



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Escola Tècnica Superior
d'Enginyeria Agronòmica i del Medi Natural

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica
y del Medio Natural

Efecto del cultivar sobre la composición del fruto de
azofaifo

Trabajo Fin de Máster

Máster Universitario en Ingeniería Agronómica

AUTOR/A: Agenjos Moreno, Alba

Tutor/a: Raigón Jiménez, M^a Dolores

CURSO ACADÉMICO: 2022/2023

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

**Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica y del Medio
Natural**

EFECTO DEL CULTIVAR SOBRE LA COMPOSICIÓN DEL FRUTO DE AZOFAIFO



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Escola Tècnica Superior
d'Enginyeria Agronòmica i del Medi Natural

TRABAJO FIN DEL MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA AGRONÓMICA

Alumno: Alba Agenjos Moreno

Tutora: M^a Dolores Raigón Jiménez

Valencia, marzo de 2023



RESUMEN

El árbol del azofaifo o jinjolero (*Ziziphus jujuba*) es originario de Oriente. En el momento actual, en la Península Ibérica se trata de cultivo marginal y muy localizado o, incluso, se encuentra asilvestrado. Taxonómicamente pertenece a la familia Rhamnaceae. Es un árbol resistente a las bajas temperaturas y limitantes condiciones de suelo. En condiciones mediterráneas, la maduración de los frutos se produce entre finales de agosto, septiembre y principios de octubre. Se necesita elevadas cantidades de calor para fructificar.

El fruto es una drupa, de tamaño variable, puede oscilar entre los 2 cm de diámetro hasta los 5 cm de diámetro. El exocarpo lleva los colores desde verde brillante al avellana oscuro, en la madurez; la pulpa es de color blanca o blanca amarillenta, muy aromática y de sabor dulce. Poco después de madurar completamente, el fruto comienza a ablandarse y se arruga.

El principal objetivo de este trabajo es evaluar la composición de frutos de azofaifo procedentes de tres cultivares presentes en la zona de La Marjal de los Moros, Sagunto (Valencia). Dos de estos cultivares son cultivados en condiciones homogéneas en la finca de del Centro de Educación Ambiental de la Comunitat Valenciana y la tercera se trata de especies que fueron plantadas hace 20 años como seto de parcelas agrícolas de producción ecológica, y se mantiene de forma silvestre. Con ello se pretende poner en valor una fruta infravalorada y estudiar su potencial para posibles transformaciones alimentarias.

Tras el estudio realizado se llega a la conclusión de que es una fruta ligeramente ácida, con una gran cantidad de carbohidratos totales, destacando entre los azúcares solubles la fructosa y la glucosa. Los aportes de grasa son bajos y las cantidades de fibra muy interesantes. Destaca los altos contenidos de vitamina C.

Palabras clave: *Ziziphus jujuba*, vitamina C, antioxidantes, infravalorada, nutricional

RESUM

L'arbre del ginjoler murcià (*Ziziphus jujuba*) és originari d'Orient. En el moment actual, en la Península Ibèrica es tracta d'un cultiu marginal i molt localitzat o, fins i tot, es troba assilvestrat. Taxonòmicament pertany a la família Rhamnaceae. És un arbre resistent a les baixes temperatures i a limitants condicions de sòl. En condicions mediterrànies, la maduració dels fruits es produeix entre finals d'agost, setembre i principis d'octubre. Es necessita elevades quantitats de calor per a fructificar.

El fruit és una drupa, de grandària variable, que pot oscil·lar entre els 2 cm de diàmetre fins als 5 cm de diàmetre. El exocarp porta els colors des de verd brillant a l'avellana fosc, en la maduresa; la polpa és de color blanca o blanca groguenca, molt aromàtica i de sabor dolç. Poc després de madurar completament, el fruit comença a ablanir-se i s'arruga.

El principal objectiu d'aquest treball és avaluar la composició dels fruits del ginjoler murcià procedents de tres cultivars presents en la zona de la Marjal dels Moros, Sagunt (València). Dos d'aquestes cultivars són cultivats en condicions homogènies en la finca de de el Centre d'Educació Ambiental de la Comunitat Valenciana i la tercera es tracta d'espècies que van ser plantades fa 20 anys com a tanca de parcel·les agrícoles de producció ecològica, i es manté de manera silvestre. Amb això es pretén posar en valor una fruita infravalorada i estudiar el seu potencial per a possibles transformacions alimentàries.

Després de l'estudi realitzat s'arriba a la conclusió que és una fruita lleugerament àcida, amb una gran quantitat de carbohidrats totals, destacant entre els sucres solubles la fructosa i la glucosa. Les aportacions de greix són baixos i les quantitats de fibra molt interessants. Destaca els alts continguts de vitamina C.

Paraules clau: *Ziziphus jujuba*, vitamina C, antioxidants, infravalorada, nutricional

ABSTRACT

The jujube tree (*Ziziphus jujuba*) is native to the Orient. At the present time, in the Iberian Peninsula it is a marginal and very localized crop or, even, feral. Taxonomically it belongs to the Rhamnaceae family. It is a tree resistant to low temperatures and limiting soil conditions. In Mediterranean conditions, the ripening of the fruits occurs between the end of August, September and the beginning of October. High amounts of heat are required to bear fruit.

The fruit is a drupe, of variable size, it can range from 2 cm in diameter to 5 cm in diameter. The exocarp takes the colors from bright green to dark hazelnut, at maturity; the pulp is white or yellowish white, very aromatic and with a sweet taste. Shortly after fully ripening, the fruit begins to soften and wrinkle.

The main objective of this work is to evaluate the composition of jujube fruits from three cultivars present in the area of La Marjal de los Moros, Sagunto (Valencia). Two of these cultivars are cultivated in homogeneous conditions on the farm of the Center for Environmental Education of the Valencian Community and the third is about species that were planted 20 years ago as a hedge of agricultural plots of organic production, and is kept in the wild. This is intended to value an undervalued fruit and study its potential for possible food transformations.

After the study carried out, it is concluded that it is a slightly acidic fruit, with a large amount of total carbohydrates, highlighting among the soluble sugars fructose and glucose. The fat contributions are low and the amounts of fiber very interesting. Highlights the high content of vitamin C.

Keywords: *Ziziphus jujuba*, vitamin C, antioxidants, undervalued, nutritional

ÍNDICE

| | | |
|-----------|--|-----------|
| 1. | INTRODUCCIÓN..... | 1 |
| 1.1 | LA FRUTA Y SU VALOR NUTRICIONAL | 1 |
| 1.2 | ORIGEN Y SISTEMÁTICA DEL AZOFAIFO | 1 |
| 1.3 | IMPORTANCIA ECONÓMICA DEL AZOFAIFO | 2 |
| 1.4 | PROPIEDADES NUTRICIONALES DEL AZOFAIFO | 2 |
| 2. | OBJETIVOS | 4 |
| 3. | MATERIAL Y MÉTODOS..... | 5 |
| 3.1 | MATERIAL VEGETAL..... | 5 |
| 3.2 | METODOLOGÍA..... | 7 |
| 3.2.1 | Determinación de la humedad y materia seca de los frutos | 7 |
| 3.2.2 | Determinación del contenido en grasa de los frutos | 7 |
| 3.2.3 | Determinación del contenido en proteína de los frutos | 8 |
| 3.2.4 | Determinación del contenido en fibra de los frutos..... | 9 |
| 3.2.5 | Determinación del contenido mineral total de los frutos | 9 |
| 3.2.6 | Determinación del contenido en hidratos de carbono de los frutos | 10 |
| 3.2.7 | Determinación del pH de los frutos | 10 |
| 3.2.8 | Determinación de los sólidos solubles de los frutos | 10 |
| 3.2.9 | Determinación de la vitamina C de los frutos..... | 11 |
| 3.2.10 | Determinación de la acidez total de los frutos | 11 |
| 3.2.11 | Determinación azúcares totales en los frutos | 11 |
| 3.2.12 | Determinación sacarosa, glucosa y fructosa en los frutos | 12 |
| 3.2.13 | Determinación del contenido en sodio y potasio de los frutos..... | 12 |
| 3.2.14 | Determinación del contenido en fósforo de los frutos..... | 12 |
| 3.2.15 | Determinación del contenido en calcio y magnesio de los frutos..... | 13 |
| 3.2.16 | Determinación del contenido en hierro, cobre y zinc de los frutos | 13 |
| 3.2.17 | Determinación del contenido de polifenoles de los frutos | 13 |
| 3.2.18 | Determinación de la capacidad antioxidante de los frutos | 14 |
| 3.2.19 | Determinación del color de los frutos | 14 |
| 3.2.20 | Determinación de parámetros físicos de los frutos..... | 15 |
| 3.2.21 | Tratamiento de datos..... | 15 |
| 4. | RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 16 |
| 4.1 | RESULTADOS DESCRIPTIVOS | 16 |
| 4.1.1 | Evaluación de los resultados de componentes nutricionales..... | 16 |
| 4.1.2 | Evaluación de los resultados de parámetros químicos de acidez y azúcares | 18 |
| 4.1.3 | Evaluación de los resultados de sustancias antioxidantes y bioactivas | 20 |
| 4.1.4 | Evaluación de los resultados de minerales individuales..... | 21 |
| 4.1.5 | Evaluación de los resultados del calibre | 24 |
| 4.1.6 | Evaluación de los resultados de color..... | 25 |
| 4.2 | RELACIONES ENTRE VARIABLES..... | 27 |
| 5. | CONCLUSIONES | 32 |
| 6. | BIBLIOGRAFÍA | 33 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1. Valores promedios de la composición proximal, \pm error estándar, coeficiente de variación y p-valor, para los frutos de azofaifo (n=3)..... | 16 |
| Tabla 2. Valores promedios de los parámetros químicos de acidez y azúcares, \pm error estándar, coeficiente de variación y p-valor, para los frutos de azofaifo (n=3)..... | 18 |
| Tabla 3. Valores promedios de las sustancias antioxidantes y bioactivas, \pm error estándar, coeficiente de variación y p-valor, para los frutos de azofaifo (n=3)..... | 20 |
| Tabla 4. Valores promedios de los minerales individuales, \pm error estándar, coeficiente de variación y p-valor, para los frutos de azofaifo (n=3)..... | 22 |
| Tabla 5. Valores promedios del calibre, \pm error estándar, coeficiente de variación y p-valor, para los frutos de azofaifo (n=10) | 24 |
| Tabla 6. Valores promedios de las coordenadas de color, \pm error estándar, coeficiente de variación y p-valor, para los frutos de azofaifo (n=30)..... | 26 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1. Localización de los árboles de azofaifo. | 5 |
| Figura 2. Diferentes entre las muestras de frutos de azofaifo estudiadas | 6 |
| Figura 3. Árbol y fruto de azofaifo cultivado pequeño (ACP)..... | 6 |
| Figura 4. Árbol y fruto de azofaifo cultivado grande (ACG). | 6 |
| Figura 5. Árbol y fruto de azofaifo silvestre (AS). | 6 |
| Figura 6. Relación positiva entre el contenido de magnesio y el calcio del conjunto de frutos. | 30 |
| Figura 7. Relación positiva entre el contenido de vitamina C y el potasio del conjunto de frutos | 30 |
| Figura 8. Relación negativa entre la capacidad antioxidante total y el potasio del conjunto de frutos | 31 |
| Figura 9. Relación positiva entre el contenido de sodio y el potasio del conjunto de frutos | 31 |

1. INTRODUCCIÓN

1.1 LA FRUTA Y SU VALOR NUTRICIONAL

Por fruta se entiende producto producido por la planta con la finalidad de proteger y desarrollar la semilla. Existe un gran grupo de frutos comestibles, considerándose uno de los recursos alimentarios más importantes en la alimentación humana en el planeta.

Cada fruto tiene su temporada de producción, son principalmente utilizados para consumo humano, tanto en fresco como producto elaborado. La fruta ha tenido un papel muy importante en la dieta del ser humano durante siglos, además de ser uno de los componentes esenciales en la dieta mediterránea, aconsejándose dos o más raciones de ingesta al día (FAO, 2020).

Existe una amplia y diversidad genética en los frutales del grupo de plantas leñosas, con diferentes formas, tamaños y colores. La importancia de las frutas recae en que son la principal fuente de minerales y vitaminas en la dieta humana, además de ser una importante fuente de fibra, y de sustancias con principios antioxidantes, lo cual aporta grandes beneficios a la salud de los humanos, de ahí su importancia de seguir las recomendaciones de la OMS (FAO, 2020), e intentar consumir un mínimo de 400 gramos de fruta y verduras al día para prevenir enfermedades, desnutrición, deficiencia de micronutrientes, diabetes, enfermedades cardíacas y obesidad (Afshin *et al.*, 2019, FAO, 2022).

1.2 ORIGEN Y SISTEMÁTICA DEL AZOFAIFO

Existe gran variedad de los árboles conocidos comúnmente como azofaifos, azufaifos, azofifos o jinjoleros, cuyos frutos difieren en cuanto a forma, tamaño, colores y sabores, aunque características nutricionales similares (Akbolat *et al.*, 2008). El género *Ziziphus* tiene aproximadamente 40 especies. De todas, la más conocida es *Ziziphus jujuba* Mill. (Li *et al.*, 2007). Su origen está en Oriente, donde se cultiva de manera extensiva. En cambio, en la Península Ibérica se encuentra generalmente asilvestrado (Font-Quer, 1959, Azam-Ali *et al.*, 2006).

La clasificación sistemática del azufaifo es (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.

Las especies de *Ziziphus* (*Ziziphus jujuba* Mill.) requieren veranos calurosos, aunque pueden tolerar una amplia gama de temperaturas y precipitaciones. China tiene una gran variedad de cultivares de azufaifo, más de 700 selecciones.

La literatura identifica diversos cultivares de frutos de azofaifo (Li *et al.*, 2007; Kou *et al.*, 2015) con el fin de facilitar la selección de mejores cultivares y proporcionar una línea de base de la variabilidad del germoplasma para la mejora de calidad e incluso con el fin de actuar frente a algunas fisiopatías (Hou *et al.*, 2022).

El gran número de variedades de azofaifo conocidas y la influencia de las condiciones de cultivo, hace interesante diferenciarlas en base al principio nutricional.

1.3 IMPORTANCIA ECONÓMICA DEL AZOFAIFO

El azofaifo es un cultivo utilizado en china tradicionalmente desde hace más de 4.000 años, considerada una importante fuente nutricional, utilizado habitualmente en la medicina tradicional china (Gao *et al.*, 2013).

Es considerado un fruto importante en otros países asiáticos como son India, Corea del Sur, Japón y Pakistán, pero no tanto como en China. También está difundido por África del norte, al contrario que en el sur de Europa, donde es escasamente cultivado. Se puede encontrar este cultivo en regiones de clima mediterráneo de Estados Unidos, como son California o Florida, identificadas como zonas interesadas en el cultivo del azofaifo (Melgarejo y Salazar, 2003).

