

Universidad Pública de Navarra
ESCUELA TECNICA SUPERIOR
DE INGENIEROS AGRONOMOS

Nafarroako Unibertsitate Publikoa
NEKAZARITZAKO INGENIARIEN
GOI MAILAKO ESKOLA TEKNIKOA

CARACTERIZACIÓN DE FIBRA DE SUBPRODUCTOS DE
ALCACHOFA (*Cynara scolymus*)

.....

RAÚL ANSÓ BLANCO

.....

Junio, 2018

Máster Universitario en Tecnología y Calidad en las Industrias Agroalimentarias

Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos

El trabajo de investigación recogido en la presente memoria titulada “Caracterización de fibra de subproductos de alcachofa (*Cynara scolymus*)” ha sido realizado en el departamento de Ciencias de la Universidad Pública de Navarra bajo la dirección de la Dra. Carmen Ancín Azpilicueta y la Dra. Nerea Jiménez Moreno.

Pamplona, 20 de junio de 2018

Carmen Ancín Azpilicueta

Nerea Jiménez Moreno

Resumen

La industria agroalimentaria produce gran cantidad de desechos orgánicos, generando residuos a los que hay que buscarles una salida viable, económica y que respete el medioambiente. La alcachofa es un producto del que, a nivel industrial, solo se suele aprovechar el corazón, por lo que las brácteas externas, las hojas y los tallos son desechados (entre el 60 y 80% de la materia prima). En este trabajo, estos subproductos de alcachofa se utilizaron para extraer fibra dietética insoluble y soluble tras un tratamiento con distintos disolventes (agua y metanol al 60%) y con o sin la aplicación de ultrasonidos. Una vez obtenida la fibra se determinó la capacidad antioxidante por el método ABTS y el contenido de compuestos fenólicos totales por el método Folin Ciocalteu. Se encontró que el contenido de fibra dietética insoluble estuvo entre 0,591 y 0,676 g/g alcachofa seca dependiendo del método de extracción y el de fibra soluble entre 0 y 0,104 g/g alcachofa seca. El rango de capacidad antioxidante de la fibra dietética fue entre 18,62 y 20,63 mg ac.ascórbico/g alcachofa seca dependiendo del pretratamiento aplicado a las muestras. El contenido de compuestos fenólicos totales presentó un rango entre 69,48 y 83,28 mg ac.gálico/g alcachofa seca.

Palabras clave

Alcachofa, subproductos, fibra dietética, capacidad antioxidante, fenoles totales.

Abstract

The food industry produces a huge amount of organic waste, generating residues and it is necessary to look for a viable, economic solution which respects the environment. The artichoke is a product that, in an industrial level, only the head is used, so the outer bracts, leaves and stems are thrown away (60 – 80% of the raw material). In this project, these artichoke by-products were used to extract insoluble and soluble dietary fibre after a treatment with different solvents (water and 60% methanol) and with or without applying ultrasounds. Once fibre is obtained the antioxidant capacity was determined by ABTS method and the total phenolic compounds by Folin Ciocalteu method. It was found that the insoluble dietary fibre was between 0,591 and 0,676 g/g dry artichoke depending on the extraction method and the soluble dietary fibre was between 0 and 0,104 g/g dry artichoke. The rank of antioxidant capacity of the dietary fibre was between 18,62 and 20,63 mg ascorbic acid/g dry artichoke depending on the pre-treatment applied to the samples. The total phenolic compound content ranged between 69,48 and 83,28 mg galic acid/g dry artichoke.

Key words

Artichoke, by-products, dietary fibre, antioxidant capacity, total phenols.

