg (var. Huanghua) y de 2,75 kg (var. Zhanhua) (Wang *et al.*, 2012), 1.443 g (Wu *et al.*, 2012), $5,89 \text{ g/cm}^2$ (Kassem *et al.*, 2011), 11×10^6 N/m² (var. Inermis) (Li *et al.*, 2009), 64 N (var. Grandes de Albaterra) (Collado-González *et al.*, 2014), firmezas de 1.017-2.600 g en diversas variedades chinas (Gao *et al.*, 2012b) y de 7,55 y 3,16 N en dos variedades francesas de *Ziziphus mauritiana* (Zozio *et al.*, 2014a).

Wu *et al.* (2012), encontraron que la firmeza de la piel de los jínjoles de *Ziziphus jujuba* es mucho menor, menos de la mitad, que la de la pulpa, por lo que los jínjoles son muy susceptibles al rajado, problema que también se ha

encontrado en los jínjoles estudiados en este trabajo, sobre todo en los de la variedad Grandes de Albaterra.

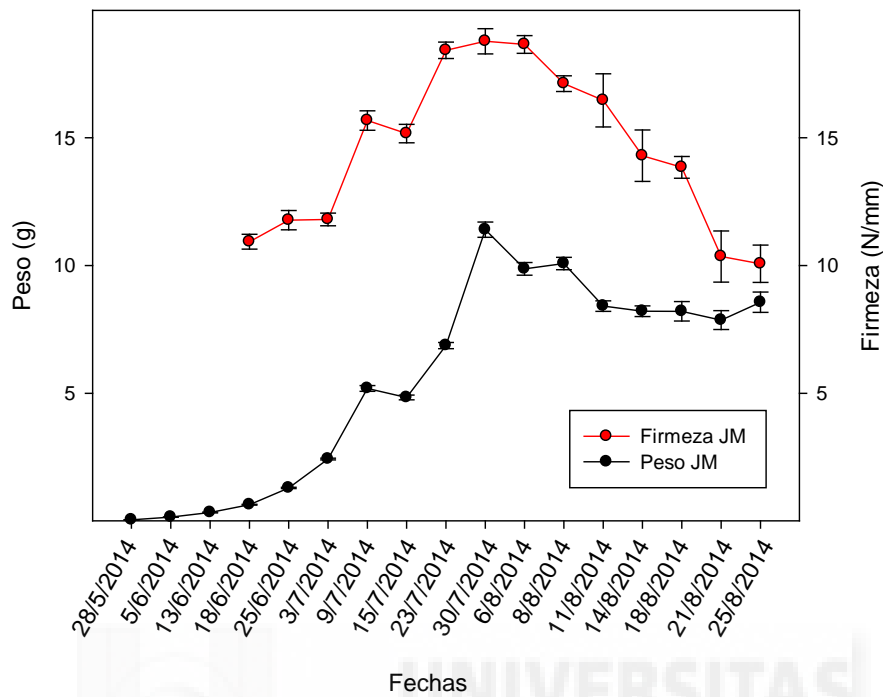


Figura 13: Evolución de la firmeza y del peso de la variedad JM. Cada dato es la media \pm ES de 40 frutos.

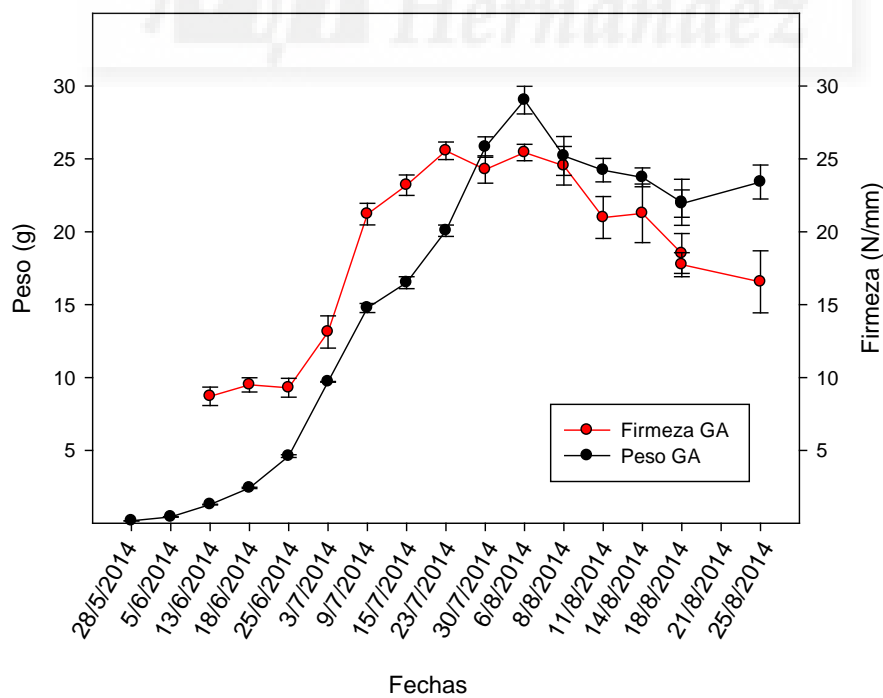


Figura 14: Evolución de la firmeza y del peso de la variedad GA. Cada dato es la media \pm ES de 40 frutos.

A medida que los frutos alcanzan su madurez fisiológica y entran en la fase de senescencia, se van ablandando por degradación de las pectinas y por alteraciones en los enlaces existentes entre los polímeros que constituyen las paredes celulares, lo que provoca separaciones celulares y pérdida de rigidez de las paredes, por lo que la firmeza de los frutos disminuye de forma constante (Brummell, 2006; Prasanna *et al.*, 2007).

Zhao *et al.* (2008) caracterizaron la composición de los polisacáridos solubles en agua de las paredes celulares de los jínjoles, estableciendo que predominan los polisacáridos pécticos altamente ramificados con gran cantidad de ácido urónico, arabinosa y galactosa. Wang *et al.* (2012) estudiaron en jínjoles inmaduros y maduros la modificación de la composición de sus paredes celulares y establecieron que los contenidos en pectinas incrementan con la maduración, siendo más del 75% pectinas solubles en agua y formadas por galactosa y ramnosa. La amplitud de las cadenas de pectinas estaba entre 47-70 nm en los jínjoles inmaduros y fue menor de 40 nm en los maduros, por lo que, al madurar los frutos, todas las pectinas tenían cadenas de menor amplitud y longitud. Wang *et al.* (2012) establecieron que los cambios de la nanoestructura de las pectinas y su composición en azúcares neutros pueden ser los responsables de la mayoría de las propiedades fisicoquímicas de los jínjoles.

4.5. EVOLUCIÓN DEL COLOR.

4.5.1. EVOLUCIÓN DEL PARÁMETRO L*.

El parámetro L* de CIELab mide la luminosidad del fruto. Como se puede observar en la figura 15, la evolución de los valores de dicho parámetro se puede dividir en 3 etapas.

En la primera, hasta el 9 de julio, se produce un incremento de este parámetro en ambas variedades que coincide exactamente con la primera fase de crecimiento del fruto, con valores significativamente mayores en la variedad JM ($73,79 \pm 0,57$) que en la GA ($68,43 \pm 0,57$).

Le sigue una segunda fase, coincidente con la Fase II y III del crecimiento, en la que se produce un mantenimiento de la luminosidad de los jínjoles hasta el 30 de julio, obteniéndose un valor para el parámetro L^* de unas 70 unidades en ambas variedades

Finalmente, se produce un descenso del parámetro L^* del color, ligado a la fase de maduración de los jínjoles, ya que al tomar colores rojizos disminuye la luminosidad de los frutos, con unos valores finales significativamente distintos para ambas variedades, mayor para la variedad GA ($55,45 \pm 3,64$) y menor para la variedad JM ($46,34 \pm 0,40$). La variedad JM presenta un descenso más acusado de este parámetro que la variedad GA.

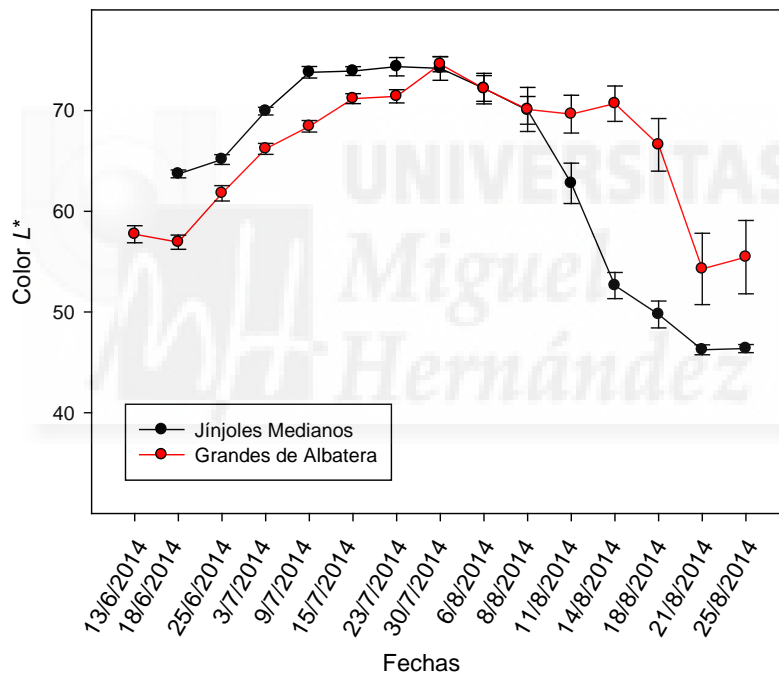


Figura 15: Evolución del parámetro L^* del color de los jínjoles de las dos variedades hasta la maduración. Cada dato es la media \pm ES de 20 frutos.

Estos valores son muy parecidos a los obtenidos por Wang *et al.* (2012), ya que la variedad Huanghua de jínjol chino varía entre 67,70 y 35,50 y la variedad Zhanhua entre 66,01 y 39,38, de los jínjoles inmaduros a maduros, respectivamente.

Collado-González *et al.* (2014) obtienen un valor de este parámetro de 78,02 para jínjoles de la variedad Grandes de Albaterra, por lo que tienen una alta luminosidad, que llega a valores de 88,43 para la pulpa.

4.5.2. EVOLUCIÓN DEL PARÁMETRO a^* .

El parámetro a^* de CIELab mide los colores entre verde (valores negativos) y rojos (valores positivos) del fruto. Como se puede observar en la figura 16, los valores de dicho parámetro incrementan desde valores negativos a positivos durante el crecimiento de los jínjoles.

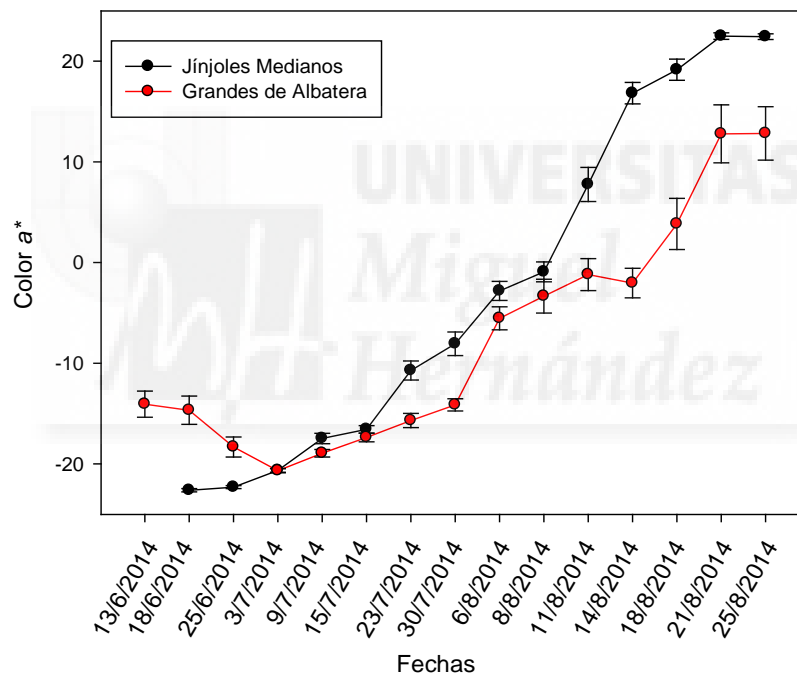


Figura 16: Evolución del parámetro a^* del color de los jínjoles de las dos variedades hasta la maduración. Cada dato es la media \pm ES de 20 frutos.