China es el principal exportador de azofaifo, con una importante área de cultivo y de producción (Hou *et al.*, 2022). La participación china en la producción mundial del azofaifo es de alrededor del 90 % y su producción se incrementa debido a la demanda de aplicaciones alimentarias y farmacéuticas.

En España, el azofaifo no tiene una importancia destacable, a pesar de eso, aparece como planta ornamental, en márgenes de cultivos extensivos, en huertos familiares y como árbol silvestre (Melgarejo y Salazar, 2003). Por lo general en España, el cultivo se ha considerado como marginal, encontrado tan solo en zonas de huerta tradicional o en márgenes de ríos, carreteras y acequias.

Actualmente no existe ningún censo del frutal en el país, lo que demuestra su baja importancia económica, llegando a estar considerado dentro de la categoría de frutales “menores”.

1.4 PROPIEDADES NUTRICIONALES DEL AZOFAIFO

El consumo de frutas y verduras representa una recomendación para la salud y bienestar, y el entendimiento de las diferentes ventajas biológicas de algunos de sus componentes como las vitaminas, fibras y minerales, siendo de importancia para el consumo (Castillo-Velarde, 2019).

Entre todos los componentes antioxidantes de las frutas con valor antioxidante se encuentran, los β -carotenos y las vitaminas C y E. La vitamina C, es un nutriente esencial con propiedades antioxidantes, importante para la adecuada absorción del Fe, Ca o aminoácidos en

el organismo. Los antioxidantes como la vitamina C interactúan con los radicales libre que causan daños y los estabilizan para frenar el estrés oxidativo celular (Llacuna y Mach, 2012).

El fruto del azofaifo es una drupa, de forma globosa a ovoide, de hasta 6 x 4 cm de longitud, de piel lisa o áspera, brillante, delgada pero dura, amarillenta a rojiza o negruzca, dependiendo del estado de madurez, con pulpa blanca, crujiente y jugosa, de sabor ligeramente ácido a dulce, volviéndose harinosa en los frutos completamente maduros.

El color de la piel de azofaifo cambia de verde al amarillo, luego al rojizo-marrón y finalmente a marrón caoba durante la maduración. Estos colores de la cáscara representan etapas de madurez típicamente denominadas etapa de fruto verde, madurez blanca, madurez medio roja y etapa de madurez roja, respectivamente (Wang *et al.*, 2016). Los frutos de azofaifo son perecederos en estado fresco y se deterioran tras diez días en condiciones ambientales después de la cosecha (Kou *et al.*, 2015). En España la maduración de estos frutos se produce entre finales de agosto, septiembre y principios de octubre. Se necesita elevadas cantidades de calor para fructificar. Poco después de madurar completamente, el fruto comienza a ablandarse y se arruga (Grygorieva *et al.*, 2014).

Las frutas de azofaifo generalmente se consumen en fresco y se han aplicado en el procesamiento de varios productos alimenticios, incluidas compotas, bebidas alcohólicas, salsas picantes, encurtidos, pasteles y pan, principalmente en India y África (Zozio *et al.*, 2016).

Las frutas de azofaifo promueven la salud por su alto valor nutricional, se ha caracterizado por altos contenidos en vitamina C (Li *et al.*, 2007). Entre los componentes bioactivos de los frutos de azofaifo destaca la presencia de ácido amino butírico, que aporta gran valor nutricional y contribuye a los beneficios para la salud del consumo de estos frutos (Pu *et al.*, 2019).

Existen evidencias que demuestran que la composición de los frutos de azofaifo tiene efectos protectores contra el cáncer, frente a accidentes cerebrales vasculares y enfermedades coronarias (Zhang *et al.*, 2010). Además, los extractos de *Ziziphus jujuba* se han usado en Japón para tratar la hepatitis crónica y otras enfermedades (Yamaoka *et al.*, 1996).

Los frutos de azofaifo presentan una alta actividad antioxidante. Esta actividad se ha atribuido al alto nivel de compuestos fenólicos. Se sabe que la fruta de azofaifo contiene una cantidad considerable de compuestos fenólicos, incluidos el ácido clorogénico, el ácido gálico, el ácido protocatequico y el ácido cafeico (Zhao *et al.*, 2014; Bastos *et al.*, 2016).

A pesar del alto valor nutricional, la fruta de azofaifo aún no se explota comercialmente en España.

2. OBJETIVOS

Los frutos de azofaifo son una fuente destacada de muchos nutrientes y componentes fitoquímicos con un alto potencial bioactivo que contribuye a una dieta saludable. El principal objetivo de este estudio es determinar algunos parámetros morfológicos y la composición nutricional, incluyendo compuestos con actividad biológica de tres genotipos de frutos frescos de azofaifo (*Ziziphus jujuba* Mill.) de la zona mediterránea de Valencia.

Con ello se pretende poner en valor los frutos de azofaifo con la finalidad de poder introducirlos en los mercados locales, como fruta fresca de temporada.

Los objetivos específicos por valorar en los frutos de azofaifo son:

- Evaluar los parámetros de color de la corteza.
- Tipificar los parámetros de calibre.
- Analizar la composición proximal de los frutos y el valor energético.
- Estudiar los parámetros de acidez y azúcares.
- Conocer las concentraciones en vitamina C.
- Analizar el contenido mineral mayoritario.
- Evaluar el potencial antioxidante, analizando la capacidad antioxidante total y el contenido polifenólico total.

3. MATERIAL Y MÉTODOS

3.1 MATERIAL VEGETAL

Los frutos fueron cosechados en la zona de La Marjal de los Moros (Sagunto, Valencia). La diferenciación de los tipos de frutos se debe por un lado, al calibre del fruto maduro y por otro lado, a la procedencia, siendo dos de ellos procedentes de árboles cultivados y el tercero procede de árboles silvestres.

Los árboles de cultivo se localizan en el Centre d'Educació Ambiental de la Comunitat Valenciana (CEACV) (figura 1). Entre las instalaciones del CEACV se encuentra el Jardín de los Paisajes Mediterráneos donde se incluye una colección de árboles de azofaifo que se diferencian por el tamaño de los frutos. Los árboles de azofaifo se encuentran distribuidos entre las parcelas experimentales de cultivo ecológico del CEACV y el manejo que se realiza de los árboles es mínimo, prácticamente centrado en la recolección de los frutos, ya que no están sujetos a riego, el abonado es el que se incluye en los cultivos experimentales, no se realizan aplicaciones fitosanitarias y tampoco poda.

La tercera muestra de frutos de azofaifo procede de árboles que fueron plantados hace 20 años y que tienen la función de seto de parcelas agrícolas de producción ecológica, y se mantiene de forma silvestre (figura 1). Ambas zonas están distanciadas entre sí aproximadamente 500 m.



Figura 1. Localización de los árboles de azofaifo.

Todas las muestras de frutos de azofaifo se recolectaron el mismo día (14 de septiembre de 2020), en el momento óptimo de madurez para su consumo, con la piel firme, aunque con diferencias en el color de la piel (figura 2) en función de la muestra. Color marrón oscuro para los frutos pequeños procedentes de los árboles de las parcelas de cultivo (ACP) (figura 3). Color marrón claro para los frutos grandes procedentes de los árboles de las parcelas de cultivo (ACG)

(figura 4). Viraje del color verde al marrón claro y calibre variable para los frutos procedentes de árboles silvestres (figura 5).



Figura 2. Diferentes entre las muestras de frutos de azofo estudiadas



Figura 3. Árbol y fruto de azofo cultivado pequeño (ACP).



Figura 4. Árbol y fruto de azofo cultivado grande (ACG).



Figura 5. Árbol y fruto de azofo silvestre (AS).

3.2 METODOLOGÍA

Para las determinaciones físicas de color y calibre se han realizado treinta repeticiones por cada parámetro y muestra. Para el resto de las determinaciones se han realizado tres repeticiones por cada parámetro y muestra, para ello se han empleado los frutos con la corteza y la pulpa.

Las muestras, una vez conservadas, fueron tratadas y adaptadas antes de cada determinación experimental. Para la determinación del contenido en polifenoles y la actividad antioxidante se trabajó con extractos hidroalcohólicos (trituration de 0,1 g de muestra fresca con 3 mL de disolución acuosa de metanol al 80 %). Los azúcares, acidez y vitamina C se realizaron sobre el zumo del azofaifo.

Las determinaciones de la composición proximal se realizaron empleando métodos oficiales: humedad (AOAC 984.25), proteínas (AOAC 984.13), grasa (AOAC 983.23), fibra (AOAC 991.43) y cenizas (AOAC 923.03). El contenido de carbohidratos se calculó por diferencia. Los resultados finales se expresan en g·100 g⁻¹ de peso fresco (pf).

3.2.1 Determinación de la humedad y materia seca de los frutos

El fundamento de la determinación de la humedad se basa en la desecación directa del fruto, en estufa con aire forzado a 70 °C ± 2 °C, hasta pesada constante, calculando el residuo por diferencia de peso. El método consiste en introducir aproximadamente 2 g en una cápsula de porcelana, previamente pesada y tarada, y a continuación colocarla en la estufa durante 24 h o hasta alcanzar peso constante. Se deja enfriar en el desecador y se determina el peso de la muestra desecada (AOAC 984.25).

El contenido de humedad (%) se obtiene mediante diferencia del peso de la materia inicial y la sustancia seca (SS), que se calcula como:

$$SS = \frac{P(\text{seco} + \text{crisol}) - P(\text{crisol})}{P(\text{muestra inicial})} \times 100$$

Donde:

P (seco + crisol): es el peso (g) de la cápsula de porcelana y la muestra desecada.

P (crisol): es el peso (g) de la cápsula de porcelana.

P (muestra inicial): es el peso (g) de la muestra fresca.

3.2.2 Determinación del contenido en grasa de los frutos

El contenido en grasa bruta se define como la parte del fruto extraíble por éter de petróleo en condiciones determinadas (AOAC 983.23). El análisis de grasa se realiza mediante extracción por el método Soxhlet, empleando un equipo semiautomático (Foss ST 243 Soxtec, Hilleroed, Denmark). Para ello, los pocillos del equipo se secan previamente en estufa con unas bolas de vidrio, se enfrían en desecador y se pesan. Los filtros que contienen aproximadamente 2 g de

muestra se introducen dentro de otro filtro con 0,5 g de sulfato sódico anhidro y se depositan en los cartuchos. En cada pocillo se vierten alrededor de 50 mL de éter de petróleo, se introducen los cartuchos en el equipo y se activa el programa que consiste en sumergir durante 30 minutos los cartuchos en el éter de petróleo, 1 hora y media de goteo por gravedad de la parte soluble, 8 minutos de evaporación y 3 minutos de secado.

Al acabar la extracción se introducen los pocillos en la estufa durante una hora para completar la evaporación del éter de petróleo, se enfrían en el desecador y se pesan. La determinación de la grasa, expresada en porcentaje, se calcula mediante:

$$Grasa (\%) = \frac{\text{peso final pocillo} - \text{peso inicial pocillo}}{\text{peso de la muestra}} \times 100$$

Donde:

Peso final pocillo esta expresado en gramos (g).

Peso inicial del pocillo expresado en gramos (g).

Peso de la muestra expresado en gramos (g).

3.2.3 Determinación del contenido en proteína de los frutos

Para la determinación del contenido en proteína se pesan 0,5 g aproximadamente del fruto seco y triturado, y se introduce en el tubo especial de digestión, se añaden 4 g de la mezcla de catalizadores y 10 mL de la mezcla de ácidos, colocándolo en el bloque digestor a 420 °C (AOAC 984.13).

Al cabo de los 30 minutos de digestión, se dejan enfriar durante 10 minutos, se añaden con precaución 50 mL de agua destilada a cada tubo, se coloca el tubo de digestión en la unidad de destilación, junto con un Erlenmeyer de 250 mL, con 15 mL de la mezcla de ácido bórico + indicador y una vez recogidos de 100 a 125 mL de destilado, se valora con H₂SO₄ 0,05 N, hasta el viraje de verde a rojo pálido. Se realizará una prueba en blanco, efectuando la digestión sin poner muestra y continuando con una posterior destilación y valoración. El nitrógeno total se expresa en tanto por cien sobre la materia seca, y se calcula por la fórmula:

$$N_{TOTAL}(\%) = \frac{(V_m - V_b) \times f \times N \times 100}{mg} \quad 14$$

Donde:

V_m: volumen de H₂SO₄ (mL) gastados en la valoración de la muestra.

V_b: volumen de H₂SO₄ (mL) en la valoración del blanco.

F: factor de normalización del H₂SO₄.

N: concentración normal del H₂SO₄.

mg: peso (mg) de la muestra.

Para la determinación de la proteína bruta se multiplica en contenido en nitrógeno total por el factor de 6,25.

3.2.4 Determinación del contenido en fibra de los frutos

Para la determinación se introduce H_2SO_4 0,13 M hasta el volumen indicado en la jarra y se lleva a ebullición. Las muestras debidamente pesadas y encapsuladas se colocan en el depósito-carrusel y se llevan a ebullición durante 30 minutos con el ácido, tapando con el condensador y conectando la refrigeración. Transcurrido el tiempo se saca el carrusel, se deja drenar el líquido de las cápsulas y se vacía el líquido de la jarra, para llenarla con H_2O a 80 °C y lavar las cápsulas tres veces, cambiando el agua en cada una. El último paso de esta extracción consiste en secar las cápsulas a 105 °C durante 30 minutos y posteriormente dejar enfriar en el desecador.

El segundo paso consiste en una extracción básica con KOH 0,23 M, que se lleva a cabo de forma idéntica al primer paso, pero sustituyendo el ácido por la disolución de KOH, y al final se realizan dos lavados con agua caliente, un lavado con HCl 0,5 M y un último lavado con agua caliente.

El tercer paso consiste en el desengrasado final. Para ello, en un baño de entre 120 y 360 mL de acetona, se introduce durante 30 segundos, el soporte con todas las cápsulas, hasta que estas queden totalmente sumergidas e impregnadas de la acetona. Transcurrido el tiempo, se saca el soporte con las muestras y se deja drenar el excedente de acetona.

El último paso es el secado y calcinado de las muestras. Para ello se introducen las cápsulas y los crisoles en estufa a 130 °C durante 2 horas y posteriormente se dejan enfriar en el desecador. Se pesan las cápsulas y los crisoles y se introducen en la mufla a 600 °C durante 4 horas (AOAC 991.43). Transcurrido el tiempo se dejan enfriar en el desecador y se pesan las cenizas resultantes. El contenido en fibra se expresa en porcentaje sobre la materia seca, y se calcula por la fórmula:

$$FB(\%) = \frac{W3 - (W1 \times C) - (W5 - W4 - D)}{W2} \times 100$$

Donde:

W1: peso (mg) de la cápsula vacía previamente secada y enfriada.