ÍNDICE DE CONTENIDO

1	Introducción.....	13
1.1	La alcachofa.....	13
1.2	Composición de la alcachofa. Macro y micro nutrientes.....	14
1.3	Fibra de alcachofa y su importancia	15
1.4	Objetivos.....	21
2	Material y métodos	23
2.1	Material.....	23
2.2	Preparación de las muestras	23
2.3	Determinación de fibra	24
2.4	Determinación de proteína.....	26
2.5	Determinación del contenido de cenizas.....	27
2.6	Capacidad antioxidante de la fibra.....	27
2.7	Compuestos fenólicos totales.....	28
2.8	Tratamiento estadístico	29
3	Resultados.....	31
3.1	Determinación de fibra dietética insoluble, soluble y total.....	31
3.1.1	Contenido proteico y cenizas de la fibra insoluble y soluble	31
3.1.2	Contenido de fibra dietética insoluble.....	32
3.1.3	Contenido de fibra dietética soluble	36
3.1.4	Contenido de fibra dietética total.....	39
3.2	Capacidad antioxidante y compuestos fenólicos totales de la fibra.....	41
4	Conclusiones.....	45
5	Referencias	47

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Contenido de proteína y cenizas de la fibra insoluble y soluble obtenida de las muestras de residuos de alcachofa analizadas (E1-E4).	31
Tabla 2. Resumen estadístico del análisis factorial del efecto del disolvente y la aplicación de ultrasonidos sobre la extracción de fibra dietética insoluble.....	33
Tabla 3. Análisis factorial del efecto del disolvente y la aplicación de ultrasonidos sobre el contenido de fibra dietética soluble.	37
Tabla 4. Análisis factorial del efecto del disolvente y la aplicación de ultrasonidos sobre la capacidad antioxidante (μg ac.ascórbico/g m.s) de las muestras.	42
Tabla 5. Análisis factorial del efecto del disolvente y la aplicación de ultrasonidos sobre el contenido de compuestos fenólicos totales (μg ac.gálico/g m.s) de las muestras.	43

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de España según la producción de alcachofa. Fuente: Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (MAAMA).	13
Figura 2. Partes de la planta (a) y del fruto (b) de la alcachofa.....	14
Figura 3. Estructuras químicas de los principales compuestos de la hemicelulosa: a) D-xilosa, b) D-manosa y c) D-galactosa.	16
Figura 4. Estructura química de la celulosa.....	17
Figura 5. Estructuras químicas de los alcoholes base de la lignina: a) alcohol p-cumarílico, b) alcohol coniferílico y c) alcohol sinapílico.....	17
Figura 6. Clasificación de la fibra dietética. Fuente: Torija Isasa (2009)	17
Figura 7. Estructura química de la inulina. Fuente: de Falco et al. (2015).....	18
Figura 8. Resumen de las extracciones realizadas sobre la muestra	24
Figura 9. Diagrama de la determinación de fibra insoluble y soluble.	25
Figura 10. Recta patrón de ácido ascórbico (mM) para la determinación de la capacidad antioxidante por el método ABTS).....	28
Figura 11. Recta patrón de ácido gálico para la determinación del contenido de compuestos fenólicos totales	29
Figura 12. Contenido de fibra dietética insoluble (g/g alcachofa m.s) extraída por distintos métodos (E1-E4).....	33
Figura 13. Grafica de la interacción y efecto de los factores estudiados (tipo de disolvente y aplicación de ultrasonidos) sobre la variable respuesta (cantidad de fibra insoluble (g)), donde US 1 = sin aplicación de ultrasonidos; US 2 = con aplicación de ultrasonidos.	34
Figura 14. Efecto individual de los factores del análisis factorial sobre la variable respuesta	35
Figura 15. Contenido de fibra dietética insoluble (g/g alcachofa m.s) de las distintas muestras analizadas (E1-E4).....	37

Figura 16. Grafica de la interacción y efecto de los factores estudiados (tipo de disolvente y aplicación de ultrasonidos) sobre la variable respuesta (cantidad de fibra soluble (g)), donde US 1 = sin aplicación de ultrasonidos; US 2 = con aplicación de ultrasonidos.	38
Figura 17. Contenido de fibra dietética total (g/g alcachofa m.s) de las distintas muestras analizadas (E1-E4).....	40
Figura 18. Capacidad antioxidante de las muestras de alcachofa (E1-E4) expresado como μg de ácido ascórbico por cada gramo de subproducto de alcachofa seca.	41
Figura 19. Grafica de la interacción y efecto de los factores estudiados (tipo de disolvente y aplicación de ultrasonidos) sobre la variable respuesta (capacidad antioxidante (μg ac.ascórbico/g m.s), donde US 1 = sin aplicación de ultrasonidos; US 2 = con aplicación de ultrasonidos.....	42
Figura 20. Diagrama de barras del contenido de compuestos fenólicos totales de las muestras de alcachofa (E1-E4) expresado como μg de ácido gálico por cada gramo de subproducto de alcachofa seca.	43