Coincidiendo con la primera fase de crecimiento del fruto, hasta el 9 de julio, se produce un ligero incremento del parámetro a^* en la variedad JM y una ligera disminución en la variedad GA hasta alcanzarse un valor prácticamente igual en las dos variedades estudiadas de -18 unidades aproximadamente, lo que indica que los frutos presentan una coloración muy verde.

Durante la Fase II de crecimiento este parámetro no varía en ninguna de las variedades estudiadas, mientras que, coincidiendo con el inicio de la Fase III, a partir del 15 de julio, y hasta el final de la maduración, se produce un incremento muy notable del valor de este parámetro, más pronunciado en la variedad JM que en la GA, con un valor final de $22,43 \pm 0,28$ y $12,82 \pm 2,65$, respectivamente. Estos valores son lógicos y esperables, puesto que los jínjoles al madurar presentan un color rojizo, por lo que este parámetro toma valores positivos altos. Estos valores coinciden con los obtenidos por Wang *et al.* (2012) que encuentran variaciones que van de -11,31 a 16,75 en la variedad Huanghua y de -11,08 a 19,76 en la variedad Zhanhua, a medida que los frutos pasan de inmaduros a maduros, respectivamente. Collado-González *et al.* (2014) observan que los valores de este parámetro en la variedad Grandes de Albaterra son iguales en la pulpa y la piel de los frutos inmaduros con valores de -12,21 y -12,09, respectivamente.

4.5.3. EVOLUCIÓN DEL PARÁMETRO b^* .

Finalmente, el parámetro b^* de CIELab mide los colores que van desde los azules (negativos) al amarillo (valores positivos) de los frutos. Estos valores están representados en la figura 17 para las dos variedades estudiadas.

Coincidiendo con la Fase I de crecimiento del fruto, hasta el 9 de julio, se produce un ligero incremento de este parámetro en la variedad GA y un ligero descenso en la variedad JM hasta que se alcanza un valor de 39 unidades para ambas variedades en esta fecha.

Durante la Fase II de crecimiento del fruto se produce un mantenimiento del valor de este parámetro y, coincidiendo con el inicio de la Fase III, se produce un descenso del mismo que se prolonga hasta el final de la maduración, y que varía entre 38 y 32 unidades, sin encontrarse diferencias significativas entre ambas variedades.

Estos valores están en rangos parecidos a los de los jínjoles chinos estudiados por Wang *et al.* (2012) que variaron entre 39 y 18. Collado-González *et al.* (2014) obtienen mucha diferencia en este parámetro entre el

color de la piel y la pulpa de jínjoles inmaduros Grandes de Albaterra, con valores de 45,04 y 24,42, respectivamente.

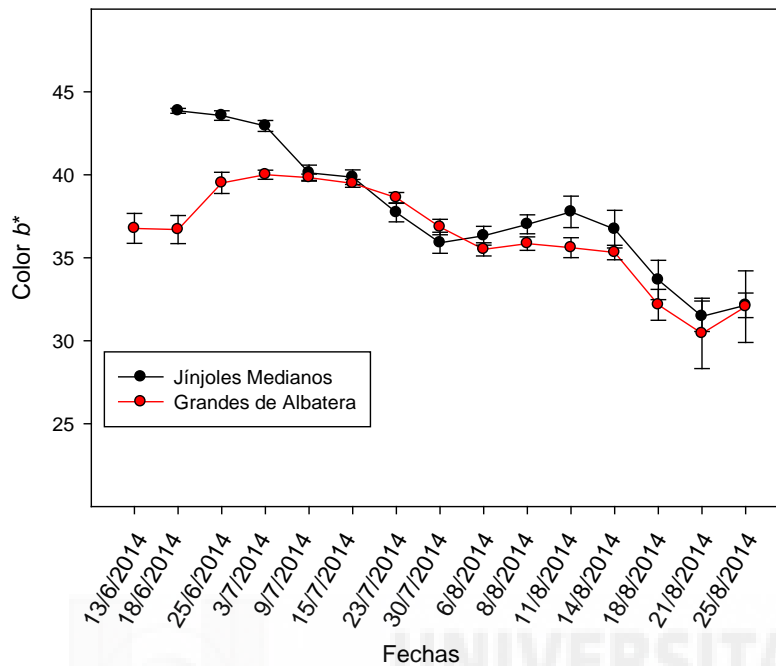


Figura 17: Evolución del parámetro b* del color los jínjoles de las dos variedades hasta la maduración. Cada dato es la media \pm ES de 20 frutos.

Por tanto, durante la Fase I, los jínjoles tienen un color verde son intenso con una gran luminosidad. Durante la Fase II de crecimiento, en la que se produce el endurecimiento del endocarpo, no se produce ningún cambio en el color de los jínjoles lo que se manifiesta con un mantenimiento de todos los parámetros del color de estos frutos, finalmente, y una vez que los frutos alcanzaron su tamaño máximo en la Fase III de crecimiento, se produce el inicio de la maduración, observándose disminuciones de la luminosidad y del color amarillento de los frutos, al tiempo que incrementa el color rojizo.

Parte del color de los jínjoles se debe a la presencia de carotenoides que en jínjoles españoles en estado maduro alcanzan un valor de unos 5 mg/100 g peso seco, representando el β -caroteno el 15% de los mismos (Guil-Guerreo *et al.*, 2004). El β -caroteno es un compuesto que se encuentra en cantidades muy diferentes según la variedad. En diferentes variedades de jínjol turcas su contenido oscila entre 7,0-35,0 μ g/100 g peso fresco (San y Yildirim, 2010) y

alcanza un valor mucho más alto, 6,2 mg /100 g peso fresco, en una variedad de jínjol de Arabia Saudí (Kassem *et al.*, 2011). Estos contenidos de β -caroteno son importantes nutricionalmente, ya que este compuesto es el más importante como provitamina A (Gao *et al.*, 2012a), principalmente por su prevalencia en los alimentos vegetales consumidos por el hombre.

4.6. EVOLUCIÓN DE AZÚCARES REDUCTORES.

Los contenidos en azúcares y ácidos orgánicos de los frutos de mesa son importantes caracteres de calidad tanto para el consumo en fresco como para la industria del procesado de los alimentos (Wu *et al.*, 2012). En este trabajo los azúcares encontrados en los jínjoles han sido glucosa y fructosa, que son los principales azúcares encontrados por otros autores en los jínjoles (Li *et al.*, 2007; Wu *et al.*, 2012).

4.6.1. EVOLUCIÓN DE LA GLUCOSA.

Como se puede observar en la figura 18, el contenido de glucosa es indetectable durante la Fase I del crecimiento del fruto, y sólo empieza a encontrarse un nivel detectable, aunque bajo, en las últimas dos semanas de esta etapa. Esta baja concentración de glucosa en esta etapa puede ser debida a que toda la glucosa de la que dispone el fruto sea utilizada activamente para la intensa actividad metabólica que caracteriza esta etapa de crecimiento. Otros autores (Abbas y Fandi., 2002) también encontraron niveles muy bajos de azúcares reductores en jínjoles en esta etapa.

Durante la Fase II de crecimiento se estabiliza el contenido de glucosa en el fruto, pero incrementa ligeramente durante la Fase III hasta que los frutos alcanzan su máximo peso (30 de julio, en la variedad JM y 6 de agosto, en la variedad GA).

Después de esta etapa, y una vez finalizada la última fase de expansión celular, se produce una mayor acumulación de glucosa en los jínjoles coincidiendo con la maduración de los mismos, hasta alcanzar valores finales

de $3,01 \pm 0,02$ g/100 g en JM y $2,04 \pm 0,15$ g/100 g en GA, siendo por tanto, significativamente mayor en los jínjoles JM al final de la maduración.

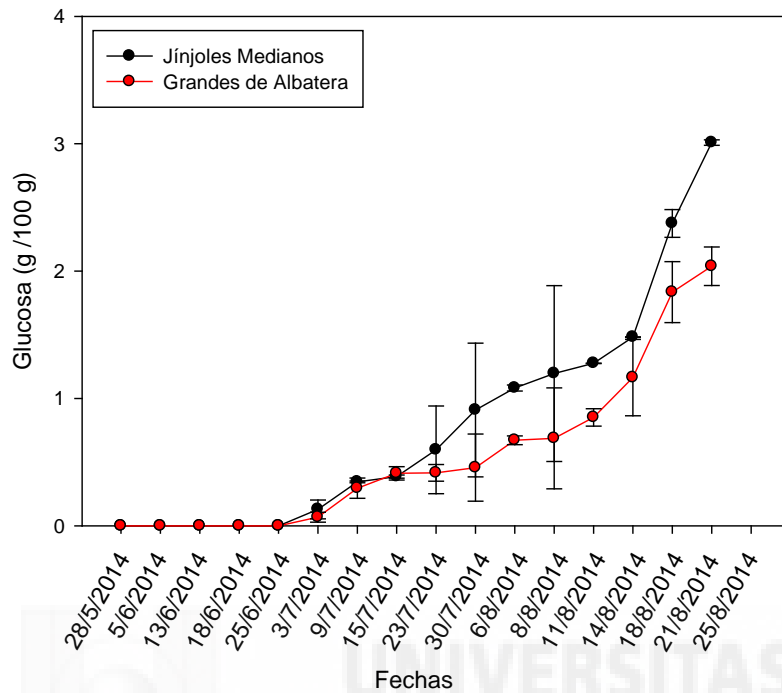


Figura 18: Evolución del contenido en glucosa de los frutos de las dos variedades hasta la maduración. Cada dato es la media \pm ES de 3 repeticiones por muestra.

4.6.2. EVOLUCIÓN DE LA FRUCTOSA.

La evolución del contenido de este azúcar (Fig. 19) es similar al que presenta la glucosa. El contenido de fructosa es menor que el de glucosa para las mismas muestras, excepto en las tres últimas de la variedad JM, en las que es ligeramente superior el contenido de fructosa. En el fruto totalmente maduro, el contenido de fructosa es significativamente mayor para la variedad JM ($3,66 \pm 0,11$ g/100 g) que para la GA ($1,5 \pm 0,3$ g/100 g).