W2: peso (mg) de la muestra del fruto pulverizada.

W3: peso (mg) de las cápsulas con la muestra digerida y secada.

W4: peso (mg) del crisol vacío y secado.

W5: peso (mg) del crisol con las cenizas de la cápsula y la muestra.

C: valor del blanco.

D: peso (mg) de las cenizas del blanco.

3.2.5 Determinación del contenido mineral total de los frutos

Para la determinación del contenido en cenizas o minerales totales hay que realizar una destrucción de la materia orgánica por incineración en mufla a 450 °C (AOAC 923.03).

En el procedimiento se pesan con exactitud aproximadamente 2 g de la muestra seca y molida y se deposita en el crisol de porcelana previamente tarado. Se introduce en la mufla fría y se eleva la temperatura a 450 °C, manteniéndose durante dos horas. A continuación, se deja enfriar, observando que las cenizas obtenidas son generalmente claras.

El contenido mineral total, representado por la concentración en cenizas, se determina por la siguiente fórmula, expresando el resultado en porcentaje de cenizas sobre material vegetal seco:

$$\text{Cenizas (\%)} = \frac{P1 - P2}{P} \times 100$$

Donde:

P1: peso (g) del crisol con las cenizas.

P2: peso (g) del crisol vacío.

P: peso (g) de la muestra del fruto.

Las cenizas se emplean para determinar la concentración de los minerales individuales. Para ello, se humedecen las cenizas con 2 o 3 mL de agua destilada y 2 mL de ácido clorhídrico concentrado, agregándolo lentamente. Se calienta sobre placa calefactora a unos 40 °C, 5 minutos o hasta la aparición de los primeros vapores y se le añaden de 2 a 3 mL de agua destilada. Por último, se filtra con filtro exento de cenizas, enjuagando el crisol tres o cuatro veces con agua templada y se enrasa con agua destilada, en matraz de 100 mL.

3.2.6 Determinación del contenido en hidratos de carbono de los frutos

La determinación de los carbohidratos se realiza por equivalencia con el extracto libre de nitrógeno (ELN). El ELN de un alimento se determina por diferencia porcentual entre el peso de la muestra y la suma de los porcentajes de grasa, fibra, proteína y el contenido en cenizas, mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Hidratos de carbono (\%)} = 100 - [\text{cenizas (\%)} + \text{fibra(\%)} + \text{grasa(\%)} + \text{proteína(\%)}]$$

3.2.7 Determinación del pH de los frutos

El análisis se realizó de acuerdo con el método de la AOAC de análisis de pH por inmersión (AOAC, 2000).

Para la medición de los frutos, se homogeneizó la fruta con una licuadora. De esta forma se mide el pH del jugo obtenido con el electrodo mediante inmersión.

3.2.8 Determinación de los sólidos solubles de los frutos

Se determinó el contenido de sólidos solubles totales de cada muestra, utilizando un refractómetro de mano con un rango de 0-32 °Brix, realizando cada medición por duplicado. Este análisis se realizó de acuerdo con el método refractométrico (AOAC, 2000). Los resultados se expresan en °Brix a la temperatura de 20 °C.

3.2.9 Determinación de la vitamina C de los frutos

La determinación de ácido ascórbico o vitamina C se basa en una valoración potenciométrica empleando cloramina-T como valorante. El equipo utilizado en esta determinación es el valorador automático Metrohm (Titrino 702), con electrodo combinado de platino Metrohm 6.0420.100. Por otra parte, las disoluciones utilizadas son, la disolución acuosa de cloramina-T 0,005 M, disolución de H₂SO₄ 2 M y disolución patrón de ácido ascórbico de 2,5 mg/L.

Para la calibración se emplean 50 mL de agua destilada y se añaden 2 mL de la disolución de H₂SO₄ 2 M y 2 mL de la disolución patrón de ácido ascórbico. A continuación, se añaden 100 mg de KI sólido y se agita hasta que se disuelva completamente. Se sumerge el electrodo y el extremo de la bureta en la disolución. La valoración se para automáticamente al detectar el punto final de la misma.

Para la determinación de la vitamina C de las muestras, se procede de forma idéntica, con 20 mL de zumo de frutos, añadiendo el H₂SO₄ y resto de reactivos. Los resultados se expresan en mg de ácido ascórbico (AA) en 100 g de fruto fresco.

3.2.10 Determinación de la acidez total de los frutos

Para determinar la acidez total titulable se aplicó el método del AOAC. El análisis para determinar la acidez se realizó con la muestra diluida 1:1 en peso de jugo de azufaifo y agua destilada. La determinación se hizo por titulación NaOH 0,1N , se transfirieron 10 ml de la muestra a un matraz Erlenmeyer y se adicionó 4 gotas de solución fenolftaleína. Posteriormente se titulo la muestra hasta que se mantuvo el color rosa por un minutos. La acidez titulable se expresó como el porcentaje de acido málico. Los análisis se realizaron por duplicado. La acidez por medio de la ecuación:

$$Acidez (\%) = \frac{V_{NaOH} \times N_{NaOH} \times Meq_{ácidoX} \times 100}{V}$$

Donde:

V_{NaOH}: Volumen (mL) de NaOH utilizado para la titulación

N_{NaOH}: Normalidad de NaOH

Meq_{ácidoX}: Valores equivalentes de base para el ácido málico es 0,067.

V: Volumen total (mL).

3.2.11 Determinación azúcares totales en los frutos

Se pesó 30 g de los frutos junto con 75 mL de agua destilada, dejando agitar por 1 h sobre una placa agitadora. Luego se filtró y se aforó a 100 mL. Para la cuantificación se tomó 1,25 mL de muestra y se colocó en un baño de hielo, se adicionó 2,5 mL de reactivo de antrona, se agitó y colocaron los tubos en un baño de agua a ebullición por 10 minutos. Por último, se colocaron

los tubos en un baño de hielo por 10 minutos, se agitó y se procedió a leer la absorbancia a 625 nm.

3.2.12 Determinación sacarosa, glucosa y fructosa en los frutos

Para determinar el contenido de D-glucosa y D-fructosa se utiliza un kit enzimático. El fundamento del método se basa en la fosforilación y posterior oxidación enzimática de la fructosa y glucosa, con la consecuente producción de NADPH, el cual se determina mediante espectrofotometría. Para ello, las muestras fueron preparadas conforme a las instrucciones del fabricante, siguiendo el procedimiento del ensayo de microplacas y para la lectura de las absorbancias se tomaron 2µL de la muestra. El protocolo utilizado se ajusta a las instrucciones del fabricante.

La determinación de la sacarosa se realiza previa hidrólisis con CIH y en caliente. La sacarosa se hidroliza, es decir, incorpora una molécula de agua y se descompone en los monosacáridos que la forman, glucosa y fructosa, que se determinan enzimáticamente.

3.2.13 Determinación del contenido en sodio y potasio de los frutos

El principio de esta determinación se basa en la emisión espectral del sodio y potasio que se mide a 590 nm para el sodio y 760 nm para el potasio en fotómetro de llama, comparándose las lecturas obtenidas con las de la curva patrón. La preparación de las curvas de calibrado se realiza con unos patrones de 0, 1, 2, 3, 4, 5 y 6 mg L⁻¹ de K, partiendo de la disolución de 100 mg L⁻¹ de K y patrones de 0, 1, 2, 3, 4, 5 a 6 mg L⁻¹ de Na, partiendo de la disolución patrón de 10 mg L⁻¹ de Na, enrasándolos con HCl al 2 %. Se efectúan así las lecturas fotométricas según se indica en las instrucciones del fotómetro equipado con llama de aire-butano, midiendo la señal de los puntos de la curva de calibrado y por comparación la concentración de la muestra. Por último, se llevan las lecturas obtenidas sobre la curva de calibrado y se expresan los contenidos en mg sobre 100 g del fruto fresco, teniendo en cuenta las disoluciones efectuadas.

3.2.14 Determinación del contenido en fósforo de los frutos

Para la determinación del fósforo se emplea la muestra ácida mineralizada, donde con la presencia de iones V⁵⁺ y Mo⁶⁺, el ácido fosfórico da un complejo amarillo de fosfomolibdovanadato, cuya absorbancia se mide espectrofotométricamente a una longitud de onda de 430 nm. El procedimiento consiste en introducir un volumen de 5 mL de la disolución mineralizada de los frutos en un matraz de 25 mL, se añaden 5 mL de reactivo nitrovanadomolibdico y se enrasa con agua destilada. Se realiza una curva de calibrado de 0, 2, 4, 6, 8, 10, 12 mg L⁻¹ de fósforo, partiendo de la disolución de 20 mg L⁻¹, añadiendo los volúmenes correspondientes de patrón a cada aforado y agregando a cada uno 5 mL de nitrovanadomolibdico, aforando por último con agua destilada a 25 mL. Los diferentes matraces aforados se dejan reposar una hora y transcurrida dicha hora se procede a leer en el

espectrofotómetro UV/V, midiendo la absorbancia a una longitud de onda de 430 nm. Se realiza también la determinación en el ensayo en blanco y de la curva de calibrado.

La absorbancia para la muestra se interpola en la ecuación de la recta de calibrado y se obtiene la concentración de P en mg L^{-1} . A partir de aquí se expresan los resultados en mg de P/100 g de fruto.

3.2.15 Determinación del contenido en calcio y magnesio de los frutos

La determinación del calcio y magnesio en el fruto se realiza por espectrofotometría de absorción atómica. Para la determinación del magnesio se debe preparar diluciones de las muestras, para ello se toman 0,25 mL de la muestra mineralizada y se introducen en un matraz aforado de 25 mL, aforando con HCl al 2 %. Para la determinación del calcio también se preparan diluciones de las muestras, para ello se toman 0,25 mL de la muestra mineralizada problema y se introducen en un matraz aforado de 25 mL. Se añaden 1,35 mL de lantano al 5 % y por último se afora con HCl 2 %.

Se efectúan las lecturas espectrofotométricas de las muestras mineralizadas de fruto según se indica en las instrucciones del espectrofotómetro, se mide la señal de los puntos de la curva de calibrado y por comparación la concentración de la muestra, a la longitud de onda fijada. La absorbancia para la muestra se interpola en la ecuación de la recta de calibrado y se expresa el contenido en mg de magnesio o calcio, sobre 100 g de fruto, teniendo en cuenta las diluciones efectuadas.

3.2.16 Determinación del contenido en hierro, cobre y zinc de los frutos

El método se basa en la medida de la absorción del átomo de hierro, cobre y zinc, que se mide a 248,3; 324,8 y 213,9 nm, respectivamente; en un equipo de absorción atómica, comparándose las lecturas de las muestras mineralizadas, con las de la curva patrón.

Para realizar los cálculos se llevan las lecturas obtenidas sobre la curva de calibrado y se expresa el contenido de hierro, cobre y zinc en mg sobre 100 g de materia fresca.

3.2.17 Determinación del contenido de polifenoles de los frutos

El conjunto de los compuestos fenólicos presentes en los frutos se oxida por el reactivo de Folin-Ciocalteu. Este último está constituido por una mezcla de ácido fosfotúngstico ($\text{H}_3\text{PW}_{12}\text{O}_{40}$) y ácido fosfomolibdico ($\text{H}_3\text{PMo}_{12}\text{O}_{40}$) que se reduce por la acción de los fenoles, en medio básico. El producto resultante se mide espectrofotométricamente a una $\lambda=725$ nm.

El procedimiento consiste en introducir en un matraz de 50 mL, 35 mL de agua destilada y a continuación 5 mL del extracto del fruto, se añaden 2,5 mL del reactivo Folin-Ciocalteu, se homogeneiza y se deja en reposo durante tres minutos. A continuación, se añaden 5 mL de NaOH al 6 %, se enrasa con agua destilada y se homogeniza. La absorbancia se mide después de una hora a 725 nm, frente a un blanco, y la curva correspondiente que se prepara a partir de

una disolución madre de 1000 mg L⁻¹ de ácido gálico, siguiendo el mismo procedimiento que para la preparación de las muestras en los patrones de 50, 100, 200, 300 y 400 µg/50 mL.

3.2.18 Determinación de la capacidad antioxidante de los frutos

La determinación de la actividad antioxidante total en la fruta se realizó según el método de Brand-Williams *et al.* (1995), con la modificación de Moura *et al.* (2007), basado en la captura del radical libre DPPH. La extracción de la muestra se llevó a cabo pesando aproximadamente 0,150 g de fruto que se introducen en tubos Falcon de 10 mL a los que se añaden 5 mL de metanol al 50 %, y se lleva a agitación durante una hora y posteriormente se centrifuga durante 20 min a 1600 rpm. El sobrenadante de cada tubo se guarda en aforados individuales de 10 mL en oscuridad para evitar oxidaciones. Se realiza una segunda extracción añadiendo 5 mL de acetona al 70 % a los sólidos que quedan en cada tubo y se llevan a agitación durante una hora y centrifugación durante 20 minutos. Se filtra la segunda extracción y se enrasa con agua destilada. Inmediatamente antes del análisis se preparó una curva patrón de Trolox en etanol desde 0 a 1,8 mM. Las medidas se realizaron a la absorbancia de 515 nm mediante espectrofotometría UV/V transcurrido un minuto desde la introducción de la cubeta conteniendo 0,1 mL de patrón o muestra y 3,9 mL de disolución DPPH. La actividad antioxidante total de la muestra se obtiene a partir de la absorbancia, extrapolando el resultado en la curva DPPH-absorbancia y se expresa como µM Trolox Equivalent (TE) por gramos de materia fresca.

3.2.19 Determinación del color de los frutos

Para la determinación del color de los frutos se ha empleado el espacio de color CIELAB, obteniendo unas coordenadas L*a*b*. Este consiste en un sistema cartesiano formado por tres ejes, correspondientes a las coordenadas mencionadas anteriormente (Chiralt *et al.*, 2007).

Donde:

L*: es un eje vertical que representa la luminosidad del color.

a*: es un eje horizontal que representa la cantidad de rojo o verde.

b*: es otro eje horizontal que representa la cantidad de amarillo o azul.

A partir de estos valores se pueden obtener los valores de h* (hue) tono o matiz y C* croma mediante las siguientes fórmulas.

$$h^* = \arctg \frac{b^*}{a^*}$$
$$C^* = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}}$$

Donde:

h*: el ángulo que mide la tonalidad del color.

C*: la saturación o croma del color.

Para la toma de valores de las coordenadas de los frutos se ha utilizado colorímetro MINOLTA CR-300, utilizando como sistema de coordenadas el sistema Hunter.

3.2.20 Determinación de parámetros físicos de los frutos

La determinación de los parámetros morfológicos de los frutos como peso unitario, altura (H), diámetro (D), volumen (V), diámetro medio geométrico (Dg), grado de esfericidad (ϕ) y el área superficial (S) del fruto.