1 INTRODUCCIÓN

1.1 LA ALCACHOFA.

La alcachofa (*Cynara scolymus*) es una planta perteneciente al género *Cynara* y a la familia *Asteraceae* cultivada en países con climas templados, como España. Según la base de datos de la FAO (FAOstat 2018), la alcachofa es una de las verduras más producidas en el mundo (casi 1.500.000 t en 2016), Europa (600.000 t en 2016) y España (más de 180.000 t en 2016). Además, como se puede observar en la Figura 1, la Comunidad Foral de Navarra se encuentra entre las regiones con mayor producción de alcachofa en España (entre 10.000 y 50.000 t/año), junto a las zonas mediterráneas como Valencia, Tarragona o Murcia (mayor productora de España).

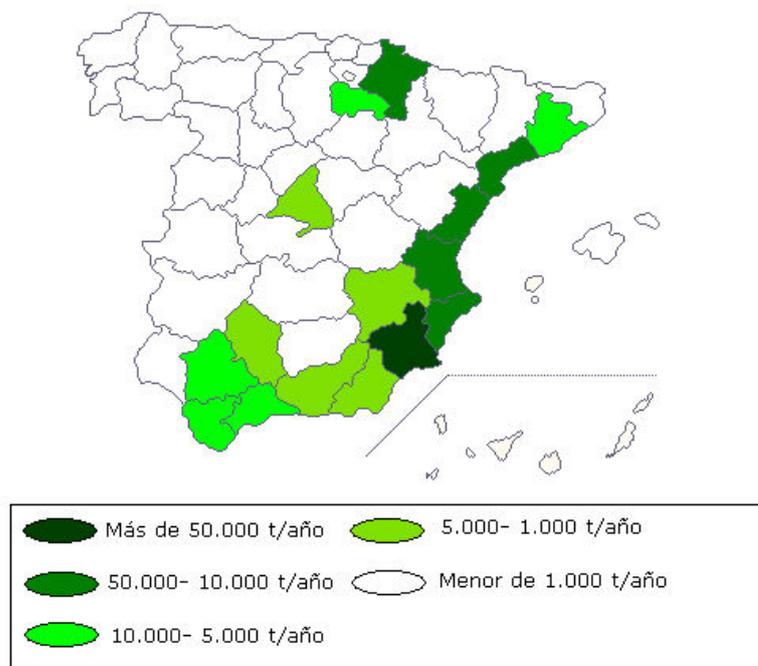


Figura 1. Mapa de España según la producción de alcachofa. Fuente: Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (MAAMA).

La alcachofa es un producto del que, a nivel industrial, solo se suelen aprovechar las brácteas internas o corazón y el receptáculo, por lo que las hojas, brácteas externas y los tallos son desechados (Figura 2). Según estudios realizados, entre el 60 y 85% de la materia prima se desecha (Ros et al., 2012; Boubaker et al., 2016b), lo cual supone una pérdida económica para la industria alimentaria debido a que necesitan transportar dichos subproductos y darles una salida. Hay que tener en cuenta que de la producción total de alcachofa, aproximadamente el 60% se dirige a la industria mientras que el 40% restante se consume en fresco. La cantidad

de residuos generada en España a partir de la industria se puede estimar entre 64.800 y 86.400 t/año. Este rango tan amplio de residuos generados puede deberse al rendimiento de la producción, al calibre dependiendo de la calidad final a la que vaya destinado el producto, a la variedad o a la fase de madurez a la que se recolecta el producto.