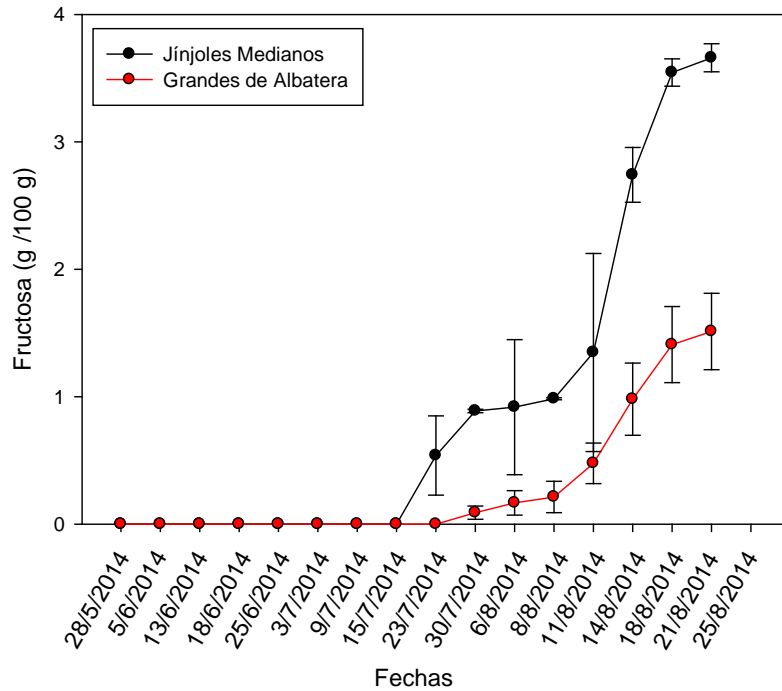


Figura 19: Evolución del contenido en fructosa de los frutos de las dos variedades hasta la maduración. Cada dato es la media \pm ES de 3 repeticiones por muestra.

Estos contenidos de azúcares reductores son más bajos que los encontrados por Abbas y Fandi (2002) en jíjoles de la especie *Ziziphus mauritiana*, pero siguen exactamente la misma tendencia durante todo el proceso de la maduración, siendo también más bajos que los encontrados por Gao *et al.* (2011) en 5 variedades chinas de jíjol. Sin embargo, son similares a los encontrados por Wu *et al.* (2012), que además, observan la misma tendencia en la acumulación de glucosa y fructosa en los jíjoles al madurar. Gao *et al.* (2012 b) encuentran niveles más bajos de fructosa pero similares de glucosa a los obtenidos en este trabajo en 10 variedades de jíjoles chinos.

4.7. EVOLUCIÓN DE ÁCIDOS ORGÁNICOS.

4.7.1. EVOLUCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO.

El ácido ascórbico es uno de los antioxidantes más efectivos asociados con la reducción del riesgo de padecer enfermedades crónicas y cánceres (Frenich *et al.*, 2005).

Como se puede observar en la figura 20, el contenido de ácido ascórbico sigue un patrón de subida y bajada a lo largo de todo el proceso de desarrollo y maduración de los frutos de las dos variedades de jínjol estudiadas. Wu *et al.* (2012) encuentran una evolución descendente del contenido de ácido ascórbico a medida que avanza el proceso de desarrollo y la maduración de los jínjoles, pasando de 310,32 a 199,58 mg/100 g.

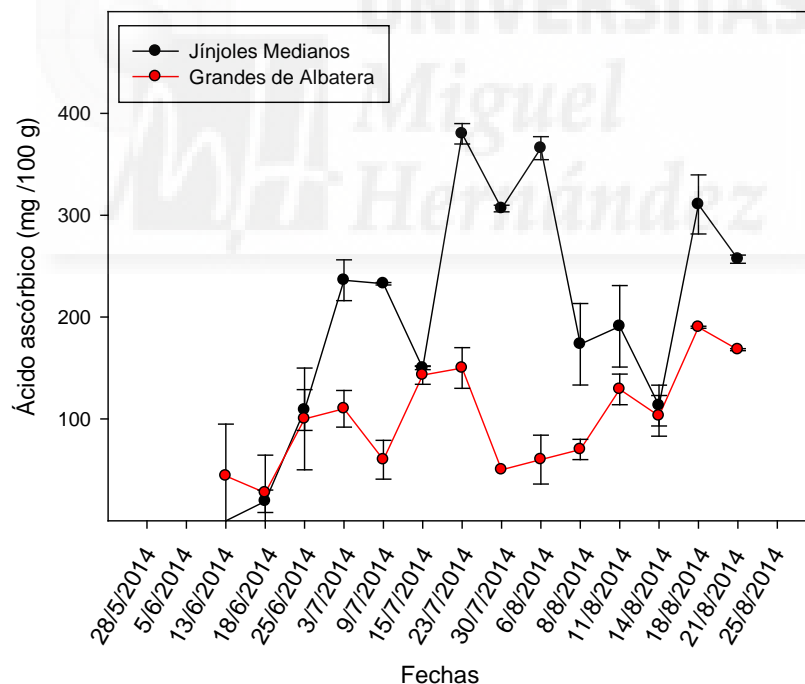


Figura 20: Evolución del contenido en ácido ascórbico de los frutos de las dos variedades hasta la maduración. Cada dato es la media \pm ES de 3 repeticiones por muestra.

Las cantidades encontradas de ácido ascórbico son significativamente más altas en los jínjoles de la variedad JM, con un valor final de $256,88 \pm 3.99$ mg/100 g, comparadas con las de la variedad GA que contiene $168,00 \pm 1.00$ mg/100 g.

Estos valores son más altos que los encontrados en la mayoría de los frutos tales como kiwi, fresa, limón (Leong y Shui, 2002), tomate cherry y mango (Frenich *et al.*, 2005) y naranjas (Roberts y Gordon, 2003). Por lo que el jínjol se puede considerar una buena fuente de ácidos ascórbico.

Estos valores finales son más altos que los encontrados por Gao *et al.*, (2011) en 5 variedades de jínjoles en las que el contenido de ácido ascórbico osciló de 77,2-102,3 mg/100 g pf, y parecidos a los encontrados por otros autores en jínjoles de esta especie, como 199,58 (Wu *et al.*, 2012) y entre 200-400 mg/100 g pf (Gao *et al.*, 2012b).

Zhang *et al.* (2010) estudiaron el contenido de ácido ascórbico en la piel, pulpa y semilla de tres variedades de jínjoles y encontraron grandes diferencias varietales, pues en la variedad Daongzao la pulpa presentaba el mayor contenido de ácido ascórbico, mientras que en las variedades Muzao y Hamidazao era la que presentaba la piel mayor cantidad que la pulpa, siendo la semilla la parte del fruto que menor cantidad de ácido ascórbico presentaba en las tres variedades.

4.7.2. EVOLUCIÓN DE ÁCIDO MÁLICO.

El ácido málico es el principal ácido orgánico del jínjol (Wu *et al.*, 2012).

Como se puede ver en la figura 20, los niveles de ácido málico son muy altos durante las primeras semanas de desarrollo de los jínjoles de ambas variedades, disminuyendo posteriormente hasta que acaba la Fase I de crecimiento el 9 de julio. Posteriormente, los niveles de éste ácido se mantienen bajos durante las Fases II y III de crecimiento de los jínjoles y continúa así hasta su total maduración. La variedad JM presentó niveles un poco mayores que los de la variedad GA, con contenidos de ácido málico de

276,68 ± 2,61 mg/100 g y de 145,37 ± 6,04 mg/100 g en la variedad GA al final de la maduración, por lo que las diferencias no fueron significativas.

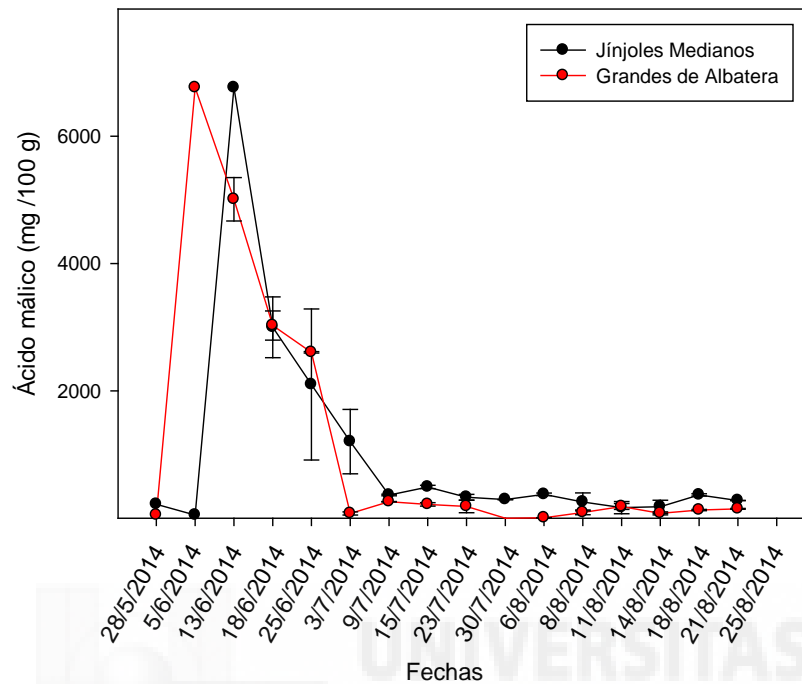


Figura. 20: Evolución del contenido en ácido málico de los frutos de las dos variedades hasta la maduración. Cada dato es la media ± ES de 3 repeticiones por muestra.

Wu *et al.* (2012), encontraron un aumento del nivel de ácido málico desde el inicio del desarrollo (fruto verde) hasta un estado de madurez en el que el 45-50% del fruto estaba rojo, alcanzándose un contenido máximo de 508,74 mg/100 g pf., a partir de aquí, el contenido descendía hasta un valor de 22 mg/100 g al final de la maduración.

Las cantidades de ácido málico encontradas en 10 cultivares de jínjoles chinos oscilaron entre 294 y 740 mg/100 g pf, por lo que fueron superiores a las encontradas en este trabajo (Gao *et al.*, 2012b).

4.7.3. EVOLUCIÓN DE ÁCIDO CÍTRICO.

El ácido cítrico se encuentra en cantidades mucho menores que el ácido málico.

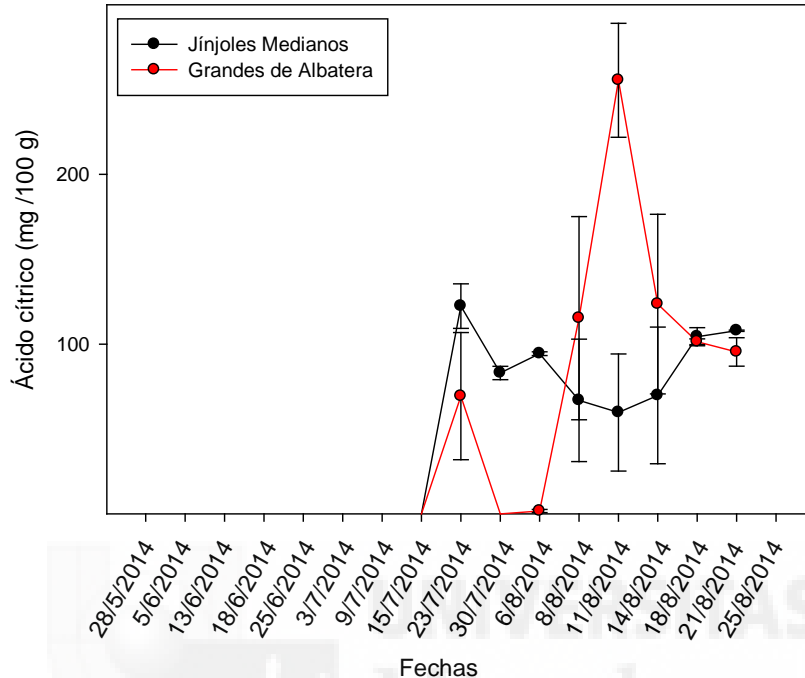


Figura 21: Evolución del contenido en ácido cítrico de los frutos de las dos variedades hasta la maduración. Cada dato es la media \pm ES de 3 repeticiones por muestra.