Los pesos de los frutos se midieron con una balanza analítica (CB-Junior, Cobos) con una precisión de $\pm 0,01$ g. Las dimensiones de la fruta se midieron utilizando un calibrador deslizante digital electrónico (modelo CD-15 DC; Mitutoyo Ltd, Telford, UK) con una precisión de 0,01 mm.

El volumen de la fruta se ha calculado utilizando la fórmula adaptada de una esfera:

$$V = \frac{3}{2} * \pi * \left(\frac{H}{2} + \frac{D}{2} \right) * D^2$$

El diámetro medio geométrico del fruto se calculó mediante la fórmula $D_g = (HD^2)^{1/3}$, el grado de esfericidad se calcula como $\phi = D_g/H$ y el área superficial (S) del fruto se calculó mediante la fórmula $S = \pi D_g^2$ (Mohsenin, 1986).

Para la determinación de los parámetros morfológicos se han tomado las medidas de 10 frutos de cada grupo.

3.2.21 Tratamiento de datos

El estudio de los resultados se ha realizado por un análisis de la varianza simple, mediante el test-F, para determinar si hay diferencias significativas entre los valores promedio. Si el valor-P de la prueba-F es menor que 0,05, existirán diferencias estadísticamente significativas entre las variables, con un nivel del 5 % de significación. Las pruebas de rangos múltiples indicarán qué medias son significativamente diferentes, al tener letras diferentes. También se incluyen la desviación estándar y el coeficiente de variación.

El contraste de los resultados se realiza comparando los valores obtenidos para los diferentes grupos de fruto estudiados y frente a los valores publicados en tablas de composición de alimentos. Para algunos casos específicos se ha contrastado con los resultados publicados por Gao *et al.* (2011), para el caso de los azúcares totales, acidez total, sólidos solubles, vitamina C y antioxidantes, con los valores publicados por Li *et al.* (2007) para los polifenoles y para los parámetros de glucosa, sacarosa y fructosa con los publicados por Zhang *et al.* (2020).

El estudio de relaciones tiene como objetivo analizar en su totalidad, las relaciones entre los diferentes parámetros de calidad físico-química de los frutos. La finalidad de este análisis es establecer relaciones simples, mediante una regresión simple entre las variables, entre todos los parámetros y determinar las influencias más significativas, tanto de manera positiva como negativa.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 RESULTADOS DESCRIPTIVOS

En este apartado se realiza un análisis simple ANOVA de los diferentes parámetros analizados en los tres frutos. Con este estudio se tiene como objetivo evaluar de manera individual cada uno de los parámetros analizados en las tres muestras (azufaifo cultivado pequeño, ACP; azufaifo cultivado grande, ACG; y el azufaifo silvestre, AS) y la relación entre ellas.

4.1.1 Evaluación de los resultados de componentes nutricionales

La tabla 1 muestra los valores promedio y su error estándar, junto al coeficiente de variabilidad (%) y el valor del estadístico p, para los parámetros de la composición proximal y del valor calórico de los frutos de azufaifo en función de los tres tipos de procedencias.

Tabla 1. Valores promedios de la composición proximal, \pm error estándar, coeficiente de variación y p-valor, para los frutos de azufaifo (n=3).

| | Cultivares | | | | | | p-valor |
|--------------------------------|---------------------------------|--------|---------------------------------|--------|---------------------------------|--------|---------|
| | ACP | | ACG | | AS | | |
| | Promedio* \pm error estándar | CV (%) | Promedio \pm error estándar | CV (%) | Promedio \pm error estándar | CV (%) | |
| Humedad (%) | 59,50 ^c \pm 0,006 | 0,009 | 76,76 ^a \pm 1,225 | 1,59 | 73,39 ^b \pm 0,135 | 0,18 | 0,0000 |
| Materia seca (%) | 40,50 ^a \pm 0,006 | 0,014 | 23,24 ^c \pm 1,225 | 5,27 | 26,61 ^b \pm 0,135 | 0,51 | 0,0000 |
| Cenizas (%) | 1,08 ^a \pm 0,047 | 4,403 | 0,44 ^b \pm 0,036 | 8,25 | 0,51 ^b \pm 0,034 | 6,57 | 0,0000 |
| Fibra (%) | 1,21 ^a \pm 0,332 | 27,388 | 0,91 ^a \pm 0,076 | 8,29 | 1,02 ^a \pm 0,229 | 22,57 | 0,3486 |
| Grasa (%) | 0,02 ^b \pm 0,008 | 34,510 | 0,04 ^a \pm 0,006 | 13,68 | 0,03 ^b \pm 0,002 | 7,07 | 0,0122 |
| Proteína (%) | 0,40 ^a \pm 0,0012 | 0,262 | 0,29 ^b \pm 0,029 | 10,09 | 0,26 ^b \pm 0,007 | 2,67 | 0,0000 |
| Hidratos de carbono (%) | 37,74 ^a \pm 0,271 | 0,720 | 21,55 ^c \pm 1,278 | 5,93 | 24,79 ^b \pm 0,356 | 1,44 | 0,0000 |
| Energía (kcal/100 g) | 152,93 ^a \pm 1,160 | 0,760 | 87,78 ^c \pm 4,9963 | 5,69 | 113,74 ^b \pm 1,473 | 1,47 | 0,0000 |

*Letras idénticas indican que no existen diferencias estadísticamente significativas con un nivel del 5 % de significación, para el mismo parámetro.

El contenido en humedad de los frutos varía entre el 59,5 % para los frutos de azufaifo de menor calibre y el 76,76 % para los frutos de azufaifo de calibre grande bajo condiciones de cultivo. Los frutos de azufaifo de mayor calibre son los que presentan la pulpa con mayor contenido en agua, existiendo diferencias estadísticas entre sus contenidos y el resto de los niveles de los frutos estudiados. La humedad de los frutos de azufaifo pequeños son los que presentan los niveles de humedad significativamente más bajos. Algunos autores han registrado niveles promedio de humedad en los frutos de azufaifo del 83 % (Menchú *et al.*, 2000), mientras que otros autores aportan mayor variabilidad en los resultados, registrando valores que oscilan desde el 64,7 % y el 81,4 %, en función de la variabilidad morfológica de 10 tipos de frutos (Gao *et al.*, 2012a). En otro estudio de Gao *et al.* (2011) se encontró variación en el contenido de agua del fruto en función del cultivar estudiado (78 % y 83 %). Los frutos de mayor contenido en agua, coincidentes también con los de mayor calibre podrían ser interesantes para la industria de

bebidas para la obtención de zumo de azofaifo y también pueden ser especialmente útiles en el desarrollo de cultivares con mayor potencial agronómico.

Los valores de materia seca son inversos a los contenidos en humedad, de forma que los frutos de mayor calibre son los de menor contenido en materia seca con diferencias significativas entre ellos y con diferencias frente a los niveles de materia seca de los frutos de menor calibre.

El contenido porcentual de las cenizas informa de la concentración de los niveles en minerales totales que presentan los frutos de azofaifo. Se observa que existen diferencias estadísticamente significativas entre los niveles de minerales totales, siendo los frutos de calibre pequeño los que presentan las mayores concentraciones en minerales totales con diferencias frente a los contenidos del resto de los frutos, 0,44 % (frutos de mayor calibre) y 0,51 % (frutos silvestres). La referencia bibliográfica (Menchú *et al.*, 2000) informa sobre niveles de cenizas del 0,5 % en frutos de azofaifo. Valores similares a los que muestran los frutos de mayor calibre del presente trabajo.

La fibra alimentaria está formada por un grupo de componentes de las plantas, como polisacáridos y lignina, los cuales son resistentes a las enzimas durante la digestión humana. El contenido en fibra es mayor en los frutos de azofaifo de calibre pequeño, aunque las diferencias encontradas no son estadísticamente significativas. Los registros de Menchú *et al.* (2000) muestran niveles en fibra en los frutos de azofaifo de 1,5 %.

Los frutos de azofaifo se caracterizan por presentar un bajo nivel de grasa. Los valores bibliográficos de este nutriente reportan registros de 0,1 % (Menchú *et al.*, 2000), aunque los niveles de grasa obtenidos en el presente estudio han sido inferiores a este registro. Los frutos de mayor calibre y de cultivo son los que presentan mayor nivel de grasa con diferencias frente a los contenidos en grasa que presentan los frutos de menor calibre y los silvestres.

El contenido en proteínas de los frutos de azofaifo es bajo, siendo el cultivar de frutos de pequeño calibre, el que genera los frutos más proteicos, con valores promedio de 0,40 %, mientras que los frutos silvestres son los de menor concentración en proteína con un 0,26 %. Los resultados encontrados en la bibliografía sobre el contenido en proteína de los frutos de azofaifo son del 1,5 % (Menchú *et al.*, 2000). Teniendo en cuenta la estrecha relación entre el nitrógeno fertilizante y/o fuentes de materia orgánica y los niveles de proteína del material vegetal, es posible que las diferencias encontradas entre los registros bibliográficos y los del presente estudio, sean debidas a los bajos inputs en fertilización recibidos.

Los hidratos de carbono son los nutrientes mayoritarios en los frutos de azofaifo, oscilando los niveles entre el 21,5 % para los frutos de mayor calibre y de cultivo y el 37,7 % para los frutos de pequeño calibre. El contenido en hidratos de carbono de los frutos de mayor calibre difiere

estadísticamente de los contenidos obtenidos para el resto de los frutos. Menchú *et al.* (2000) reportan valores de hidratos de carbono del 20 %.

Los bajos valores de grasa, proteína e hidratos de carbono hacen que los frutos de azofaifo sean alimentos de bajo valor calórico y apropiados para llevar una ingesta saludable y recomendables para dietas de bajo nivel calórico. Los frutos procedentes de árboles de cultivo y de mayor calibre son los de menor contenido en materia seca y por lógica los de menor valor energético (87,78 kcal por cada 100 g de fruto fresco), existiendo diferencias significativas entre todos los frutos atendiendo a sus valores energéticos. Los registros de FAO (2012) para frutos de azofaifo procedentes del oeste de África aportan valores de energía para 100 g de frutos frescos de 91 kcal. Las diferencias existentes pueden ser debidas a la variabilidad en el contenido en agua y resto de nutrientes calóricos de los frutos.

Pareek (2013) recopila información nutricional de frutos de azofaifo y en general, indica que los frutos contienen entre 81-83 % de humedad, 17,0 % de carbohidratos, 0,8 % de proteínas, 0,07 % de grasas, entre 0,3-0,59 de cenizas y aproximadamente 0,6 g/100 g de fibra, proporcionando un poder calorífico de 104 kcal por cada 100 g de fruto fresco. Li *et al.* (2007) tipifican la composición proximal de cinco cultivares chinos de frutos de azofaifo y encuentran variabilidad de los resultados. En todos los casos, con ligeras desviaciones son debidas a las diferencias entre cultivares y sistemas de producción.

4.1.2 Evaluación de los resultados de parámetros químicos de acidez y azúcares

La tabla 2 muestra los valores promedio y su error estándar, junto al coeficiente de variabilidad (%) y el valor del estadístico p, de los parámetros químicos relacionados con la acidez (acidez total y pH) y el contenido en azúcares (contenido en sólidos solubles, azúcares totales y los valores individuales del contenido en glucosa, fructosa y sacarosa), de los frutos de azofaifo en función de los tres tipos de procedencias.

Tabla 2. Valores promedios de los parámetros químicos de acidez y azúcares, \pm error estándar, coeficiente de variación y p-valor, para los frutos de azofaifo (n=3)

| | Cultivares | | | | | | p-valor |
|--|--------------------------------|--------|--------------------------------|--------|--------------------------------|--------|---------|
| | ACP | | ACG | | AS | | |
| | Promedio* \pm error estándar | CV (%) | Promedio \pm error estándar | CV (%) | Promedio \pm error estándar | CV (%) | |
| pH | 3,83 ^a \pm 0,021 | 0,54 | 4,33 ^a \pm 0,089 | 2,07 | 4,07 ^a \pm 0,378 | 9,29 | 0,0931 |
| Acidez total (g cítrico/100 g) | 1,04 ^a \pm 0,117 | 11,22 | 0,23 ^b \pm 0,063 | 26,90 | 0,43 ^b \pm 0,145 | 33,45 | 0,0003 |
| Sólidos solubles (^oBrix) | 31,02 ^a \pm 0,161 | 0,52 | 23,27 ^b \pm 0,416 | 1,79 | 22,10 ^c \pm 0,265 | 1,20 | 0,0000 |
| Azúcares totales (g/100 g) | 5,30 ^a \pm 1,510 | 28,54 | 4,16 ^a \pm 2,650 | 63,62 | 5,32 ^a \pm 2,21 | 41,58 | 0,7661 |
| Glucosa (g/100 g) | 3,35 ^a \pm 0,920 | 27,39 | 2,35 ^a \pm 1,450 | 61,89 | 3,28 ^a \pm 1,57 | 48,02 | 0,6207 |
| Fructosa (g/100 g) | 0,63 ^a \pm 0,630 | 99,95 | 0,43 ^a \pm 0,067 | 15,49 | 0,81 ^a \pm 0,53 | 64,97 | 0,6417 |
| Sacarosa (g/100 g) | 0,97 ^a \pm 1,110 | 115,09 | 1,38 ^a \pm 1,220 | 88,04 | 1,22 ^a \pm 0,27 | 21,80 | 0,8711 |

*Letras idénticas indican que no existen diferencias estadísticamente significativas con un nivel del 5 % de significación, para el mismo parámetro.

Los valores del pH de la pulpa de azufaifo de los frutos estudiados son relativamente estables con bajos valores del coeficiente de variabilidad. No se encuentran diferencias estadísticamente significativas entre los valores del pH de los frutos, oscilando desde el valor más bajo de pH=3,83 para los frutos de calibre pequeño, hasta pH=4,33 para los frutos de mayor calibre y de cultivo. Los valores bajos de pH se corresponden con altos niveles de acidez total, expresados en ácido cítrico. Para la acidez total se han encontrado diferencias estadísticamente significativas, siendo los frutos de calibre pequeños los de mayor acidez y con diferencias frente al resto de frutos estudiados. La bibliografía proporciona datos variables en cuanto al contenido en acidez total valorable, oscilando entre los 0,196 g cítrico/100 g (Gao *et al.*, 2012a) o los 0,55 g cítrico/100 g (Hernandez *et al.*, 2005, intervalos que incluyen los valores encontrados en este trabajo).

Los niveles de sólidos solubles de los frutos de azufaifo oscilan entre los 22,10 °Brix, para los frutos silvestres y los 31,02 °Brix de los frutos procedentes de cultivo y de calibre grande. Existen diferencias significativas entre los contenidos de sólidos solubles, de forma que los sólidos solubles de los frutos silvestres difieren de los encontrados en los frutos de mayor calibre y a su vez, esos difieren de los sólidos solubles de los frutos de pequeño calibre. Los resultados obtenidos para los tres frutos son superiores a los registrados en bibliografía, 23 °Brix (Gao *et al.*, 2011; 2012a) y de 14,6 a 18,4 °Brix para frutos del levante español clasificados por calibre (Hernández *et al.*, 2016).