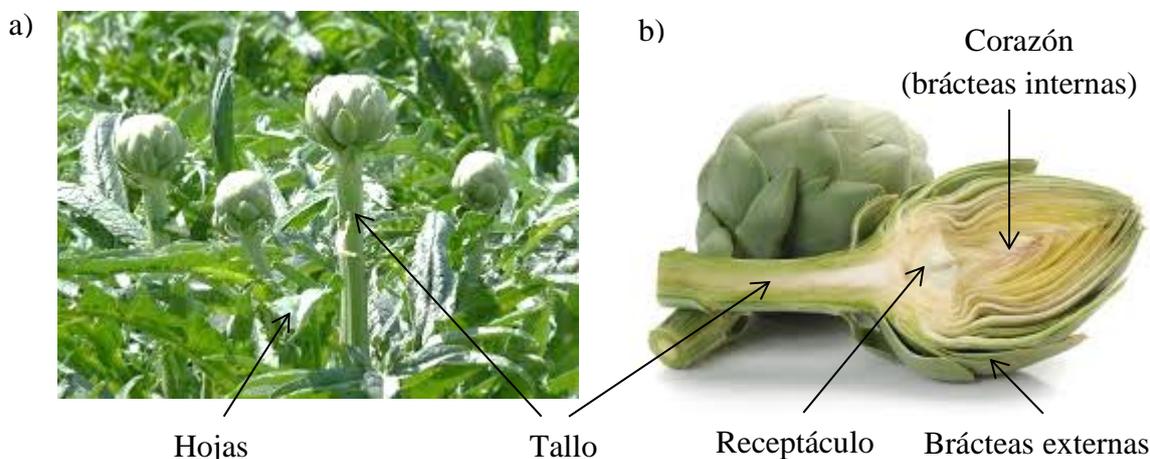


Figura 2. Partes de la planta (a) y del fruto (b) de la alcachofa

1.2 COMPOSICIÓN DE LA ALCACHOFA. MACRO Y MICRO NUTRIENTES

La alcachofa, debido a su composición nutricional y a los compuestos nutraceuticos que tiene, es un alimento de gran interés. Un compuesto nutraceutico es un suplemento dietético presentado en una matriz no alimentaria (píldoras, capsulas o polvo) elaborado a partir de una sustancia natural bioactiva procedente de un alimento y que provoca un efecto saludable sobre la salud. Son también nutraceuticos los componentes de los alimentos o partes del alimento que aportan un beneficio añadido para la salud, incluso para la prevención y tratamiento de enfermedades. Si se enriquece alimentos con estos compuestos nutraceuticos, estaremos hablando de alimentos funcionales que aportan beneficios para la salud (Valenzuela et al., 2014). El concepto de nutrición ha evolucionado en los países desarrollados. Actualmente, los productos alimentarios no solo cumplen con las necesidades nutricionales, sino que además aportan otros efectos beneficiosos. Por ello, surge el concepto de alimento funcional, que va más allá de la función nutricional mejorando el bienestar y/o previniendo enfermedades ("Scientific concepts of functional foods in Europe. Consensus Document", 1999). Desde un punto de vista práctico, un alimento funcional puede ser un alimento natural; un alimento al que se ha agregado un componente; un alimento del cual se ha eliminado un componente, un alimento donde la naturaleza de uno o más componentes ha sido modificado; un alimento en el que la biodisponibilidad de uno o más componentes ha sido modificado, cualquier

combinación de estas posibilidades (Roberfroid, 2002). El aprovechamiento de materiales que habitualmente se desechan para desarrollar alimentos funcionales o aditivos alimentarios naturales es muy interesante. Con ello se consigue valorizar un residuo y además se obtiene un alimento de alto valor añadido importante para corregir las deficiencias crónicas de micronutrientes que actualmente afectan a más de dos billones de personas en el mundo (Burchi et al., 2011).