Como se puede observar en la figura 21, los niveles de ácido cítrico han sido mucho menores que los de ácido málico encontrados en los jinjoles de las dos variedades estudiadas. Los niveles de ácido cítrico son indetectables hasta que el fruto inicia la Fase III de crecimiento, posteriormente se producen incrementos y disminuciones de su contenido hasta un valor de $107,88 \pm 0,40$ mg/100 g en la variedad JM, y $95,40 \pm 8,36$ mg/100 g en la variedad GA, por lo que las diferencias no fueron significativas.

Estos valores son similares a los encontrados en algunas variedades chinas que presentaban niveles comprendidos entre 39-196 en los jinjoles maduros (Gao *et al.*, 2012 b). Wu *et al.* (2012) también encuentran este mismo comportamiento en el contenido de ácido cítrico durante la maduración de los

jíjoles, con un incremento de hasta 226,85 mg/100 g y una posterior disminución hasta valores de 29,24 mg/100 g.

4.8. EVOLUCIÓN DE LAS PROTEÍNAS TOTALES.

El contenido de proteínas fue alto durante los estados tempranos del desarrollo del fruto (Fig. 22), coincidiendo con la Fase I del crecimiento, en las dos variedades estudiadas, con valores iniciales de $482,50 \pm 0,04$ mg/100 g en la variedad JM y $362,07 \pm 0,11$ mg/100 g en la variedad GA, valores que disminuyeron hasta los $46,09 \pm 0,03$ mg/100 g (JM) y $58,73 \pm 0,38$ mg/100 g (GA) al llegar al 9 de julio. Estos altos niveles de proteínas durante la primera fase de crecimiento podrían deberse a la intensa actividad anabólica existente en esta etapa, en la que se están produciendo procesos de división y expansión celular en los frutos.

Posteriormente, el contenido en proteínas continúa descendiendo ligeramente hasta que los frutos alcanzan su tamaño máximo el 30 de julio (JM) y el 6 de agosto (GA), encontrándose un ligero incremento del contenido proteico a medida que el fruto inicia la fase de maduración y disminuyendo de nuevo cuando el fruto avanza hacia la sobremaduración.

El incremento en el nivel de proteínas conforme el fruto entra en la fase de maduración, tiende a apoyar la idea ampliamente aceptada de que esta etapa de maduración del fruto implica un incremento en la síntesis enzimática. El patrón de cambios en los niveles de proteínas obtenido en este trabajo es similar a los encontrados en otros jíjoles de la misma especie (Choi *et al.*, 2012) y en jíjoles de la especie *Ziziphus mauritiana* (Abbas y Fandi, 2002).

Los contenidos proteicos en las dos variedades estudiadas al final de la maduración son prácticamente iguales con $21,04 \pm 0,02$ mg/100 y $24,90 \pm 0,02$ mg/100 g en JM y GA, respectivamente.

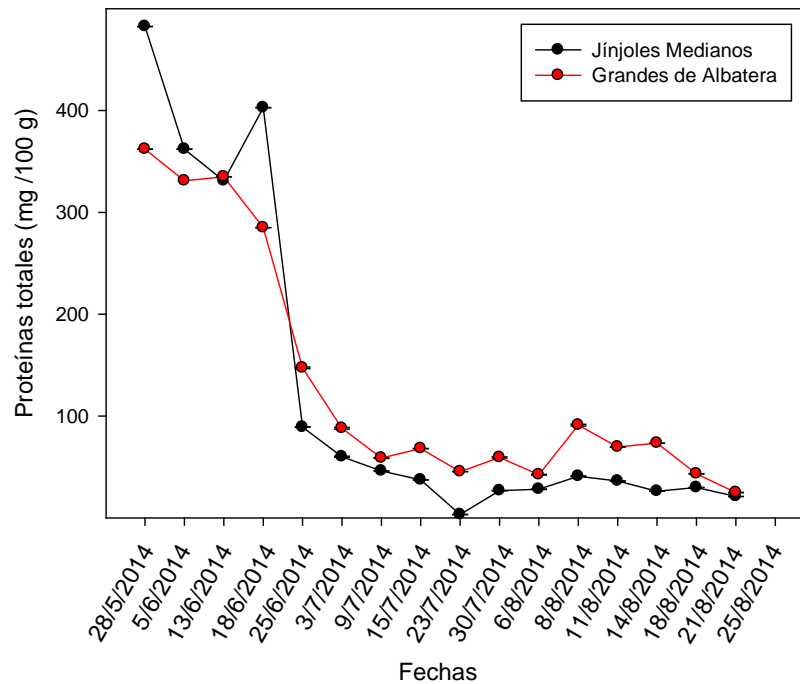


Figura 22: Evolución del contenido en proteínas de los frutos de las dos variedades hasta la maduración. Cada dato es la media \pm ES de 3 repeticiones por muestra.

4.9. EVOLUCIÓN DE LA ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE TOTAL.

La actividad antioxidante se determina normalmente con métodos que determinan de forma directa el daño oxidativo celular o con los que realizan una determinación indirecta de los niveles de especies reactivas conocidas (Roginski y Lissi, 2005).

En nuestro caso, hemos medido la evolución de la actividad antioxidante total por un método indirecto estudiando cómo los extractos de jíjoles secuestran los radicales libres catiónicos del ABTS. Como son muchos los compuestos que muestran actividad antioxidante en extractos de material vegetal, hemos llevado a cabo la separación en los extractos de jíjól de una fracción hidrosoluble y otra liposoluble, para después determinar la actividad antioxidante total en cada una de ellas.

4.9.1. EVOLUCIÓN DE LA ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE TOTAL DE LA FRACCIÓN HIDROSOLUBLE.

Como se puede observar en la figura 23, al inicio de la Fase I del crecimiento del fruto (hasta el 9 de julio) la actividad antioxidante de la fracción hidrosoluble de ambas variedades es elevada ($1813,9 \pm 64,7$ mg eq Trolox/100 g pf.), pero presenta un brusco descenso a medida que avanza la Fase I del crecimiento y llega a su final el 9 de julio alcanzándose aquí valores de 1187 ± 92 para la variedad GA y $1085,22 \pm 12,10$ para la variedad JM.

Durante las Fases II y III, el descenso continua pero de forma más suave, alcanzándose al final de la maduración valores de $442,5 \pm 41,3$ para GA y de $525 \pm 32,6$ para JM, por lo que no existen diferencias significativas.

Este patrón de disminución de la AAT es similar al encontrado por Choi *et al.* (2012) en jínjoles chinos, con disminuciones que van desde los 125 (en jínjoles recién cuajados) hasta los 45 (en jínjoles maduros) mol Fe^{2+} /100 g peso seco. Wu *et al.* (2012) también encontraron descensos de la AAT durante el proceso de la maduración de los jínjoles.

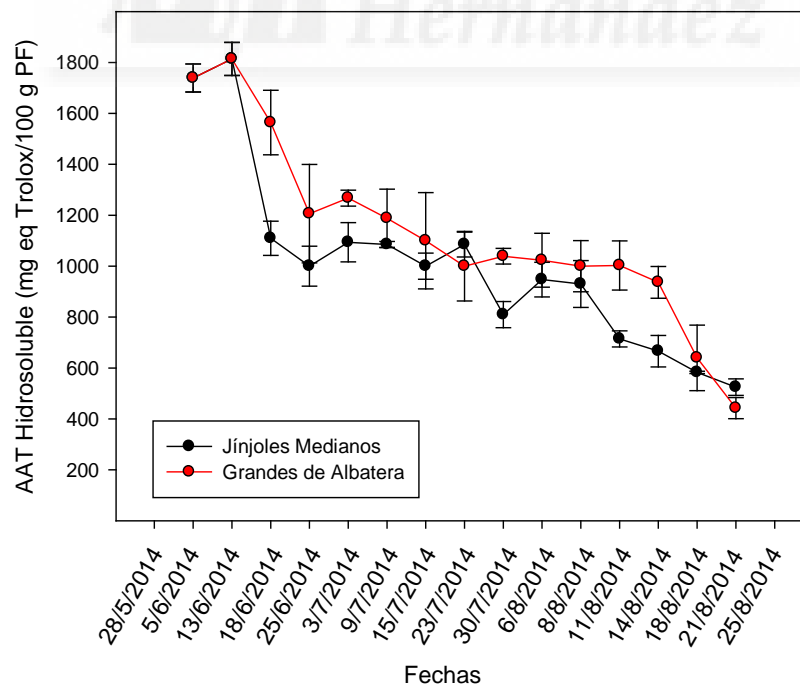


Figura 23: Evolución de la actividad antioxidante total de la fracción hidrosoluble de los frutos de las dos variedades hasta la maduración. Cada dato es la media \pm ES de 3 repeticiones por muestra.

4.9.2. EVOLUCIÓN DE LA ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE TOTAL DE LA FRACCIÓN LIPOSOLUBLE.

La fracción liposoluble de los jínjoles también presenta unos valores de AAT altos ($1407,87 \pm 77,3$ mg eq Trolox/100 g pf.), que disminuyen también desde los estados iniciales del crecimiento hasta que los frutos alcanzan su tamaño definitivo (30 de julio para JM y 6 de agosto para GA) (Fig. 24).

Sin embargo, en este caso, durante la maduración de los frutos se produce un incremento y una posterior disminución de la AAT, más pronunciado en la variedad GA que en la JM. Los valores finales de AAT liposoluble fueron de $761,99 \pm 100$ y de $334,23 \pm 8,52$ mg eq Trolox/100 g pf, para GA y JM, respectivamente, por lo que las diferencias fueron significativas.

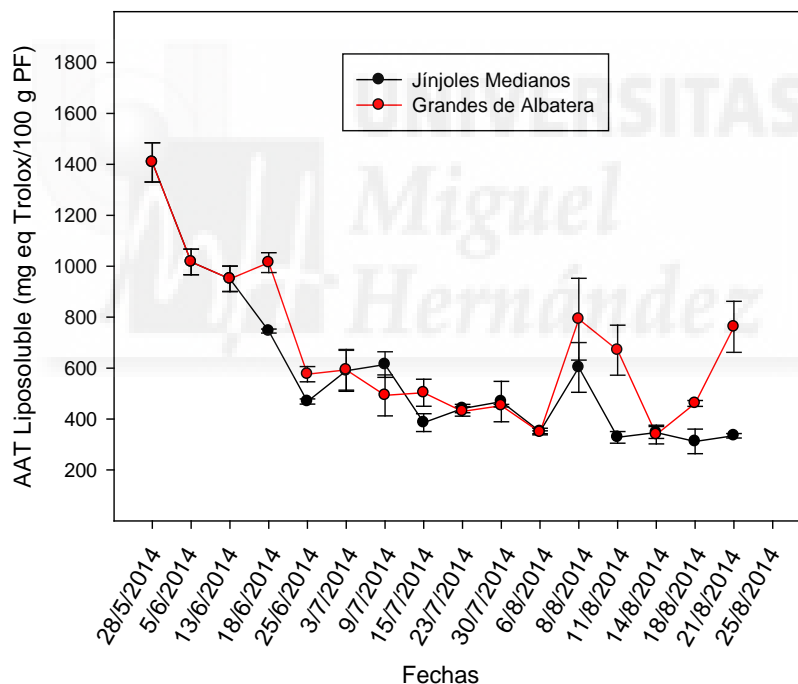


Figura 24: Evolución de la actividad antioxidante total de la fracción liposoluble de los frutos de las dos variedades hasta la maduración. Cada dato es la media \pm ES de 3 repeticiones por muestra.