Los contenidos en azúcares totales han presentado gran variabilidad de los contenidos, sin encontrarse diferencias estadísticas entre las concentraciones. Destacan los frutos silvestres y los de calibre pequeño como los de mayores concentraciones en azúcares totales, cuyas concentraciones son similares a las detectadas por Gao *et al.* (2011; 2012a).

No se han encontrado diferencias estadísticamente significativas entre los niveles de azúcares individuales, existiendo una alta variabilidad en los resultados, posiblemente debido a la metodología empleada en el análisis. Los niveles de fructosa han oscilado entre 0,43 g/100 g (ACG) y 0,81 g/100 g de los frutos silvestres. Los contenidos de glucosa han oscilado entre 2,35 g/100 g (ACG) y 3,35 g/100 g (ACP) y, finalmente, los contenidos de sacarosa han oscilado entre 0,97 g/100 g (ACP) y 1,38 g/100 g (ACG). La glucosa y la sacarosa han sido los azúcares predominantes en los tres tipos de frutos analizados, seguidos de la fructosa. Este perfil coincide con el encontrado en una colección de frutos chinos (Gao *et al.*, 2012a), y difiere al encontrado por otros autores (Li *et al.*, 2007; Wu *et al.*, 2012; Hernández *et al.*, 2016) donde la fructosa es uno de los azúcares mayoritarios. El contenido de glucosa y sacarosa en los frutos estudiados ha sido similar a los valores reportados por Gao *et al.* (2012a) y Hernández *et al.* (2016), mientras que el contenido de fructosa ha sido menor. La percepción de dulzura en las frutas de azufaifo probablemente se deba a la prevalencia de fructosa (Gao *et al.*, 2012b) incluso entre

los cultivares según sus hábitats. Para algunos investigadores, la divergencia observada en los contenidos de azúcar podría deberse a diferentes condiciones agroclimáticas (Li *et al.*, 2007), mientras que otros piensan que el genotipo influye principalmente en los perfiles de azúcares y ácidos orgánicos en las frutas.

4.1.3 Evaluación de los resultados de sustancias antioxidantes y bioactivas

La tabla 3 muestra los valores promedio y su error estándar, junto al coeficiente de variabilidad (%) y el valor del estadístico p, de sustancias antioxidantes y bioactivas (capacidad antioxidante total, polifenoles totales y vitamina C), de los frutos de azofaifo en función de los tres tipos de procedencias.

Tabla 3. Valores promedios de las sustancias antioxidantes y bioactivas, \pm error estándar, coeficiente de variación y p-valor, para los frutos de azofaifo (n=3)

| | Cultivares | | | | | | p-valor |
|--|-----------------------------------|--------|----------------------------------|--------|-----------------------------------|--------|---------|
| | ACP | | ACG | | AS | | |
| | Promedio* \pm error estándar | CV (%) | Promedio \pm error estándar | CV (%) | Promedio \pm error estándar | CV (%) | |
| Capacidad antioxidante total μmoles (ET/g) | 241,31 ^{ab} \pm 18,000 | 7,46 | 213,74 ^b \pm 7,850 | 3,67 | 243,14 ^a \pm 15,570 | 6,40 | 0,0827 |
| Polifenoles (mg ácido gálico/100 g) | 630,81 ^a \pm 33,840 | 5,37 | 480,83 ^b \pm 83,570 | 17,38 | 520,71 ^{ab} \pm 49,250 | 9,46 | 0,050 |
| Vitamina C (mg/100 g) | 441,13 ^a \pm 31,564 | 7,16 | 286,10 ^b \pm 17,620 | 6,16 | 303,06 ^b \pm 16,01 | 5,28 | 0,0003 |

*Letras idénticas indican que no existen diferencias estadísticamente significativas con un nivel del 5 % de significación, para el mismo parámetro.

Las concentraciones de vitamina C de los frutos de azofaifo oscilan entre 286,1 mg (ACG) y los 441,1 mg (ACP) por cada 100 g de fruto fresco, siendo los frutos pequeños los que concentran significativamente mayores concentraciones de esta vitamina. Otros autores han encontrado valores similares, como los 315 mg/100 g (Gao *et al.*, 2011; 2012a) y los rangos de entre 192-359 mg encontrados por Li *et al.* (2007).

Los frutos de azofaifo estudiados son una buena fuente de vitamina C para la dieta y la identificación de nuevas fuentes de vitamina C es de gran interés para la salud pública. La vitamina C está presente en muchas frutas y por sus características antioxidantes juega un importante papel en la supresión de los radicales libres (Zhang *et al.*, 2010). En promedio, una porción de 20 g, es decir, una pieza de fruta del calibre pequeño podría aportar las necesidades diarias de vitamina C de un adulto. El valor de vitamina C de los tres frutos supera el valor de 160 mg/100 g por lo que se puede clasificar como un alimento de "alto contenido en vitamina C", dándole un gran valor vitamínico al fruto y mayor importancia para el consumidor (Reglamento CE nº 1924/2006, Reglamento UE nº 116/2010).

La capacidad antioxidante total de los frutos de azofaifo oscila entre 213,1 (ACG) hasta los 243,14 (AS) μ moles de Trolox equivalente por cada 1 g de fruta fresca, observándose diferencias estadísticamente significativas entre los valores del fruto grande cultivado y los frutos silvestres.

Los valores de polifenoles totales han mostrado variabilidad, y oscilan entre 480,8 (ACG) y 630,81 (ACP) mg de ácido gálico por 100 g de fruto fresco, observándose diferencias estadísticamente significativas entre los valores de ambos tipos de frutos. Algunos autores (Li et al., 2007) reportan valores de polifenoles totales similares a los obtenidos en el presente trabajo.

Los alimentos con altas cantidades de polifenoles tienen un papel relevante en la prevención de enfermedades cardiovasculares, cáncer y enfermedades neurodegenerativas (Tomás-Barberán, 2003).

La alta variación en el contenido de vitamina C y de compuestos polifenólicos podría deberse a las diferencias existentes en las condiciones de crecimiento y los niveles de madurez, entre otros factores. Así, el contenido de vitamina C de los frutos de azofaifo va aumentando hasta que el fruto alcanza la madurez fisiológica (Abbas, 1997). El contenido más alto de esta vitamina se ha encontrado a los 56 días después de la caída de los pétalos y luego de este período disminuye continuamente hasta la madurez (Lu *et al.*, 2012). En cuanto al contenido en polifenoles totales se observa un aumento entre los 40 a 48 días después de la caída de los pétalos, disminuyeron desde los 48 a los 56 días después de la caída de los pétalos, para continuar creciendo nuevamente desde los 56 y 64 días después de la caída de los pétalos y a partir de los 64 días hasta la madurez, las concentraciones disminuyen constantemente (Lu *et al.*, 2012).

4.1.4 Evaluación de los resultados de minerales individuales

Los minerales son componentes inorgánicos esenciales en la alimentación humana, ya que están relacionados estrechamente con el metabolismo, crecimiento y desarrollo. La evaluación del contenido mineral total de los frutos de azofaifo se ha realizado a partir de las cenizas y en este apartado se analizan los minerales mayoritarios.

La tabla 4 muestra los valores promedio (mg/100 g de fruto fresco) y su error estándar, junto al coeficiente de variabilidad (%) y el valor del estadístico p, del contenido mineral (sodio, potasio, magnesio, calcio, fósforo, hierro, cobre y zinc), de los frutos de azofaifo en función de los tres tipos de procedencias.

Los valores del sodio del presente estudio oscilan desde 3,92 mg (ACG) hasta 9,62 mg por cada 100 g de fruto fresco (ACP). Observándose diferencias estadísticamente significativas entre estos valores. En los tres casos se supera la concentración de 3 mg/100 g de fruto fresco del azofaifo que cita Menchú *et al.* (2000) o los niveles que sobre materia seca citan Hernández *et al.* (2016). Los valores de potasio oscilan entre 90,4 mg/100 g (ACG) y 226,18 mg/100 g de fruto fresco, existiendo diferencias estadísticamente significativas entre los tres valores promedio de los frutos. Las concentraciones son ligeramente inferiores a las reportadas por Menchú *et al.* (2000) y Hernández *et al.* (2016), excepto para el caso del azofaifo de pequeño calibre. Las

concentraciones en magnesio oscilan entre 7,5 mg (AS) y 19,66 mg (ACP) por cada 100 g de fruto fresco, siendo las diferencias estadísticamente significativas entre los valores de los frutos pequeños y el resto. Los valores de los frutos ACG y AS están por debajo de los 10 mg/100 g de fruto fresco que cita Menchú *et al.* (2000) y semejantes a los valores que indican Hernández *et al.* (2016).

Tabla 4. Valores promedios de los minerales individuales, \pm error estándar, coeficiente de variación y p-valor, para los frutos de azufaifo (n=3)

| mg/100 g | Cultivares | | | | | | p-valor |
|-----------|----------------------------------|--------|---------------------------------|--------|---------------------------------|--------|---------|
| | ACP | | ACG | | AS | | |
| | Promedio* \pm error estándar | CV (%) | Promedio \pm error estándar | CV (%) | Promedio \pm error estándar | CV (%) | |
| Na | 9,62 ^a \pm 3,08 | 32,06 | 3,92 ^b \pm 0,19 | 4,93 | 4,93 ^b \pm 1,99 | 40,36 | 0,0351 |
| K | 226,18 ^a \pm 0,69 | 0,31 | 90,42 ^c \pm 12,14 | 13,43 | 119,72 ^b \pm 7,00 | 5,85 | 0,0000 |
| Mg | 19,66 ^a \pm 2,85 | 14,5 | 8,11 ^b \pm 1,39 | 17,13 | 7,48 ^b \pm 2,04 | 27,23 | 0,0008 |
| Ca | 27,00 ^a \pm 3,80 | 14,07 | 5,60 ^b \pm 1,19 | 21,3 | 6,55 ^b \pm 1,91 | 29,18 | 0,0001 |
| P | 176,52 ^{ab} \pm 18,72 | 10,6 | 189,11 ^a \pm 16,93 | 8,95 | 148,26 ^b \pm 12,48 | 8,42 | 0,0533 |
| Fe | 0,24 ^a \pm 0,156 | 64,24 | 0,20 ^a \pm 0,148 | 73,99 | 0,13 ^a \pm 0,05 | 36,99 | 0,5951 |
| Cu | 0,03 ^a \pm 0,00 | 0 | 0,03 ^a \pm 0,006 | 21,65 | 0,013 ^b \pm 0,01 | 43,3 | 0,0110 |
| Zn | 0,12 ^a \pm 0,025 | 20,41 | 0,07 ^{ab} \pm 0,017 | 24,74 | 0,06 ^b \pm 0,04 | 60,09 | 0,0598 |

*Letras idénticas indican que no existen diferencias estadísticamente significativas con un nivel del 5 % de significación, para el mismo parámetro.

El calcio de los frutos frescos de azufaifo estudiados oscila de 5,6 mg (ACG) y 27 mg (ACP) por cada 100 g de fruto, existiendo diferencias estadísticamente significativas entre los valores de los frutos pequeños y el resto. Los valores de los frutos ACG y AS están por debajo de los 26 mg/100 g de fruto fresco que cita Menchú *et al.* (2000) y semejantes a los valores que indican Hernández *et al.* (2016). El fósforo de los frutos estudiados oscila entre 148,26 mg (AS) y 189,11 (ACG) mg por cada 100 g de fruto fresco, observándose diferencias estadísticas entre ambos valores. Los tres tipos de frutos estudiados superan el valor bibliográfico de 27 mg/100 g que cita Menchú *et al.* (2000).

Los valores de hierro estudiados en los frutos de azufaifo, oscilan entre 0,13 (AS) mg y 0,24 (ACP) mg por 100 g de fruto, sin existir diferencias estadísticamente significativas entre los niveles de hierro de los tres tipos de frutos. Los niveles son inferiores a los 0,8 mg/100 g que citan Menchú *et al.* (2000), pero similares a las concentraciones que citan Hernández *et al.* (2016) bajo condiciones mediterráneas. Las concentraciones de cobre encontradas en los frutos de este estudio oscilan entre 0,013 (AS) mg y 0,03 (ACP y ACG) mg por cada 100 g de fruto fresco, existiendo diferencias estadísticas entre ambos valores. Estas concentraciones son inferiores a los 0,07mg/100 g que citan Menchú *et al.* (2000), pero similares a las concentraciones que citan Hernández *et al.* (2016) bajo condiciones mediterráneas. Los valores del zinc encontrados en los frutos de este estudio, oscilan entre 0,06 (AS) mg y 0,12 (ACP) mg por cada 100 g de fruto fresco,

existiendo diferencias estadísticas entre ambos valores. Estas concentraciones son similares a las que citan Hernández *et al.* (2016) bajo condiciones mediterráneas.

El fósforo y el potasio son los elementos minerales más abundantes en los tres tipos de frutos, seguido por Mg y Ca, y los frutos de azufaifo que muestran mejor perfil mineral son los de calibre pequeño. Wang *et al.* (2014) y Li *et al.* (2007) también han estudiado la composición mineral de los frutos de azufaifo de diferentes procedencias, encontrando ligeras variaciones frente a las concentraciones del presente estudio. El contenido en minerales de los frutos podría verse afectado por el clima, el tipo de suelo, el momento de la cosecha, los factores genéticos, las condiciones ambientales y las técnicas agronómicas. En este sentido Ghazaeian (2015) indica que los factores climáticos afectan a la cantidad y calidad de los componentes del azufaifo. Cabe señalar que los minerales son importantes no solo para la nutrición humana, sino también para la nutrición de las plantas. Además, las variedades de plantas eficientes en minerales son más resistentes a la sequía y requieren menos riego (Bouis, 2003).

Cada vez más existe un interés creciente en el papel de los minerales dietéticos en la prevención de varias enfermedades. En este sentido, el sodio en el cuerpo humano es esencial para mantener la presión arterial, así como para el correcto funcionamiento del sistema nervioso, siendo recomendable según aconseja la OMS la ingesta diaria de 2300 mg de este mineral. El potasio es un mineral con un papel considerable en gran parte de las funciones vitales, regulando el contenido de agua en las células, el equilibrio de acidez y reparto del agua en el organismo, además de intervenir en la excitabilidad neuromuscular. Las necesidades diarias de potasio se encuentran 3000 y 4000 mg, por lo que la ingesta de azufaifo facilitaría el cubrir las necesidades de este elemento. El magnesio, en conjunto con otros minerales, interviene en la formación de dientes y huesos, además de mantener el equilibrio energético de las neuronas interviniendo en la transmisión nerviosa. La cantidad diaria de este mineral recomendada es de 250 mg (Ortega *et al.*, 2019), por lo que el azufaifo lejos de alcanzar estas concentraciones podría contribuir a las mismas a través de una dieta variada en frutas y verduras. El calcio es un mineral esencial para el buen funcionamiento del organismo, además de ser necesario para la formación de los huesos y dientes, así como para la coagulación sanguínea. La cantidad de ingesta diaria recomendada de calcio es de 800 mg, el azufaifo junto a otros alimentos en una dieta variada ayudaría a cubrir estas necesidades. Un mineral como el fósforo es esencial para el correcto funcionamiento del organismo. Junto con el calcio ayuda a mantener los huesos, y es esencial para la obtención de energía del metabolismo. La cantidad diaria recomendada se encuentra entre 700 mg y 1250 mg.