Por tanto, se puede observar (Fig. 24) que los valores de la AAT de la fracción liposoluble son más bajos que los correspondientes a la fracción

hidrosoluble (Fig. 23), durante todo el desarrollo y la maduración de los jínjoles, excepto para el último valor de la AAT liposoluble en la variedad GA.

Wu *et al.* (2012) también han encontrado descensos de la AAT durante el proceso de la maduración de los jínjoles con valores que van desde 11,5 hasta los 6,5 mM eq Trolox/100 g peso fresco. Estos valores de AAT son un poco más altos que los encontrados en este trabajo, puesto que la AAT de la fracción hidrosoluble de los jínjoles varía entre unos 1000 y 500 mg eq Trolox/100 g pf al final de la maduración, lo que sería equivalente a entre 4 y 2 mM eq Trolox/100 g pf, mientras que la AAT correspondiente a la fracción liposoluble, que varía entre unos 500 y 400 mg eq Trolox/100 g pf, sería equivalente a 2,5 y 2 mM eq Trolox/100 g pf, lo que daría un total de entre 6,5 y 4 mM eq Trolox/100 g pf.

Zozio *et al.* (2014b) también encuentran descensos en la AAT durante la maduración de jínjoles de la especie *Ziziphus mauritiana*, con valores finales de aproximadamente 6 mmol eq Trolox/100 g peso fresco.

La AAT de otras variedades de jínjoles también están en el mismo rango que las encontradas en este trabajo, oscilando entre 1,7 y 5,8 mmol eq Trolox/100 g pf (Gao *et al.*, 2011). Estas diferencias demuestran lo que Gao *et al.* (2011) sugieren respecto a que son los cultivares el principal factor que influye tanto en las propiedades físico-químicas de los jínjoles, como en su actividad antioxidante.

Por otra parte, Zhang *et al.* (2010) y Xue *et al.* (2009) han encontrado en variedades chinas que la AAT es mayor en la piel que en la pulpa y menor en la semilla de los jínjoles, con diferencias que también son distintas según las variedades estudiadas.

4.10. EVOLUCIÓN DE LOS FENOLES TOTALES.

Como se puede observar en la figura 25, la evolución del contenido en fenoles totales es descendente desde las primeras semanas de crecimiento de los jínjoles hasta la madurez de los mismos, con valores finales de $257,09 \pm$

41,96 y $280,97 \pm 2,51$ mg eq ácido gálico/100 g de peso fresco, para las variedades JM y GA, respectivamente, por lo que los contenidos de fenoles no presentaban diferencias significativas entre las variedades estudiadas.

Esta disminución de los contenidos de fenoles totales paralelos a la maduración de los jínjoles también ha sido observada en jínjoles chinos (Wu *et al.*, 2012) con valores finales cercanos a los 500 mg eq ácido gálico/100 g de peso fresco, y por tanto superiores a los encontrados en los jínjoles estudiados en este trabajo. Zozio *et al.* (2014b) también encontraron una disminución de los valores de fenoles totales a medida que avanza la maduración y que difiere ligeramente según la variedad estudiada.

Los valores finales obtenidos en este trabajo son un poco más bajos que los valores encontrados por otros autores. Así, Gao *et al.* (2014) obtuvieron valores de 400 mg eq ác. gálico/100 g pf, Li *et al.* (2007) 500-853 mg eq ác. gálico/100 g. En función de la variedad, Gao *et al.* (2011) encontraron valores que oscilaban de 428-600 mg eq ác. gálico/100 g pf. y Li *et al.* (2005) de 518-742 mg eq ác. gálico/100 g pf.

Por tanto, se ha determinado que los contenidos fenólicos en el jínjol son diferentes según la variedad (Gao *et al.*, 2013). Además de la genética, la altitud y la precipitación anual ejercen influencias significativas sobre el nivel de los fenoles totales. Así, jínjoles crecidos en condiciones de sequía severa y en altitudes altas pueden producir una gran cantidad de fenoles y exhiben mayores actividades antioxidantes que los cultivados en otras áreas (Sun *et al.*, 2011).

Aún así, los jínjoles de las variedades JM y GA estudiadas en este trabajo, presentan un contenido muy alto de fenoles totales si las comparamos con otros frutos comunes conocidos por sus altos contenidos fenólicos, tales como ciruelas (114,6 mg eq ác. gálico/100 g pf), manzanas (74,0 mg eq ác. gálico/100 g pf), guayava (194,1 mg eq ác. gálico/100 g pf), caqui (112,1 mg eq ác. gálico/100 g pf) y uva tinta (80,3 mg eq ác. gálico/100 g pf) entre otros (Carlsen *et al.*, 2010).

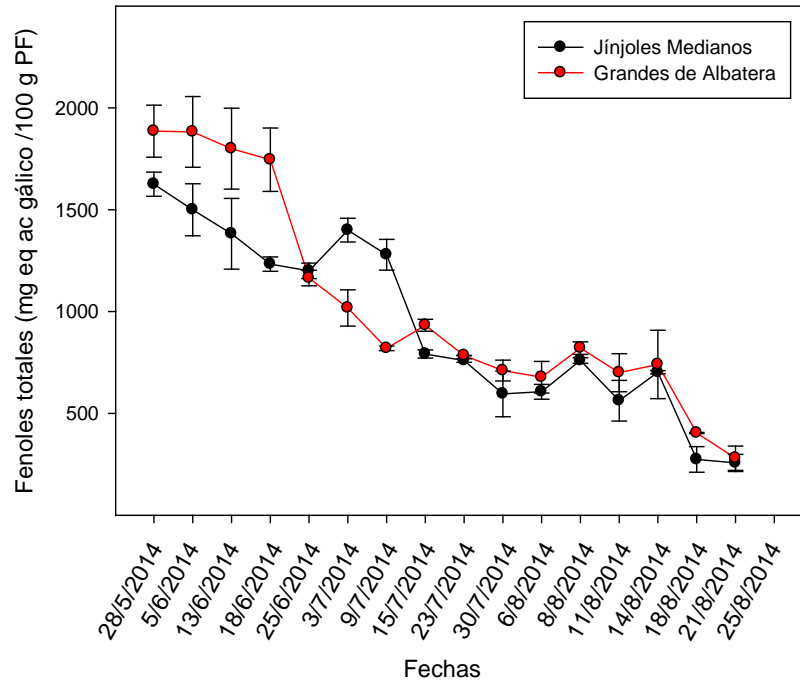


Figura 25: Evolución de los fenoles totales de los frutos de las dos variedades hasta la maduración. Cada dato es la media \pm ES de 3 repeticiones por muestra.

Normalmente, los contenidos de compuestos fenólicos totales de jínjol son mucho mayores en la piel que en la pulpa y menores en la semilla (Xue *et al.*, 2009; Zhang *et al.*, 2010), presentando, además, porcentajes en cada parte del fruto que varían según el cultivar estudiado. En los jínjoles, los compuestos fenólicos se concentran en la piel para desarrollar una función primaria de resistencia contra las enfermedades y actuar como sistemas de defensa contra los depredadores, microorganismos dañinos y patógenos.

Varios trabajos han encontrado correlaciones muy altas entre el contenido de fenoles totales y la actividad antioxidante total hidrosoluble de los jínjoles. Así, Gao *et al.* (2011) encontraron una correlación de $r^2=0,898$; Gao *et al.* (2012b) de $r^2= 0,956$, y Choi *et al.* (2011) de $r^2= 0,888$, encontrándose una baja correlación entre el contenido de ácido ascórbico y actividad antioxidante total. En nuestro caso (Fig. 26), la correlación entre la AAT hidrosoluble y el contenido de fenoles también fue alta, aunque menor para la variedad JM, con una $r^2=0,689$, que para GA que mostró una $r^2=0,927$, presentando ambas una baja correlación entre AAT hidrosoluble y el contenido de ácido ascórbico.

Sin embargo, Kamiloğlu *et al.* (2009) encontraron bajas correlaciones entre el contenido de fenoles totales y actividad antioxidante de jínjoles turcos, pero una mayor correlación entre el contenido en vitamina C y la actividad antioxidante total.

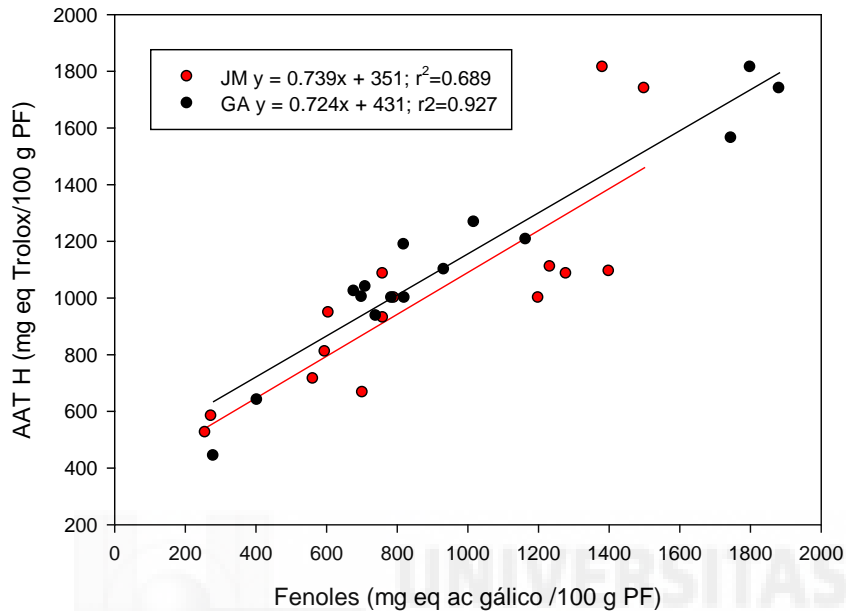


Figura 26: Correlación entre el contenido de AAT hidrosoluble y fenoles para los frutos de ambas variedades.

Entre los compuestos fenólicos encontrados en mayor cantidad en jínjoles maduros destacan los flavonoides procianidina, epicatequina, rutina, quercetina y kaemferol, y los ácidos fenólicos gálico, protocateínico, caféico y cumárico (Gao *et al.*, 2013).

Por otra parte, Choi *et al.* (2012) han comprobado que los extractos de jínjoles en diferentes estados de madurez inhiben la proliferación de células cancerígenas cervicales y de pulmón, efecto que han correlacionado con el contenido de flavonoides y la actividad antioxidante total.

4.11. ESTUDIO DE LA FISIOLOGÍA DE LOS JÍNJOLES.

4.11.1. EVOLUCIÓN DE LA TASA DE RESPIRACIÓN.

La medición de la tasa de respiración de los jínjoles se ha realizado cuantificando la emisión de CO₂ de los frutos en un tiempo dado.

Como se puede observar en la figura 27, los valores de dicho parámetro han sido altos durante el inicio de la Fase I de crecimiento de jínjol, seguido por una disminución rápida de la respiración hasta el final de dicha etapa.

En la Fase II del crecimiento, la respiración se mantiene y en la Fase III comienza a disminuir hasta el 30 de julio, coincidiendo con el momento en el que los jínjoles JM alcanzan su peso máximo y una semana antes de que hagan los GA, obteniéndose, en esta fecha, unos valores para la tasa de respiración prácticamente iguales en ambas variedades de 24,89 ± 0,71 y 21,86 ± 0,86 mg CO₂/kg*h, respectivamente. A partir de aquí, se inicia la maduración de los jínjoles, pero aunque se produce un ligero incremento de la tasa de emisión de CO₂, no se produce un pico característico de la emisión climatérica de CO₂, alcanzándose unos valores finales de 51,07 ± 1,72 y 41,98 ± 1,71 mg CO₂/kg*h, respectivamente.