La mayor parte del hierro se encuentra en la hemoglobina, provocando en caso de su ausencia anemias y otras enfermedades, por lo que es un oligoelemento esencial para el ser

humano. Se recomienda la ingesta diaria entre 12 mg y 18 mg, las concentraciones de hierro del azofaifo son bajas para cubrir las necesidades diarias, por lo que es recomendable consumir otros alimentos ricos en este mineral. El cobre desempeña un papel fundamental en los tejidos del organismo, así como en el transporte del hierro. Este mineral es esencial para la activación de muchas enzimas del organismo, además de influir en la inmunidad contra infecciones bacterianas y elementos tóxicos que se encuentren en el organismo. Según recomienda la OMS se necesitan consumir entre 1,2 mg y 1,5 mg diarios. La cantidad de ingesta recomendada diaria de zinc es de 15 mg por lo que es necesario consumir otros alimentos además del azofaifo para alcanzar estas necesidades.

En general, los niveles minerales de los tres tipos de frutos de azofaifo han sido adecuados y en algún caso concreto, los frutos de azofaifo son ricos en K, Ca, Mg y Fe. Además, cabe destacar que el bajo contenido en Na de los frutos del azofaifo, lo podrían posicionar, como ingrediente de dietas hiposódicas.

4.1.5 Evaluación de los resultados del calibre

La tabla 5 muestra los valores promedio y su error estándar, junto al coeficiente de variabilidad (%) y el valor del estadístico p, de los parámetros morfológicos estudiados y relacionados con el calibre (peso, diámetro, longitud, volumen, diámetro medio geométrico, grado de esfericidad y área superficial), de los frutos de azofaifo en función de los tres tipos de procedencias.

Tabla 5. Valores promedios del calibre, \pm error estándar, coeficiente de variación y p-valor, para los frutos de azofaifo (n=10)

| | Cultivares | | | | | | p-valor |
|--|-------------------------------------|--------|---------------------------------------|--------|--------------------------------------|--------|---------|
| | ACP | | ACG | | AS | | |
| | Promedio* \pm error estándar | CV (%) | Promedio \pm error estándar | CV (%) | Promedio \pm error estándar | CV (%) | |
| Peso (g) | 4,96 ^c \pm 1,10 | 22,17 | 28,67 ^a \pm 5,69 | 19,83 | 18,79 ^b \pm 9,25 | 49,22 | 0,0000 |
| Diámetro (mm) | 20,31 ^c \pm 1,53 | 7,54 | 38,31 ^a \pm 2,88 | 7,51 | 32,95 ^b \pm 5,00 | 15,18 | 0,0000 |
| Longitud (mm) | 21,78 ^c \pm 1,57 | 7,19 | 42,86 ^a \pm 3,20 | 7,46 | 35,07 ^b \pm 5,09 | 15,51 | 0,0000 |
| Volumen (mm³) | 18454,90 ^c \pm 4020,04 | 21,78 | 126616,00 ^a \pm 27837,30 | 21,99 | 82446,00 ^b \pm 37284,00 | 45,22 | 0,0000 |
| Diámetro medio geométrico (mm) | 20,79 ^c \pm 1,48 | 7,13 | 39,76 ^a \pm 2,80 | 7,04 | 33,64 ^b \pm 4,99 | 14,84 | 0,0000 |
| Grado de esfericidad | 0,95 ^a \pm 0,03 | 2,95 | 0,93 ^b \pm 0,03 | 3,47 | 0,96 ^a \pm 0,02 | 2,54 | 0,6561 |
| Área superficial (mm²) | 1363,66 ^c \pm 194,00 | 14,23 | 4989,72 ^a \pm 705,12 | 14,13 | 3629,84 ^b \pm 1084,34 | 29,87 | 0,0000 |

*Letras idénticas indican que no existen diferencias estadísticamente significativas con un nivel del 5 % de significación, para el mismo parámetro.

Los parámetros morfológicos relacionados con el calibre muestran para todos los parámetros, excepto para el grado de esfericidad, la misma tendencia, es decir, diferencias estadísticamente significativas entre los tres tipos de frutos, siendo los frutos de azofaifo

grandes y de cultivo los que presentan mayores niveles con diferencias estadísticas frente al resto, le siguen los frutos silvestres, también con diferencias significativas frente al resto y por último los frutos de azofaifo de cultivo de calibre pequeño que presenta los niveles significativamente más pequeños. Aproximadamente existe una ratio 1:5 entre los parámetros de tamaño y peso del azofaifo cultivado pequeño frente a los otros dos tipos de frutos.

En comparación con otros estudios realizados, el peso de los frutos de azofaifos se encuentra dentro del rango de pesos de otras variedades, que determinan el de menor peso con 1,9 g (Choi *et al.*, 2011; 2012) y el de mayor tamaño de 22 g (Hernández *et al.*, 2016). El diámetro con valores comprendidos entre 20,31 mm y 38,31 mm, se aproxima a los obtenidos en estudios sobre caracterización del azofaifo, que sitúan el rango entre 16,64 mm y 38,87 mm (Grygorieva *et al.*, 2014) y la longitud entre 21,78 mm y 42,86 mm, se encuentran próximas a los valores promedios del rango establecido entre 18 mm y 47 mm (Choi *et al.*, 2011; 2012).

El grado de esfericidad es un parámetro que cuantifica el grado de isometría para alcanzar la forma de esfera. Los frutos silvestres y los frutos de cultivo pequeños tiene valores similares y estadísticamente significativos a los valores de los frutos grades de cultivo que presentan valores menos esféricos.

4.1.6 Evaluación de los resultados de color

El color es un parámetro esencial a tener en cuenta en los alimentos, puesto que determina si es aceptado o no por el consumidor, y por tanto se le dará valor previamente a su salida al mercado.

Los frutos del azofaifo se caracterizan por pasar de color verde cuando son inmaduros a un color rojizo cuando están maduros (Choi *et al.*, 2012). Estos cambios en color pueden ser evaluados mediante cartas de color o instrumentalmente mediante los colorímetros que miden los parámetros *cieLab*. Generalmente se utilizan tres coordenadas representadas por los parámetros "L", "a" y "b"; donde L es la luminosidad (L=0 corresponde a colores muy oscuros y L= 100 a colores muy claros), a es el parámetro que se acerca o aleja del rojo (cuando el valor es positivo) al verde (cuando los valores son negativos) y b el parámetro que se acerca o aleja del amarillo (cuando es positiva) al azul (cuando es negativo). El valor del parámetro "a", por sí solo, permite definir el color de los frutos de azofaifo en una escala.

La percepción del consumidor con respecto al color es difícil de calcular y obtener una respuesta clara, pues se trata de un valor subjetivo que depende únicamente del espectador. La opinión del consumidor depende principalmente de tres variables, los mecanismos receptores de este, las respuestas heredadas, aprendidas y vividas en situaciones y el ambiente en el que se encuentre (Hutchings, 1999). El consumidor juzga principalmente la calidad de la fruta por su apariencia, aunque el valor nutricional y las propiedades organolépticas del fruto deberían ser

los factores principales que determinen la calidad de la fruta y por tanto su compra y consumo (Vanoli y Buccheri, 2012). Que el color del alimento sea homogéneo también influye a la hora de escoger entre otros, las características visuales han ido evolucionando probablemente para escoger de manera exitosa los alimentos los de mayor homogeneidad y calidad visual y externa (MacDougall, 2002).

La tabla 6 muestra los valores promedio y su error estándar, junto al coeficiente de variabilidad (%) y el valor del estadístico p, de los parámetros morfológicos estudiados y relacionados con el color (parámetro “a”, parámetro “b” luminosidad, parámetro C-saturación o croma del color y el parámetro h o tonalidad del color), de los frutos de azofaifo en función de los tres tipos de procedencias.

Los parámetros del color han sido medidos a nivel de la superficie del fruto, es decir, de la piel comestible del fruto del azofaifo. El color de la pulpa del fruto (figura 6) presenta tonalidades entre amarillas y verdosas, siendo las tonalidades más verdes las correspondientes a los frutos pequeños de cultivo.

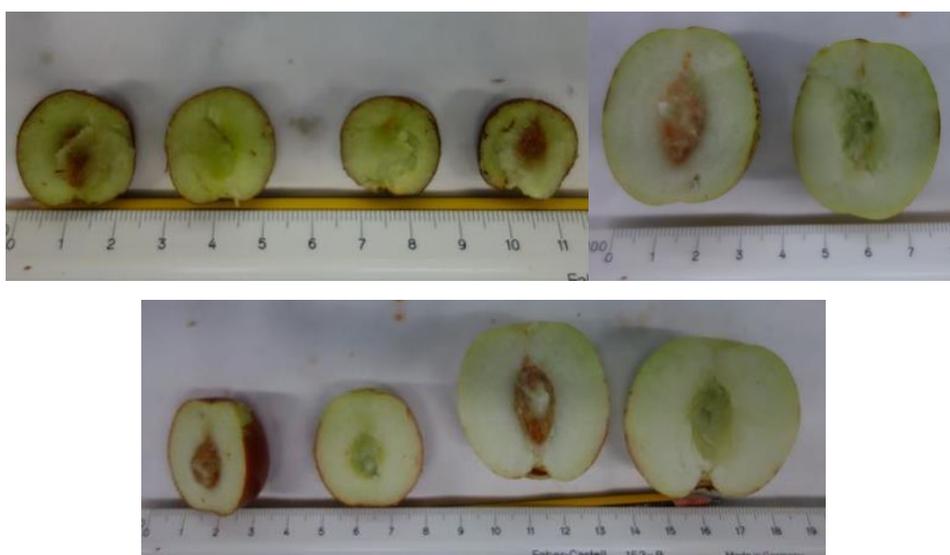


Figura 6. Muestras de color de la pulpa de los frutos ACP (izquierda arriba), ACG (derecha arriba) y AS (abajo).

Tabla 6. Valores promedios de las coordenadas de color, \pm error estándar, coeficiente de variación y p-valor, para los frutos de azofaifo (n=30)

| | Cultivares | | | | | | p-valor |
|-----------|---------------------------------|--------|----------------------------------|--------|----------------------------------|--------|---------|
| | ACP | | ACG | | AS | | |
| | Promedio* \pm error estándar | CV (%) | Promedio \pm error estándar | CV (%) | Promedio \pm error estándar | CV (%) | |
| a* | 13,37 ^a \pm 3,48 | 26,02 | 12,93 ^a \pm 2,63 | 20,37 | 8,33 ^b \pm 6,07 | 72,83 | 0,0000 |
| b* | 4,57 ^c \pm 3,53 | 77,22 | 22,57 ^b \pm 4,73 | 20,97 | 34,92 ^a \pm 5,28 | 15,12 | 0,4853 |
| L* | 85,74 ^a \pm 2,85 | 3,32 | 62,44 ^c \pm 3,24 | 5,20 | 77,84 ^b \pm 8,02 | 10,31 | 0,0000 |
| C* | 111,69 ^c \pm 64,65 | 57,88 | 352,60 ^b \pm 104,07 | 29,52 | 675,64 ^a \pm 163,80 | 24,24 | 0,0001 |
| h* | 0,30 ^c \pm 0,21 | 69,48 | 1,04 ^b \pm 0,14 | 13 | 1,33 ^a \pm 0,20 | 15,06 | 0,0696 |

*Letras idénticas indican que no existen diferencias estadísticamente significativas con un nivel del 5 % de significación, para el mismo parámetro.

Los valores obtenidos de las coordenadas CieLab indican que el color externo de los frutos ACP son los que tienen un color más próximo al rojo en comparación con los otros dos cultivares, con un valor promedio del parámetro $a=13,37$ y sin existir diferencias estadísticamente significativas con los valores para el parámetro a en los frutos ACG ($a=12,93$), mientras que la irregularidad cromática de los frutos silvestres aporta valores del parámetro a , significativamente más bajos. El valor del parámetro b de los frutos de azufaifo pequeños es el más bajo ($b=4,57$), por lo que más próximo al color azul se encuentra y más alejado del color amarillo, siendo las diferencias encontradas estadísticamente diferentes para los tres valores. La luminosidad de los frutos de azufaifo estudiados es mayor en el caso de los frutos de pequeño calibre ($L=85,74$), seguidos de los frutos silvestres y por último los frutos de calibre grande son los de menor luminosidad, siendo las diferencias encontradas, estadísticamente significativas. En cuanto al valor de C , que corresponde al croma o saturación, los frutos ACP tienen los menores valores ($C=111,69$), con diferencias estadísticamente significativas entre los tres valores encontrados. El valor de h correspondiente al tono o matiz del color del fruto, presenta los menores valores para los frutos de pequeño calibre ($h=0,30$), existiendo diferencias estadísticamente diferentes entre los valores de los frutos estudiados.

Hernandez *et al.* (2016) encuentra bajo condiciones de cultivo mediterráneas que los frutos de azufaifo se caracterizaron por valores de luminosidad superiores a 71, y que los valores bajos de a^* y altos de b^* , en la pulpa, sugieren que los frutos de azufaifo presentan pulpas de colores amarillos. Wang *et al.* (2012) aportan datos de los parámetros de color diferentes a los registrados en el presente estudio, existiendo una variabilidad sobre los parámetros de color que es debida a factores de cultivo, localización geográfica, genotipo, pero principalmente la etapa de madurez.

4.2 RELACIONES ENTRE VARIABLES

El principal objetivo de este apartado es el estudio de las relaciones entre los diferentes parámetros estudiados en el total de los frutos de azufaifo, sin diferenciar entre azufaifo de cultivo pequeño, azufaifo de cultivo grande o azufaifo silvestre. Con este análisis de datos se pretende establecer relaciones simples posibles entre todos los parámetros estudiados y detectar las influencias entre las variables más significativas.

El análisis se lleva a cabo mediante la regresión simple entre las variables establecidas y observando los coeficientes de correlación existentes entre ellas y el nivel de significación obtenido tras el análisis.

La tabla 7 muestra los coeficientes de correlación encontrados tras el estudio de los diferentes parámetros, así como los casos que han sido significativos con un 95 % de confianza marcados en color rojo.