Zhang *et al.* (2009) también estudiaron la tasa de emisión de CO₂ durante diferentes estados de desarrollo del jínjol y encontraron una disminución de la respiración desde el cuajado hasta la maduración de los frutos, por lo que concluyeron que jínjol presenta una respiración no climatérica.

Diferentes autores, han realizado diversos tratamientos postcoleccion a jínjoles de la especie *Ziziphus jujuba* con el fin de dilucidar si presentan o no un comportamiento climatérico. Mientras que algunos han encontrado que presenta una respiración no climatérica postcoleccion (Sheng *et al.*, 2003; Kader *et al.*, 1982), otros han detectado un comportamiento climatérico (Zhu *et al.*, 2010; Zhang *et al.*, 2012; Wang *et al.*, 2009), pero en todos estos casos, los niveles de respiración que se alcanzan son bastante bajos.

Sin embargo, los jínjoles de otras especies como son *Ziziphus mauritiana* (Abbas y Fandi, 2002; Zozio *et al.*, 2014a; Sharma *et al.*, 2000; Qiuping y Wenshui, 2007) y *Zizyphus spina-christi* (Al-Niami *et al.*, 1992; Abbas y Saggar, 1989) si han presentado una respiración de tipo climatérico.

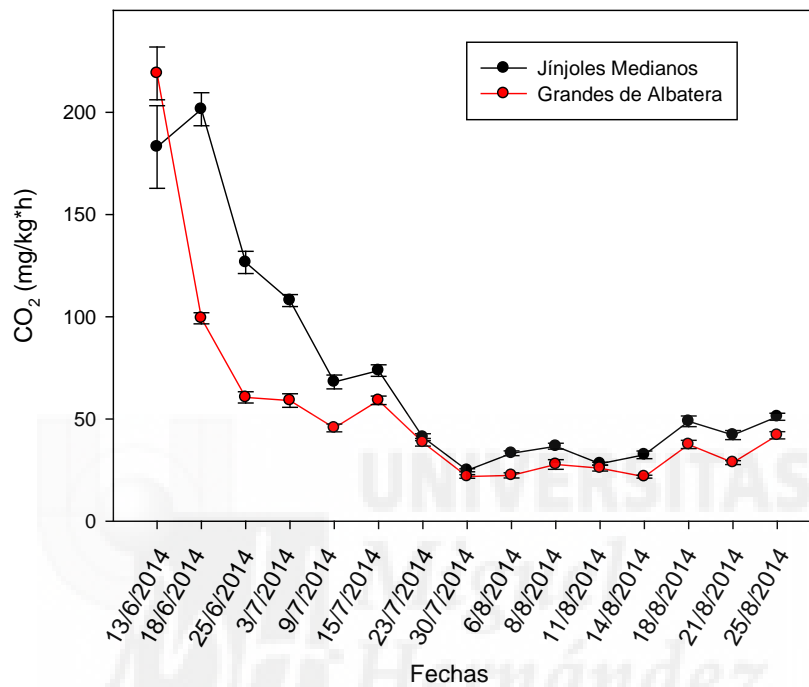


Figura 27: Evolución de la tasa de respiración medida como emisión de CO₂ de los frutos de las dos variedades hasta la maduración. Cada dato es la media ± ES de 20 medidas.

4.11.2. EVOLUCIÓN DE LA TASA DE DESPRENDIMIENTO DE ETILENO.

En la figura 28 se muestra la evolución del desprendimiento de etileno de los jínjoles de las variedades JM y GA desde la segunda semana (13 de junio) de la Fase I de crecimiento hasta el final de la maduración.

Durante las primeras semanas del desarrollo hasta el 9 de julio, (Fase I de crecimiento), se produce una baja emisión de etileno, seguida por un máximo de 1,5 nl/g*h, el 25 de junio, en la variedad JM y uno, el 3 de julio, de

0,7 nl/g*h en la variedad GA. Este fenómeno se asocia, según Díaz-Mula *et al.* (2008) con el endurecimiento del hueso, como sucede en ciruelas.

Seguidamente, y coincidiendo con las Fases II y III de crecimiento del fruto, el desprendimiento de etileno es nulo en ambas variedades. Posteriormente, y ya iniciado el periodo de maduración de los frutos, se produce en ambas variedades un ligero incremento en la producción de etileno. Mientras que en la variedad GA no se observa ningún pico, en la variedad JM podemos apreciar un pico muy bajo, con un máximo $0,58 \pm 0,13$ nl/g*h el 14 de agosto.

Este máximo nivel de emisión de etileno es muy bajo comparado con otras especies, incluso con jínjoles de la especie *Ziziphus mauritiana* que sí presentó un pico de emisión de etileno, con un valor de $13,0 \mu\text{l}/\text{kg}^*\text{h}$ (Abbas y Fandi, 2002) coincidente con un pico de producción de CO_2 , al estudiar la evolución de su desarrollo en el árbol.

En esta especie también se producen picos de emisión de etileno en frutos sometidos a diferentes tratamientos postrecolección, lo que lleva a clasificar a los jínjoles de *Z. mauritiana* como climatéricos (Qiuping y Wenshui, 2007; Zozio *et al.*, 2014a). Los jínjoles de la especie *Z. spina-christi* también presentaban un pico de emisión de etileno y de respiración, característicos de los frutos climatéricos (Abbas y Sagar, 1989; Al-Niami *et al.*, 1992).

Sin embargo, no está tan claro si los jínjoles de la especie aquí estudiada, *Ziziphus jujuba*, son climatéricos o no, pues hay disconformidad entre los resultados al respecto. Así, Kader *et al.* (1982) y Sheng *et al.* (2003) no encontraron pico de emisión de etileno y clasificaron estos jínjoles como no climatéricos, mientras que Zhu *et al.* (2010) y Li *et al.* (2009) hablan de jínjoles climatéricos por el efecto provocado por diferentes tratamientos postrecolección sobre la producción de etileno.

Observando la figura 28 podríamos decir que la variedad GA no es climatérica pues no tiene un pico de síntesis de etileno. Sin embargo, la variedad JM sí que muestra un ligero incremento de la síntesis de etileno, que podría representar un pico climatérico.

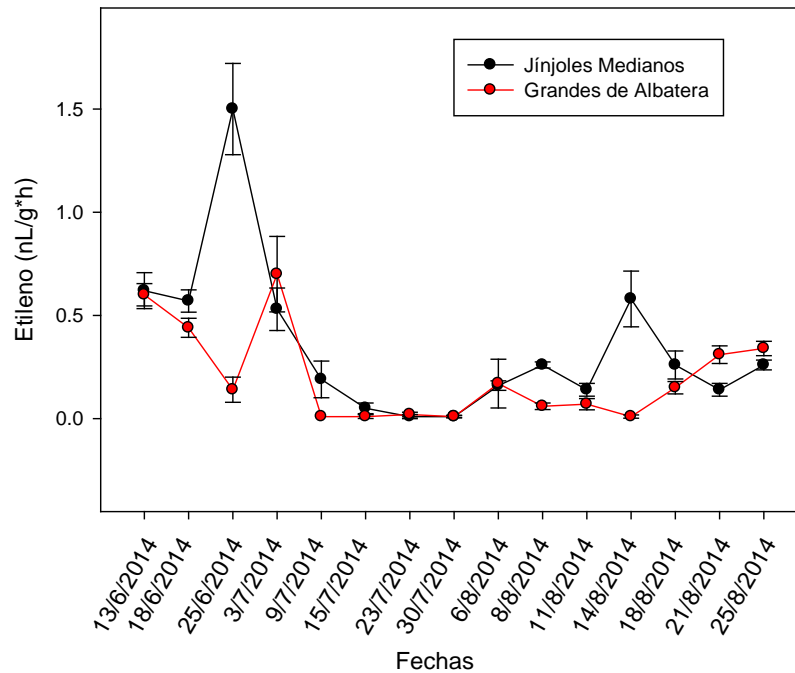


Figura 28: Evolución de la tasa de emisión de etileno de los frutos de las dos variedades hasta la maduración. Cada dato es la media \pm ES de 20 medidas.

Para dilucidar si la variedad JM es climatérica o no, procedimos a tratar jíjoles inmaduros con etileno a 1 y 2 ppm (Fig. 29). Los jíjoles fueron introducidos en botes de vidrio cerrados y provistos de un tapón de silicona.

En primer lugar, se midió la emisión de etileno de estos frutos tras 1 h encerrados en los botes (etileno a tiempo 0) y después se procedió a introducir el etileno exógeno a 1 o 2 ppm según tratamiento. El etileno se dejó actuar durante 24 o 48 h y al finalizar este tiempo se midió el etileno de los botes sin abrir con el fin de comprobar si se había mantenido el etileno inyectado.

A continuación, los botes se abrían y aireaban y se volvían a introducir los frutos para medir, tras 1 h encerrados, el etileno desprendido por los mismos. Si los frutos fuesen climatéricos, el tratamiento con etileno exógeno debería haber provocado síntesis autocatalítica de etileno (Zozio *et al.*, 2014a).

Sin embargo, como se puede observar en la figura 29, el etileno desprendido por los frutos tratados fue menor incluso que los frutos sin tratar

con etileno, pudiendo incluso ser nula la síntesis de etileno, como vemos en los jínjoles tratados con 2 ppm.

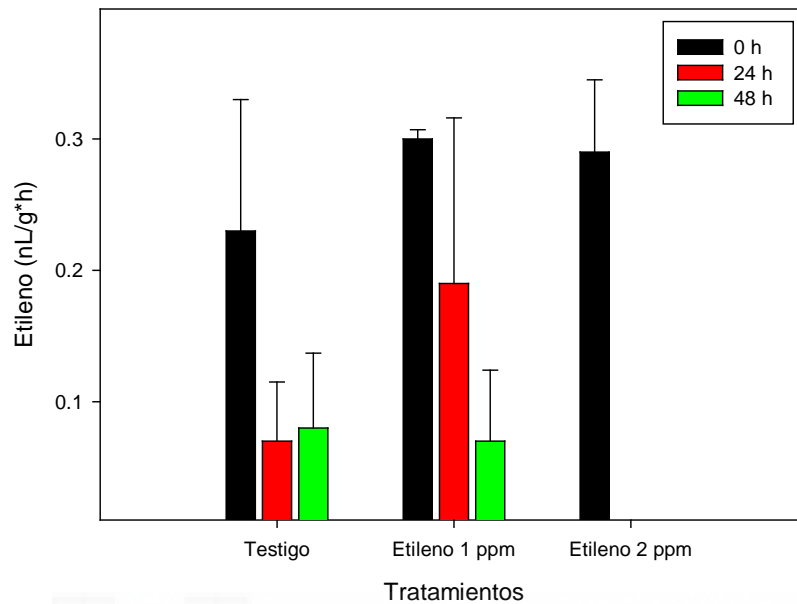


Figura 29: Emisión de etileno de los frutos de la variedad JM de jínjoles sin y con tratamiento previo de etileno a 1 ó 2 ppm durante 24 ó 48 horas. Cada dato es la media \pm ES de 20 medidas.

Por tanto, los jínjoles de la variedad JM no han respondido sintetizando más etileno al ser tratados con él, por lo que no han mostrado un comportamiento autocatalítico de la síntesis de etileno, característica distintiva de los frutos climatéricos por lo que los clasificamos en este trabajo como frutos no climatéricos.





CONCLUSIONES

5. CONCLUSIONES.

Las conclusiones que se pueden obtener del análisis de los parámetros físico-químicos y fisiológicos determinados durante el desarrollo y la maduración de los dos cultivares de jínjoles estudiados, jínjoles medianos (JM) y Grandes de Albaterra (GA), son las siguientes:

1. Los frutos de las dos variedades de jínjol muestran una curva de crecimiento doble sigmoide característica de los frutos de hueso. Los frutos de la variedad JM presentan menor peso, longitud y diámetro, menor firmeza y un color más rojizo y uniforme que los de la variedad GM. Debido a que su periodo de desarrollo fue el mismo, los frutos de la variedad GA presentan una mayor velocidad de crecimiento.