Tabla 7. Relaciones entre parámetros de los frutos de azofaifo

| | Humedad | Materia seca | Cenizas | Fibra | Grasa | Proteína | Hidratos de carbono | pH | Acidez total | Brix | Vitamina C | Azúcares totales | Glucosa | Capacidad antioxidante total μ moles | Polifenoles | Na | K | Mg | Ca | P | Fe | Cu | Zn | Fructosa | Sacarosa | Energía |
|------------------------|---------|--------------|---------|---------|---------|----------|---------------------|---------|--------------|---------|------------|------------------|---------|--|-------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|----------|------------|
| Humedad | - | -1 | -0,9856 | -0,5298 | 0,8097 | -0,9151 | -0,9996 | 0,679 | -0,954 | -0,9475 | -0,9548 | -0,1849 | -0,2596 | -0,4548 | -0,8093 | -0,8208 | -0,9852 | -0,9314 | -0,9669 | -0,0004 | -0,2861 | -0,4297 | -0,7271 | -0,0693 | 0,198 | -0,999625 |
| Materia seca | | - | 0,9856 | 0,5298 | -0,8097 | 0,9151 | 0,996 | -0,679 | 0,954 | 0,9475 | 0,9548 | 0,1849 | 0,2596 | 0,4548 | 0,8093 | 0,8208 | 0,9852 | 0,9314 | 0,9669 | 0,0004 | 0,2861 | 0,4297 | 0,7271 | 0,0693 | -0,198 | 0,999625 |
| Cenizas | | | - | 0,4892 | -0,7278 | 0,9556 | 0,9844 | -0,6313 | 0,9304 | 0,9716 | 0,9456 | 0,1286 | 0,1496 | 0,3797 | 0,7679 | 0,7705 | 0,9779 | 0,9223 | 0,9639 | 0,12 | 0,2662 | 0,5064 | 0,7205 | 0,0694 | -0,1959 | 0,985253 |
| Fibra | | | | - | -0,7199 | 0,467 | 0,5079 | -0,5205 | 0,6451 | 0,5089 | 0,6576 | -0,4086 | 0,1831 | 0,5254 | 0,2091 | 0,5704 | 0,546 | 0,5654 | 0,6411 | -0,1501 | 0,5308 | 0,1533 | 0,4369 | -0,6352 | -0,7396 | 0,506967 |
| Grasa | | | | | - | -0,5941 | -0,8049 | 0,7104 | -0,8623 | -0,6567 | -0,8441 | -0,2261 | -0,5449 | -0,7881 | -0,7343 | -0,7414 | -0,8311 | -0,713 | -0,7856 | 0,263 | -0,1792 | 0,009 | -0,4934 | 0,1337 | 0,2345 | -0,802184 |
| Proteína | | | | | | - | 0,9111 | -0,5338 | 0,8775 | 0,9874 | 0,9132 | 0,0423 | 0,1128 | 0,2142 | 0,6489 | 0,7684 | 0,9131 | 0,9226 | 0,9407 | 0,2973 | 0,3706 | 0,7166 | 0,8128 | -0,0238 | -0,2602 | 0,913441 |
| Hidratos de carbono | | | | | | | - | 0,6762 | 0,9495 | 0,9438 | 0,9489 | 0,2052 | 0,2642 | 0,4509 | 0,8186 | 0,8175 | 0,9837 | 0,9277 | 0,9612 | -0,0032 | 0,2728 | 0,4244 | 0,7232 | 0,092 | -0,1762 | 0,999983 |
| pH | | | | | | | | - | -0,8212 | -0,5773 | -0,6573 | -0,4195 | -0,5809 | -0,2714 | -0,4087 | -0,6209 | -0,739 | -0,6752 | -0,6597 | 0,1822 | -0,1295 | -0,2248 | -0,5491 | -0,2068 | 0,1204 | -0,674735 |
| Acidez total | | | | | | | | | - | 0,9008 | 0,9451 | 0,2136 | 0,4173 | 0,48 | 0,685 | 0,8348 | 0,9743 | 0,933 | 0,9556 | -0,0151 | 0,3352 | 0,4357 | 0,7632 | 0,0265 | -0,2827 | 0,948983 |
| Brix | | | | | | | | | | - | 0,9429 | 0,0634 | 0,1369 | 0,2466 | 0,7122 | 0,7844 | 0,9377 | 0,9562 | 0,967 | 0,258 | 0,3603 | 0,6613 | 0,7824 | -0,0614 | -0,2275 | 0,945571 |
| Vitamina C | | | | | | | | | | | - | 0,1157 | 0,3169 | 0,4711 | 0,7875 | 0,8545 | 0,9684 | 0,8901 | 0,9541 | 0,076 | 0,2511 | 0,4432 | 0,7389 | -0,1439 | -0,2607 | 0,949136 |
| Azúcares totales | | | | | | | | | | | | - | 0,7134 | 0,0237 | 0,4566 | 0,2098 | 0,2403 | 0,0913 | 0,0329 | -0,1133 | -0,5216 | -0,0921 | 0,1354 | 0,696 | 0,725 | 0,203427 |
| Glucosa | | | | | | | | | | | | | - | 0,2823 | 0,3554 | 0,5545 | 0,3238 | 0,2451 | 0,1988 | -0,3544 | -0,0876 | -0,0275 | 0,4318 | 0,217 | 0,143 | 0,261742 |
| Capacidad antioxidante | | | | | | | | | | | | | | - | 0,494 | 0,3161 | 0,4682 | 0,3085 | 0,4258 | -0,339 | 0,0529 | -0,4282 | 0,0435 | -0,1512 | -0,2244 | 0,447368 |
| Polifenoles | | | | | | | | | | | | | | | - | 0,6577 | 0,7945 | 0,6274 | 0,6946 | -0,0309 | -0,1588 | 0,0925 | 0,4274 | 0,1363 | 0,257 | 0,81728 |
| Na | | | | | | | | | | | | | | | | - | 0,8104 | 0,7725 | 0,7822 | -0,2528 | 0,3482 | 0,4684 | 0,9119 | -0,0152 | -0,363 | 0,817453 |
| K | | | | | | | | | | | | | | | | | - | 0,9109 | 0,9569 | 0,0449 | 0,2036 | 0,4179 | 0,7175 | 0,0739 | -0,166 | 0,98372 |
| Mg | | | | | | | | | | | | | | | | | | - | 0,976 | 0,1659 | 0,5364 | 0,6299 | 0,7852 | -0,0424 | -0,2887 | 0,928651 |
| Ca | | | | | | | | | | | | | | | | | | | - | 0,1449 | 0,4452 | 0,5367 | 0,738 | -0,1129 | -0,3179 | 0,961913 |
| P | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | - | 0,0037 | 0,5311 | -0,0384 | -0,2456 | 0,2628 | 0,00093719 |
| Fe | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | - | 0,5315 | 0,5059 | -0,3836 | -0,7485 | 0,274317 |
| Cu | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | - | 0,7512 | -0,063 | -0,2538 | 0,429207 |
| Zn | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | - | 0,0578 | -0,4148 | 0,725176 |
| Fructosa | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | - | 0,5047 | 0,0921821 |
| Sacarosa | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | - | -0,176171 |
| Energía | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | - |

En general se observan relaciones fuertes entre los diferentes parámetros de composición proximal, de forma que los mayores niveles de materia seca se relacionan positivamente con el contenido en cenizas, proteína e hidratos de carbono, y negativamente con el resto de parámetros. Es decir que el contenido en cenizas, en proteínas y en hidratos de carbono inciden positivamente en la mayor concentración en materia seca de los frutos de azufaifo. Mientras que los mayores valores de fibra y grasa hacen que la materia seca sea más baja.

Se observa que la glucosa es el azúcar que más influye en el contenido en azúcares totales, y que la capacidad antioxidante total se relaciona negativamente con el contenido en grasa de los frutos.

Se observa que los valores de capacidad antioxidante total se relacionan de forma débil con la cantidad de polifenoles totales. Durante mucho tiempo se ha reconocido que las sustancias naturales en frutas y verduras tienen actividad antioxidante. Entre esas sustancias, los compuestos fenólicos ampliamente distribuidos en frutas y verduras tienen la capacidad de eliminar los radicales libres, los radicales superóxido e hidroxilo, mediante la transferencia de un solo electrón. Existe consenso en que la capacidad antioxidante está directamente relacionada con los compuestos fenólicos (Connor *et al.*, 2002). Sin embargo, Ismail *et al.* (2004) no encontraron una correlación positiva entre el contenido polifenólico total y las capacidades antioxidantes de los extractos de cinco tipos de vegetales, ni se encontraron relaciones entre las capacidades antioxidantes y la composición fenólica en las bayas de frutas, vinos de frutas (Heinonen *et al.*, 1998) o en extractos de plantas (Kähkönen *et al.*, 1999). En los estudios de Li *et al.*, (2005) con azufaifo chino, el análisis de correlación de Pearson no mostró ninguna relación entre los contenidos fenólicos totales y las capacidades antioxidantes o las capacidades antioxidantes y los contenidos de vitamina C del azufaifo chino ($p > 0,05$). Por lo tanto, los compuestos fenólicos pueden contribuir a la capacidad antioxidante debido a su capacidad para eliminar los radicales libres, los radicales superóxido e hidroxilo. Sin embargo, no es el único factor que influye en la capacidad antioxidante, existen otros fitoquímicos como la vitamina C y los pigmentos, así como los efectos sinérgicos entre ellos, que también contribuyen a la capacidad antioxidante total. Por otra parte, los contenidos de fenoles totales, determinados según el método de Folin-Ciocalteu, no son una medida absoluta de la cantidad de materiales fenólicos. Los diferentes tipos de compuestos fenólicos tienen diferentes capacidades antioxidantes, que dependen de su estructura.

De las relaciones entre minerales, el potasio es un mineral relacionado con otros como el sodio, cloro, calcio y magnesio contribuyendo a la regulación de las funciones celulares, especialmente el sistema nervioso y los músculos. En el estudio de las relaciones entre los minerales gran parte de los casos son positivas, lo que indica que existen sinergias entre

estos elementos presentes en el fruto del azufaifo. Siendo las de signo negativo, derivadas de antagonismos existentes en la absorción y disponibilidad de los elementos en el fruto.

Existen varias relaciones fuertes entre parámetros como por ejemplo:

- Relación entre **Mg** y **Ca** ($Mg=4,33234 + 0,568391*Ca$) al aumentar el contenido de magnesio aumenta el contenido de calcio, por tanto, existe una relación positiva entre ambos parámetros como podemos ver en la figura 6.

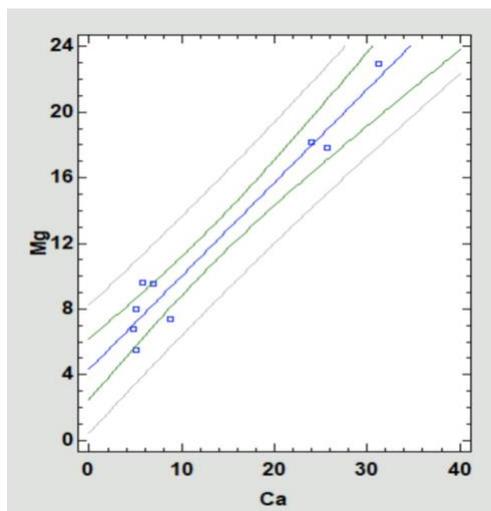


Figura 6. Relación positiva entre el contenido de magnesio y el calcio del conjunto de frutos.

- Relación entre **Vitamina C** y **K** ($Vitamina\ C = 170,964 + 1,18581*K$), al aumentar el contenido de vitamina C, aumenta el contenido de potasio, es decir, existe una relación positiva entre ambos como podemos ver en la figura 7.

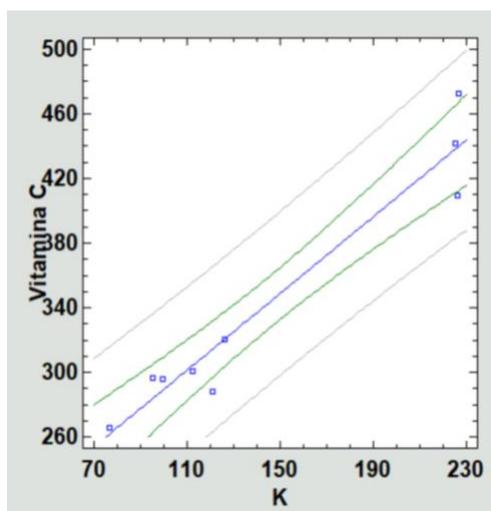


Figura 7. Relación positiva entre el contenido de vitamina C y el potasio del conjunto de frutos

- Relación **Capacidad antioxidante** y **P** ($Capacidad\ antioxidante=280,784 - 0,280536*P$), aumenta la cantidad de fósforo y disminuye la capacidad

antioxidante, por lo que la relación que existe entre ambos parámetros es negativa como se puede ver en la figura 8.

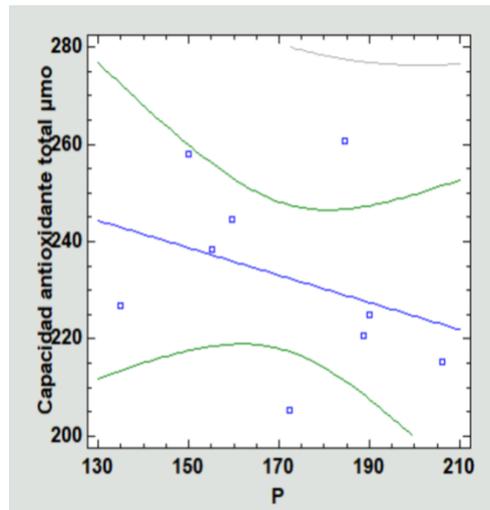


Figura 8. Relación negativa entre la capacidad antioxidante total y el potasio del conjunto de frutos

- Relación entre **Na** y **P** ($Na = 12,2161 - 0,0353741 * P$), en este caso, la relación también es negativa, pues al aumentar el contenido de potasio disminuirá el contenido de sodio, como se observa en la figura 9.

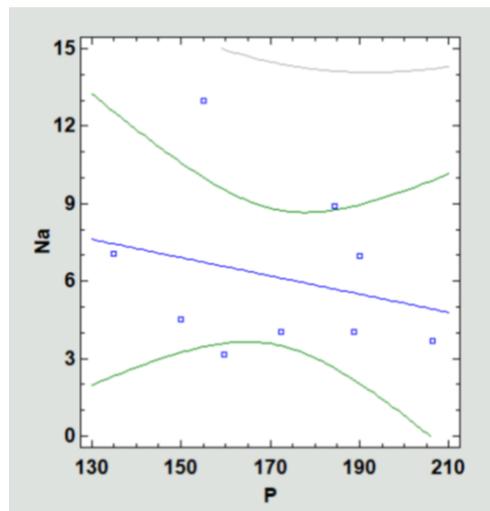


Figura 9. Relación positiva entre el contenido de sodio y el potasio del conjunto de frutos

5. CONCLUSIONES

Las principales conclusiones obtenidas tras los análisis realizados en el presente trabajo son:

1. La información sobre la composición de los frutos de azofaifo procedentes de la zona mediterránea valenciana puede ser de utilidad para los consumidores, ya que contribuye al conocimiento de las implicaciones de la ingesta dietética de la fruta. Las diferencias de concentración encontradas entre los tres tipos de frutas pueden ser empleados como indicadores de identidad, diferenciando sus utilidades e incluso, aprovechando los cultivares para posibles mejoras genéticas.
2. La ingesta del de fruto proporciona las dosis diarias recomendadas de vitamina C, clasificándose como alimento de "alto contenido en vitamina C" según el reglamento europeo. La ingesta de este fruto puede ser un reclamo para la salud, pues la vitamina C aporta grandes beneficios, además de reducir el riesgo de padecer algunas enfermedades más relevantes en países desarrollados.
3. A la luz de las propiedades antioxidantes de los compuestos fenólicos, así como las altas concentraciones en vitamina C y de elementos minerales, la ingesta de los frutos de azofaifo presenta importantes efectos beneficiosos sobre la salud humana, siendo un recurso alimentario de alto rendimiento, ya que se adapta a condiciones de bajos insumos, y ambientes ecológicos adversos.
4. En España el azofaifo es un fruto infravalorado, con escaso valor económico, pero teniendo en cuenta sus excelentes propiedades nutricionales y la tolerancia del árbol a fenómenos como la sequía y la salinidad, se podría considerar como la recuperación del cultivo y el consumo de sus frutos, direccionando estudios para potenciar el cultivo de las variedades de mayor rentabilidad y aplicabilidad a la industria.
5. El fruto podría incluirse en la industria alimentaria en forma de conserva, o en otras elaboraciones mas complejas, debido a sus componentes tan atractivos en el consumo de este alimento, pues ya es un importante producto en la industria farmacéutica para elaboración de medicamentos o complementos alimenticio.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Abbas, M.F. 1997. Jujube. In: S. K. Mitra (Ed.) Postharvest physiology and storage of tropical and sub-tropical fruits. CAB International, London. pp. 405-415.
- Afshin, A., Sur, P.J., Fay, K.A., Cornaby, L., Ferrara, G., Salama, J.S., Mullany, E.C. et al. 2019. Health effects of dietary risks in 195 countries, 1990–2017: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2017. *The Lancet* 393(10184): 1958- 72.
- Akbolat, D., Ertekin, C., Menges, H.O., Ekinci, K. and Erdal, I. 2008. Physical and nutritional properties of jujube (*Zizyphus jujube* Mill.) growing in Turkey. *Asian J. Chem.* 20: 757-766.
- AOAC (Association of Official Agricultural Chemists). 2000. Official methods of analysis of AOAC international. Editor, Dr William Horwitz. 17^º edición. Publicado por AOAC internacional. Gaithersburg, Maryland USA.
- Azam-Ali, S., Bonkougou, E., Bowe, C., deKock, C., Godara, A., Williams, J.T. 2006. Ber and other jujubes. En: *Fruits to the Future (Revised edition)*. J.T. Williams (ed). Southampton, UK. 302 pp.
- Bastos, V.J., NBeves, L.C., Silva, P.M.C., Shahab, M., Colombo, R.C., Roberto, S.R. 2016. Harvest point determination of Indian fruit (*Zizyphus mauritiana* L.) based on physicochemical and functional parameters. *Scientia Horticulture*, 213: 392–402.
- Brand-Williams, W., Cuvelier, M.E., Berset, C. 1995. Use of free radical method to evaluate antioxidant activity. *Lebensmittel Wissenschaft und Technologie*, 28: 25-30.
- Bouis, H.E. 2003. Micronutrient fortification of plants through plant breeding: can it improve nutrition in man at low cost?." *Proceedings of the Nutrition Society*, 62.2: 403-411.
- Castillo-Velarde, E.R. 2019. Vitamina C en la salud y en la enfermedad. *Revista de la Facultad de Medicina Humana*, 19(4), 95-100.
- Chiralt Boix, A., Martínez Navarrete, N., González Martínez, C., Talens Oliag, P., Moraga Ballesteros, G. 2007. *Propiedades físicas de los alimentos*. Editorial: Universidad Politécnica de Valencia.
- Choi, S.H., Ahn, J.B., Kim, H.J., Im, N.K., Kozukue, N., Levin, C.E., Friedman, M. 2012. Changes in free amino acid, protein, and flavonoid content in jujube (*Zizyphus jujube*) fruit during eight stages of growth and antioxidative and cancer cell inhibitory effects by extracts. *J. Agric. Food Chem.*, 60: 10245-10255.
- Choi, S.H., Ahn, J.B., Kozukue, N., Levin, C.E., Friedman, M. 2011. Distribution of free amino acid, flavonoids, total phenolics, and antioxidative activities of jujube (*Zizyphus jujube*) fruits and seeds harvested from plants grown in Korea. *J. Agric. Food Chem.* 59: 6594-6604.
- Connor, A.M., Luby, J.J., Tong, C.B., Finn, C.E., Hancock, J.F. 2002. Genotypic and environmental variation in antioxidant activity, total phenolic content, and anthocyanin content among blueberry cultivars. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 127(1): 89-97.
- FAO. 2020. Frutas y verduras – esenciales en tu dieta. Año Internacional de las Frutas y Verduras, 2021. Documento de antecedentes. Roma.
- FAO. 2022. Taller internacional FAO/OMS sobre frutas y verduras 2020 en preparación para el año internacional de las frutas y verduras 2021 – Informe del taller. Roma. <https://doi.org/10.4060/cb6234es>
- Font-Quer, P. 1959. *Curso de botánica general y aplicada*. Labor S.A. Barcelona. 483 pp.

- Gao, Q.H., Wu, C.S., 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: 3351–63.
- Gao, Q.H., Wu, C.S., Yu, J.G., Wang, M., Ma, Y.J., Li, C.L. 2012a. 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., Wu, C.S., Wang, M., Xu, B.N., Du, L.J. 2012b. Effect of drying of jujubes (*Ziziphus jujube* Mill.) on the contents of sugars, organic acids, α -tocopherol, β -carotene, and phenolic compounds. *J. Agric. Food Chem.*, 60: 9642–9648.
- Gao, Q.H., Wu, P.T., Liu, J.R., Wu, C.S., Parry, J.W., Wang, M. 2011. Physico-chemical properties and antioxidant capacity of different jujube (*Ziziphus jujube* Mill.) cultivars grown in loess plateau of China. *Sci. Hortic.*, 130: 67-72.
- Ghazaeian, M. 2015. Genetic diversity of Jujube (*Ziziphus jujuba* Mill.) germplasm based on vegetative and fruits physicochemical characteristics from Golestan province of Iran. *Comunicata Scientiae*, 6(1), 10-16.
- Grygorieva, O., Abrahamová, V., Karnatovská, M., Bleha, R., Brindza, J. 2014. Morphological characteristics of fruits, drupes and seeds in genotypes of *Ziziphus jujuba* Mill. *Potravinárstvo*, 8(1).
- Heinonen, I.M., Meyer, A.S., Frankel, E.N. 1998. Antioxidant activity of berry phenolics on human low-density lipoprotein and liposome oxidation. *Journal of agricultural and food chemistry*, 46(10): 4107-4112.
- Hernández, F., Noguera-Artiaga, L., Burló, F., Wojdyło, A., Carbonell-Barrachina, Á.A., Legua, P. 2016. Physico-chemical, nutritional, and volatile composition and sensory profile of Spanish jujube (*Ziziphus jujuba* Mill.) fruits. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 96(8): 2682-2691.
- Hou, L., Li, M., Zhang, C., Liu, N., Liu, X., Bo, W., ... Li, Y. 2022. Comparative Transcriptomic Analyses of Different Jujube Cultivars Reveal the Co-Regulation of Multiple Pathways during Fruit Cracking. *Genes*, 13(1), 105.
- Hutchings, J. 1999. *Food Color and Appearance*, 2nd edn, Gaithersburg, MD, Aspen Publishers.
- Ismail, A., Marjan, Z.M., Foong, C.W. 2004. Total antioxidant activity and phenolic content in selected vegetables. *Food chemistry*, 87(4): 581-586.
- Kähkönen, M.P., Hopia, A.I., Vuorela, H.J., Rauha, J.P., Pihlaja, K., Kujala, T.S., Heinonen, M. 1999. Antioxidant activity of plant extracts containing phenolic compounds. *Journal of agricultural and food chemistry*, 47(10): 3954-3962.
- Li, J.W., Ding, S.D., Ding, X.L. 2005. Comparison of antioxidant capacities of extracts from five cultivars of Chinese jujube. *Process Biochemistry*, 40(11): 3607-3613.
- Li, J.W., Fan, L.P., Ding, S.D., Ding, X.L. 2007. Nutritional composition of five cultivars of Chinese jujube. *Food Chem.* 103: 454-460.
- Llacuna, L., Mach, N. 2012. Papel de los antioxidantes en la prevención del cáncer. *Revista Española de Nutrición Humana y Dietética*, 16(1), 16-24.
- Lu, H., Lou, H., Zheng, H., Hu, Y., Li, Y. 2012. Nondestructive evaluation of quality changes and the optimum time for harvesting during jujube (*Zizyphus jujuba* Mill. cv. Changhong) fruits development. *Food Bioprocess Technol.* 5(6): 2586-2595.
- Kou, X., Chen, Q., Li, X., Li, M., Kan, C., Chen, B., ... Xue, Z. 2015. Quantitative assessment of bioactive compounds and the antioxidant activity of 15 jujube cultivars. *Food Chemistry*, 173, 1037-1044.

- MacDougall, D. (Ed.). 2002. Colour in food: improving quality. Woodhead Publishing.
- Melgarejo, P., Salazar, D. 2003. El jingolero. En: Tratado de fruticultura para zonas áridas y semiáridas. Vol II. Algarrobo, granado y jingolero. Mundi Prensa, Madrid.
- Menchú, M.T., Méndez, H., Lemus, J. 2000. Tabla de composición de alimentos de Centroamérica Segunda Sección. Guatemala: OPS/INCAP.
- Mohsenin, NN. 1986. Physical properties of plants and animal materials. Gordon and Breach Science Publishers. New York. 616–647.
- Moura, M. do S., Alves, R.E., de Brito, E.S., de Moraes, S.M., Sampaio, C. de G., Pérez-Jiménez, J., Saura-Calixto, F.D. 2007. Metodología Científica: Determinação da Atividade Antioxidante Total em Frutas pela Captura do Radical Livre DPPH. Comunicado Técnico on line, 127, ISSN: 1679-6535.
- Ortega, R.M., Requejo, A.M., Navia, B., López-Sobaler, A.M., Aparicio, A. 2019. Ingestas diarias recomendadas de energía y nutrientes para la población española. Departamento de Nutrición, Universidad Complutense de Madrid, Madrid.
- Pareek, S. 2013. Nutritional composition of jujube fruit. Emirates Journal of Food and Agriculture, 463-470.
- Pu, Y., Sinclair, A.J., Zhong, J., Liu, D., Song, L. 2019. Determination of γ -aminobutyric acid (GABA) in jujube fruit (*Ziziphus jujuba* Mill.). CyTA-Journal of Food, 17(1), 158-162.
- Reglamento (CE) Nº 1924/2006 del Parlamento Europeo y del Consejo de 20 de diciembre de 2006 relativo a las declaraciones nutricionales y de propiedades saludables en los alimentos.
- Reglamento (UE) Nº 116/2010 de la Comisión de 9 de febrero de 2010 por el que se modifica el Reglamento (CE) nº 1924/2006 del Parlamento Europeo y del Consejo en lo relativo a la lista de declaraciones nutricionales.
- The Plant List. 2015: consultada en: <http://www.theplantlist.org/tpl1.1/record/kew-2470699>
- Tomás Barberán, F. 2003. Los polifenoles de los alimentos y la salud. Alimentación Nutrición y Salud, 10(2): 41-53.
- Tropicos, 2015 consultado en: <http://www.tropicos.org/Name/27500858>
- Vanoli, M., Buccheri, M. 2012. Overview of the methods for assessing harvest maturity. Stewart Postharvest Rev., 8, pp. 1-11.
- Wang, H., Chen, F., Yang, H., Chen, Y., Zhang, L., An, H. 2012. Effects of ripening stage and cultivar on physicochemical properties and pectin nanostructures of jujubes. Carbohydr. Polym., 89: 1180–1188.
- Wang, Y.G., Ma, Y.L., Liu, X.F., Wang, X.L., Wang, Y.L., Ren, H.W., Len, F.F. 2014. Composition analysis and nutritional evaluation of *Zizyphus jujube* Mill. cv. Xiaokou. Mod. Food Sci. Technol., 30: 237–244.
- Wang, B., Huang, Q., Venkatasamy, Ch., Chai, H., Gao, H., Cao, W., Lu, X., Pan, Z. 2016. Changes in phenolic compounds and their antioxidant activity in jujube (*Ziziphus jujuba* Mill.) during three edible maturity stages. LWT –Food Science and Technology, 66: 56–62.
- Wu, C.S., Gao, Q.H., Guo, X.D., Yu, J.G., Wang, M. 2012. Effect of ripening stage on physicochemical properties and antioxidant profiles of a promising table fruit pear-jujube (*Ziziphus jujube* Mill.). Sci. Hort., 148: 177–184.
- Yamaoka, Y., Kawakita, T., Kaneko, M., Nomoto, K. 1996. A polysaccharide fraction of *Zizyphi Fructus* in augmenting natural killer activity by oral administration. Biol. Pharm. Bull., 19: 936–939.

- Zhang, H., Jiang, L., Ye, S., Ye, Y., Ren, F. 2010. Systematic evaluation of antioxidant capacities of the ethanolic extract of different tissues of jujube (*Zizyphus jujube* Mill.) from China. *Food and Chemical Toxicology*, 48: 1461-1465.
- Zhang, Q., Wang, L., Wang, Z., Liu, Z., Zhao, Z., Zhou, G., ... & Liu, P. 2020. Variations of the nutritional composition of jujube fruit (*Zizyphus jujuba* Mill.) during maturation stages. *International Journal of Food Properties*, 23(1), 1066-1081.
- Zhao, H., Zhang, H., Yang, S. 2014. Phenolic compounds and its antioxidant activities in ethanolic extracts from seven cultivars of Chinese jujube. *Food Science and Human Wellness*, 3: 183–190.
- Zozio, S., Serent, A., Casal, G., Mbéguité-A-Mbéguité, D., Ravion, S., Pallet, D., Abel, H. 2016. Changes in antioxidant activity during the ripening of jujube (*Zizyphus mauritiana* L.). *Food Chemistry*, 150: 448–456.