2. Los jínjoles de la variedad JM presentan un contenido significativamente mayor de azúcares reductores (glucosa y fructosa) que los de la GA, por lo que son más dulces al llegar a la madurez. El contenido en ácido málico y ascórbico de ambas variedades es alto, pero significativamente mayor en los jínjoles de la variedad JM, siendo el ácido málico el mayoritario. Sin embargo, el ácido cítrico se encuentra en menor cantidad en ambas variedades y en la misma proporción. Al final de la maduración, el contenido en proteínas, la actividad antioxidante total (AAT) hidrosoluble y el de fenoles totales de los jínjoles de ambas variedades es similar, sin embargo, la concentración final de AAT liposoluble es significativamente mayor para la variedad GA. Los fenoles totales y la AAT hidrosoluble de ambas variedades presentan una alta correlación, aunque menor para la variedad JM.

3. Los jínjoles de las dos variedades estudiadas son no climatéricos, ya que no presentan un pico característico de respiración climatérica, ni de desprendimiento de etileno durante la maduración. Además, tampoco presentan síntesis autocatalítica de etileno en respuesta a la aplicación de etileno exógeno.





BIBLIOGRAFÍA

6. BIBLIOGRAFÍA.

- Abbas, M.F., Al-Niami, J.H. y Sagggar, R.A.M.** 1994. Some aspects of developmental physiology of jujube fruit (*Z. spina-christi* (L.) Willd.). *Dirasat*. 21: 171-181.
- Abbas, M.F. y Fandi, B.S.** 2002. Respiration rate, ethylene production and biochemical changes during fruit development and maturation of jujube (*Zizyphus mauritiana* Lamk). *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 82: 1472-1476.
- Abbas, M.F. y Sagggar, R.A.M.** 1989. Respiration rate, ethylene production and certain chemicals-changes during the ripening of jujube fruits. *Journal Horticultural Science and Biotechnology*. 64: 223-225.
- Agustí, M.** 2008. Crecimiento y maduración del fruto. En: *Fundamentos de Fisiología Vegetal*. Azcón-Bieto, J. & Talón, M. (eds). 2ª Ed. McGraw-Hill/Interamericana de España, Edicions Universitat de Barcelona. pp: 519-535.
- Al-Niami, J.H., Sagggar, R.A.M. y Abbas, M.F.** 1992. The physiology of ripening of jujube fruit (*Zizyphus spina-christi* (L.) Wild.). *Scientia Horticulturae*. 51: 303-308.
- Arnao, M.B., Cano, A. y Acosta, M.** 2001. The hydrophilic and lipophilic contribution to total antioxidant activity. *Food Chemistry*. 73: 239-244.
- Azam-Ali, S., Bonkougou, E., Bowe, C., deKock, C., Godara, A. y Williams, J.T.** 2006. Ber and other jujubes. En: *Fruits to the Future (Revised edition)*. J.T. Williams (ed). Southampton, UK. 302 pp.
- Bal, J.S. y Singh, P.** 1978. Developmental physiology of Ber (*Z. mauritiana* Lamk.) var. Umran. I Physical changes. *Indian Food Packer*. 39: 56-61.
- Barceló, J., Nicolás, G., Sabater, B. y Sánchez, R.** 2009. Desarrollo y maduración de frutos. En: *Fisiología Vegetal*. Ed. Pirámide, Madrid.

- Bollard, E.G.** 1970. The physiology and nutrition of developing fruits. En: The Biochemistry of Fruits and Their Products, Vol. I. Hulme, A.C. (ed). Academic Press, London.
- Bradford, M.M.** 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry*. 72: 248-254.
- Brummell, D.A.** 2006. Cell wall disassembly in ripening fruit. *Functional Plant Biology*. 33:103-119.
- Cano, A., Hernández-Ruiz, J., García-Cánovas, F., Acosta, M. y Arnao, M.B.** 1998. An end-point method for estimation of the total antioxidant activity in plant material. *Phytochemical Analysis*. 9:196-202.
- Carlsen, M.H., Halvorsen, B.L., Holte, K., Bohn, S.K., Dragland, S., Sampson, L., Willey, C., Senoo, H., Umezono, Y., Sanada, C., Barikmo, I., Berhe, N., Willett, W.C., Phillips, K.M., Jacobs, D.R. y Blomhoff, R.** 2010. The total antioxidant content of more than 3100 foods, beverages, spices, herbs and supplements used worldwide. *Nutrition Journal*. 9: 3.
- Choi, S.H., Ahn, J.B., Kim, H.J., Im, N.K., Kozukue, N., Levin, C.E. y Friedman, M.** 2012. Changes in free amino acid, protein, and flavonoid content in jujube (*Ziziphus jujuba*) fruit during eight stages of growth and antioxidative and cancer cell inhibitory effects by extracts. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 60: 10245-10255.
- Choi, S.H., Ahn, J.B., Kozukue, N., Levin, C.E. y Friedman, M.** 2011. Distribution of free amino acids, flavonoids, total phenolics, and antioxidative activities of jujube (*Ziziphus jujuba*) fruits and seeds harvested from plants grown in Korea. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 59: 6594-6604.
- Collado-González, J., Cruz, Z.N., Medina, S., Mellisho, C.D., Rodríguez, P., Galindo, A., Egea, I., Romojaro, F., Ferreres, F., Torrecillas, A. y Gil-Izquierdo, A.** 2014. Effects of wáter déficit during maturation on amino acids and jujube fruit eating quality. *Macedonian Journal of Chemistry and Chemical Engineering*. 33 (1): 105-119.

- Coombe, B.G.** 1976. The development of fleshy fruits. Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology. 27: 507-528.
- Díaz-Mula, H.M., Zapata, P.J., Guillén, F., Castillo, S., Martínez-Romero, D., Valero, D. y Serrano, M.** 2008. Changes in physicochemical and nutritive parameters and bioactive compounds during development and on-tree ripening of eight plum cultivars. Journal of the Science of Food and Agriculture. 88: 2499-2507.
- Font-Quer, P.** 1959. Curso de botánica general y aplicada. Labor S.A. Barcelona. 483 pp.
- Frenich, A.G., Torres, M.E.H., Vega, A.B., Vidal, J.L.M. y Bolanos, P.P.** 2005. Determination of ascorbic acid and carotenoids in food commodities by liquid chromatography with mass spectrometry detection. Journal of Agricultural Food Chemistry. 53:7371-7376.
- Gao, Q.H., Wu, P.T., Liu, J.R., Wu, C.S., Parry, W.J. y Wang, M.** 2011. Physico-chemical properties and antioxidant capacity of different jujube (*Ziziphus jujuba* Mill.) cultivars grown in loess plateau of China.
- Gao, Q.H., Wu, C.S. y Wang, M.** 2013. The jujube (*Ziziphus jujuba* Mill.) fruit: A review of current knowledge of fruit composition and health benefits. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 61: 3351–3363.
- Gao, Q.H., Wu, C.S. Wang, M., Xu, B.N. y Du, L.J.** 2012a. Effect of drying of jujubes (*Ziziphus jujuba* Mill.) on the contents of sugars, organic acids, α -tocopherol, β -carotene, and phenolic compounds. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 60: 9642-9648.
- Gao, Q.H., Wu, C.S., Yu, J.G., Wang, M., Ma, Y.J. y Li, C.L.** 2012b. Textural characteristic, antioxidant activity, sugar, organic acid, and phenolic profiles of 10 promising jujube (*Ziziphus jujuba* mill.) selections. Journal of Food Science. 77 (11): C1218-C1225.
- Gao, Q.H., Yu, J.G., Wu, C.S., Wang, Z.S., Wang, Y.K., Zhu, D.L., y Wang, M.** 2014. Comparison of drip, pipe and surge spring root irrigation for jujube

- (*Ziziphus jujuba* Mill.) fruit quality in the Loess Plateau of China. PLoS ONE. 9(2): e88912.
- Giovannoni, J.** 2001. Molecular biology of fruit maturation and ripening. Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology. 52: 725-749.
- Guil-Guerrero, J.L., Díaz, D.A., Matallana, G.M.C. y Torija, I.M.E.** 2004. Fatty acids and carotenes in some ber (*Ziziphus jujube* Mill.) varieties. Plant Food for Human Nutrition. 59: 23-27.
- Grygorieva, O., Abrahamová, V., Karnatovská, M., Bleha, R. y Brindza, J.** 2014. Morphological characteristics of fruits, drupes and sedes in genotypes of *Ziziphus jujuba* Mill. Potravinárstvo Scientific Journal for Food Industry. 8 (1): 306-314.
- Hobson, G.E.** 1999 Maduración del fruto. En: Fisiología y Bioquímica Vegetal. Azcón-Bieto, J. & Talón, M. (eds). Interamericana McGraw-Hill, Madrid.
- Kader, A.A., Li, Y. y Chordas, A.** 1982. Post-harvest respiration, ethylene production and compositional changes of Chinese jujube fruits. Horticultural Science. 17: 678-679.
- Kader, A.A.** 1992. Postharvest biology and technology: an overview. Kader, A.A. (ed). En: Postharvest technology of horticultural crops. University of California división of agricultura and natural sources, CA, EEUU. 2: 15-20.
- Kamilolu, Ö., Ercisli, S., Sengül M., Toplu, C., y Serçe, S.** 2009. Total phenolics and antioxidant activity of jujube (*Zizyphus jujuba* Mill.) genotypes selected from Turkey. African Journal of Biotechnology. 8(2): 303-307.
- Kassem, H.A., Al-Obeed, R.S., Ahmed, M.A. y Omar, A.K.H.** 2011. Productivity, fruit quality and profitability of jujube trees improvement by preharvest application of agro-chemicals. Middle-East Journal of Scientific Research. 9 (5): 628-637.
- Leong, L.P. y Shui, G.** 2002. An investigation of antioxidant capacity of fruits in Singapore markets. Food Chemistry. 76: 69-75.

- Li, H., Li, F., Wang, L., Sheng, J., Xin, Z., Zhao, L., Xiao, H., Zheng, Y. y Hu, Q.** 2009. Effect of nano-packing on preservation quality of Chinese jujube (*Ziziphus jujuba* Mill. var. *inermis* (Bunge) Rehd). *Food Chemistry*. 114:547-552.
- Li, J.W., Ding, S.D. y Ding X.L.** 2005. Comparison of antioxidant capacities of extract from five cultivars of Chinese jujube. *Process Biochemistry*. 40: 3607-3613.
- Li, J.W., Fan, L.P., Ding, S.D., y Ding, X.L.** 2007. Nutritional composition of five cultivars of Chinese jujube. *Food Chemistry*. 103: 454-460.
- Melgarejo, P. y Salazar, D.** 2003. El jinjolero. En: Tratado de fruticultura para zonas áridas y semiáridas. Vol II. Algarrobo, granado y jinjolero. Mundi Prensa, Madrid. 367-417 pp.
- Plastina P., Bonofiglio D., Vizza D., Fazio A., Rovito D., Giordano C., Barone I., Catalano S. y Gabriele B.** 2012. Identification of bioactive constituents of *Ziziphus jujuba* fruit extracts exerting antiproliferative and apoptotic effects in human breast cancer cells. *Journal of Ethnopharmacology*. 140 (2): 325-332.
- Prasanna, V., Prabha, T.N., Tharanathan, R.N.** 2007. Fruit ripening phenomena-an overview. *Critical Reviews in Food Science Nutrition*. 47 (1): 1-19.
- Qiuping, Z. y Wenshui, X.** 2007. Effect of 1-methylcyclopropene and/or chitosan coating treatments on storage life and quality maintenance of Indian jujube fruit. *LWT*. 40: 404-411.
- Rhodes, M.J.C.** 1970. The climacteric and ripening of fruits. En: *The Biochemistry of Fruit and Their Products*, Vol II. Hulme, A.C. (ed). Academic Press, London.
- Roberts, W.G. y Gordon, M.H.** 2003. Determination of the total antioxidant activity of fruits and vegetables by a liposome assay. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 51: 1486-1493.

- Roginski, V. y Lissi, E.A.** 2005. Review of methods to determine chain-breaking antioxidante activity in food. *Food Chemistry*. 92: 235-254.
- San, B. y Yildirim, A.N.** 2010. Phenolic, alpha-tocopherol, beta-carotene and fatty acid composition of four promising jujube (*Ziziphus jujuba* Mill.) selections. *Journal of Food Composition and Analysis*. 23: 706-710.
- Serrano, M., Guillén, F., Martínez-Romero, D., Castillo, S. y Valero, D.** 2005. Chemical constituents and antioxidant activity of sweet cherry at different ripening stages. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 53: 2741-2745
- Sharma, R.K., Siddiqui, S. y Gupta, O.P.** 2000. Changes in ethylene evolution and respiration rates in ripening ber (*Ziziphus mauritiana* Lamk) fruits while attached to or after being detached from trees. *Haryana Journal Horticultural Science*. 29: 195-196.
- Sheng, J. Yumbo, L. y Lin, S.** 2003. Storage of chinese winter jujube fruit. *Acta Horticulturae*. 620: 203-208.
- SIAM-IMIDA**, 2015: consultada en la siguiente página web: <http://siam.imida.es/apex/f?p=101:46:1890600395374084>.
- Singleton, V.L., Orthofer, R. y Lamuela-Raventos, R.M.** 1999. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu reagent. *Methods in Enzymology*. 299: 152-178.
- Sun, Y. F., Liang, Z. S., Shan, C. J., Viernstein, H. y Unger, F.** 2011. Comprehensive evaluation of natural antioxidants and antioxidant potentials in *Ziziphus jujuba* Mill. var. spinosa (Bunge) Hu ex HF Chou fruits based on geographical origin by TOPSIS method. *Food Chemistry*. 124:1612–1619.
- The Plant List**, 2015: consultada en la siguiente página web: <http://www.theplantlist.org/tpl1.1/record/kew-2470699>.
- Tripathi, P.S.** 2014. *Ziziphus jujuba*: A Phytopharmacological review. *International Journal of Research and Development in Pharmacy and Life Sciences*. 3 (3): 959-966.

Tropicos, 2015 consultado en la siguiente página web:
<http://www.tropicos.org/Name/27500858>.

Wang, H., Chen, F., Yang, H., Chen, Y., Zhang, L. y An, H. 2012. Effects of ripening stage and cultivar on physicochemical properties and pectin nanostructures of jujubes. *Carbohydrate Polymers*. 89: 1180-1188.

Wang, Q., Lai, T., Qin, G. y Tian, S. 2009. Response of jujube fruits to exogenous oxalic acid treatment based on proteomic analysis. *Plant and Cell Physiology*. 50:230-242.

Westwood, N.H., 1982. *Fruticultura de Zonas Templadas*. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. 461 pp.

Wu, C.S., Gao, Q.H., Guo, X.D. y Wang, M. 2012. Effect of ripening stage on physicochemical properties and antioxidant profiles of promising table fruit "pear-jujube" (*Zizyphus jujuba* Mill.). *Scientia Horticulturae*. 148: 177-184.

Xue, Z., Feng, W., Cao, J., Cao, D. y Jiang, W. 2009. Antioxidant activity and total phenolic contents in peel and pulp of Chinese jujube (*Zizyphus jujuba* Mill.) fruits. *Journal of Food Biochemistry*. 33: 613-629.

Zhang, G.D., Feng, M., Yang, D., Liu, G.H., Yu, X.Y. y Xu, W. P. 2009. Primary study on respiration type of Lingwu Changzao (*Zizyphus jujuba* Mill.). *Acta Horticulturae*. 840: 483-488.

Zhang, H., Jiang, L., Ye, S. y Ren, F. 2010. Systematic evaluation of antioxidant capacities of the ethanolic extract of different tissues of jujube (*Zizyphus jujuba* Mill.) from China. *Food and Chemical Toxicology*. 48 (6): 1461-1465.

Zhang, Z., Tian, S., Zhu, Z., Xu, Y. y Qin, Q. 2012. Effects of 1-methylcyclopropene (1-MCP) on ripening and resistance of jujube (*Zizyphus jujuba* cv. Huping) fruit against postharvest disease. *LWT- Food Science and Technology*. 45: 13-19.

- Zhao, Z., Liu, M. y Tu, P.** 2008. Characterization of water soluble polysaccharides from organs of Chinese jujube (*Ziziphus jujuba* Mill. cv. Dongzao). *European Food Research and Technology*. 226: 985-989.
- Zhu, Z., Zhang, Z. Qin, G. y Tian, S.** 2010. Effects of brassinosteroids on postharvest disease and senescence of jujube fruit in storage. *Postharvest Biology and Technology*. 56: 50-55.
- Zozio, S., Servent, A., Cazal, G., Mbéguié-A-Mbéguié, D., Ravion, S., Pallet, D. y Abel. H.** 2014b. Changes in antioxidante activity during ripenig of jujube (*Ziziphus mauritiana* Lamk). *Food Chemistry*. 150: 448-456.
- Zozio, S., Servent, A., Hubert, O., Abel. H., Pallet, D. y Mbéguié-A-Mbéguié, D.** 2014a. Physicochemical and biochemical characterization of ripening in jujube (*Ziziphus mauritiana* Lamk) fruits from two accessions grown in Guadeloupe. *Scientia Horticulturae*. 175: 290-297.
- Zuang, H., Barret, P. y Beau, C.** 1992. Nuevas especies frutales. CTIFL. Mundi-Prensa, Madrid. 194 p.



ANEXO I



M1-28/05/14



M2-05/06/14



M3-13/06/14



M4-13/06/14



M5-25/06/14



M6-25/06/14



M7-09/07/14



M8-15/07/14



M9-23/07/14



M10-30/07/14



M11-06/08/14



M12-08/08/14

JM



M13-11/08/14

JM



M14-14/08/14

JM



M15-18/08/14

JM

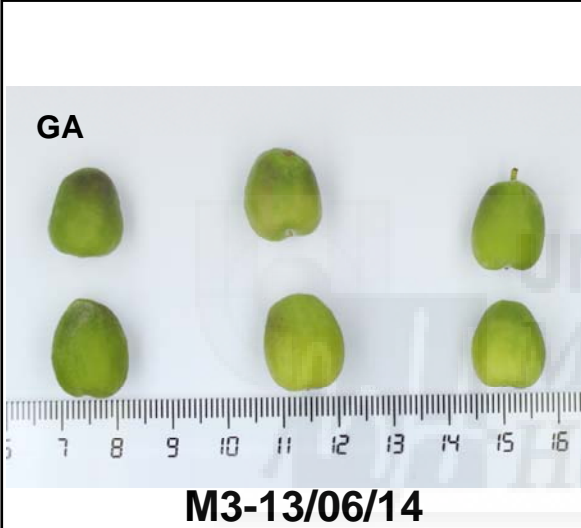
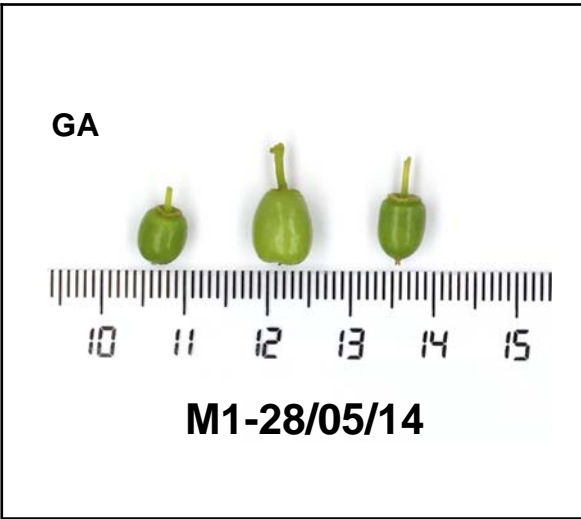


M16-21/08/14

JM



M17-25/08/14





M7-09/07/14



CE

M8-15/07/14

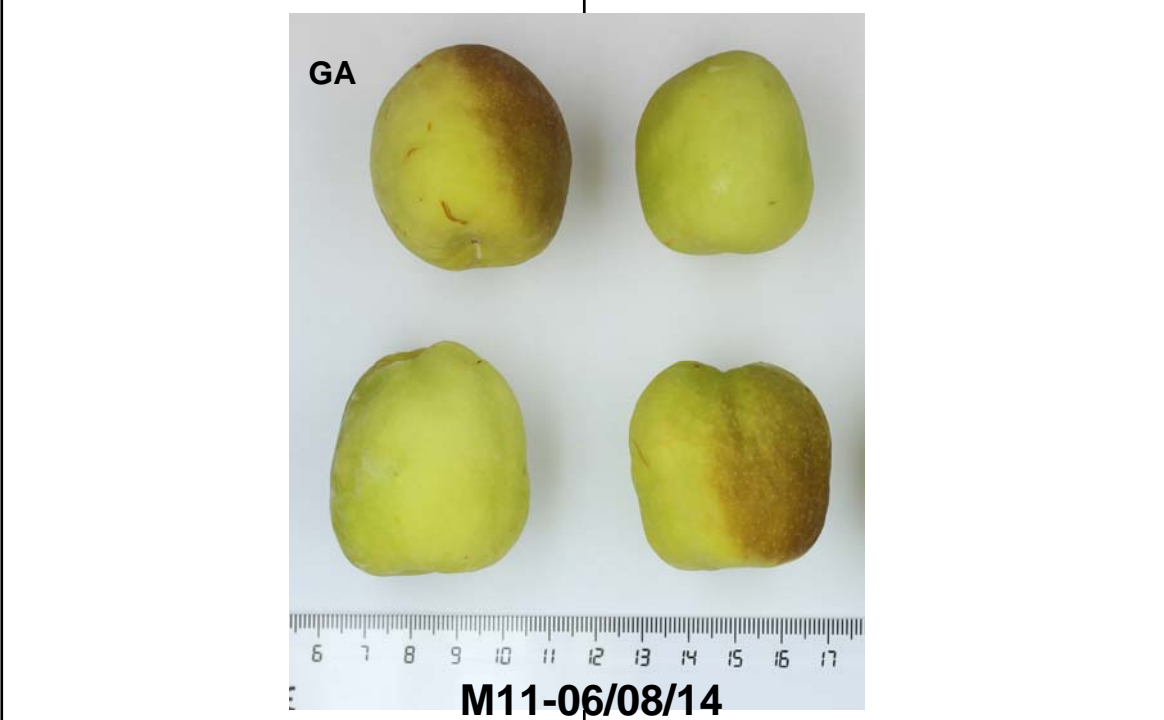


M9-23/07/14



CE

M10-30/07/14



M11-06/08/14

GA



M12-08/08/14

GA



M13-11/08/14

GA



M14-14/08/14

GA



M15-18/08/14

GA



M16-21/08/14



M17-25/08/14

GA



M17-25/08/14