El fruto de la alcachofa está constituido por 7% de carbohidratos, de los cuales el 5,5% son fibra; 3% proteínas y 0,3% lípidos. El porcentaje restante se corresponde al contenido en agua. De todos los componentes que tiene este vegetal destacan la fibra insoluble y la fibra soluble, principalmente los oligosacáridos prebióticos (Cruzado y Cedrón 2012; de Falco et al. 2015). La alcachofa contiene micronutrientes con funciones saludables para el organismo como son los compuestos fenólicos, flavonoides, antocianinas o triterpenos y sesquiterpenos. Estos micronutrientes aportan a la alcachofa propiedades hepatoprotectoras, antibacterianas, antioxidantes y antifúngicas (Lattanzio et al., 2009). Los oligosacáridos prebióticos son hidratos de carbono con un grado de polimerización de 10 a 20 moléculas y que tienen efecto prebiótico ya que permiten de manera selectiva el crecimiento y/o actividad de microorganismos en el colon. Además, incrementan la absorción de minerales y previenen el cáncer de colon y el incremento de colesterol unido a proteínas de baja densidad (Sabater-Molina et al., 2009). Los oligosacáridos prebióticos más importantes son los fructooligosacáridos como la inulina (Machado et al., 2015).

1.3 FIBRA DE ALCACHOFA Y SU IMPORTANCIA

Las fuentes de fibra convencionales son, principalmente, el salvado de avena y trigo. El salvado de avena contiene 13,5 g de fibra dietética por cada 100 g, mientras que el salvado de trigo 44,5 g/100 g. A partir de estos salvados se formulan los alimentos integrales como panes combinando harinas integrales con harinas blancas, teniendo una cantidad final de fibra dietética de 6,9 g/100 g (Pak, 2000). Los subproductos de alcachofa contienen un alto porcentaje de fibra dietética. Según diferentes estudios, los subproductos contienen entre 53-67% de fibra dietética (Ruiz-Cano et al., 2014). Este amplio rango de la fibra puede ser debido a la diferente composición de los distintos subproductos. En el estudio realizado por Boubaker et al. (2016b) sobre la extracción de fibra a partir de tallos de alcachofa obtuvieron un resultado de 85,28 g de fibra total en 100 g de muestra seca. Claus et al. (2015) obtuvieron 13,07 gramos de fibra total por 100 g de receptáculo seco y 44,23 g por cada 100 g de

brácteas secas. En cuanto a las hojas, en un estudio realizado por Calvo Ramírez (2013) se encontró fibra insoluble y soluble (inulina) a partir de hojas de alcachofa y se obtuvo unos porcentajes respecto a materia seca de 53,78% de fibra insoluble y 11,86% de fibra soluble. Como se puede observar, los subproductos de alcachofa contienen mayor cantidad de fibra que el salvado de avena y trigo, por lo que los subproductos de alcachofa podrían utilizarse como nueva fuente de fibra.

Existen muchas definiciones para el término “fibra dietética”, aunque comúnmente se define como conjunto de oligosacáridos, polisacáridos, ligninas y otras sustancias que no pueden ser digeridas por el ser humano. Además, se puede distinguir un grupo de estos compuestos con el nombre de fibra funcional (hidratos de carbono no digeribles aislados que aportan efectos beneficiosos para la salud) (Olagnero et al., 2007). Unos autores definen fibra dietética como conjuntos de carbohidratos poliméricos provenientes de plantas como celulosa, hemicelulosa, pectinas, gomas o almidón resistente no digeribles. Otros autores, optan por la opción de conjunto de carbohidratos poliméricos no digeribles con tres o más monómeros, y otros definen la fibra dietética como conjunto de carbohidratos y lignina, existentes en la planta y que tienen beneficios fisiológicos sobre el ser humano (Elleuch et al., 2011)

Principalmente el término de fibra dietética se refiere a hemicelulosa, celulosa y lignina. Las hemicelulosas son un grupo heterogéneo de polisacáridos ramificados cuya cadena principal está formada principalmente por D-xilosa, D-manosa y D-galactosa (Figura 3), y las ramificaciones por L-arabinosa, D-galactosa y ácidos urónicos. La celulosa es un polisacárido lineal homogéneo (Figura 4) compuesto por enlaces β (1, 4) de D-glucosa (Tejada-Ortigoza et al., 2016). Las ligninas son copolímeros derivados principalmente de tres unidades fenilpropano monoméricas básicas: alcohol p-cumarílico, alcohol conijerílico y alcohol sinapílico (Figura 5) (Chávez y Domine, 2013).

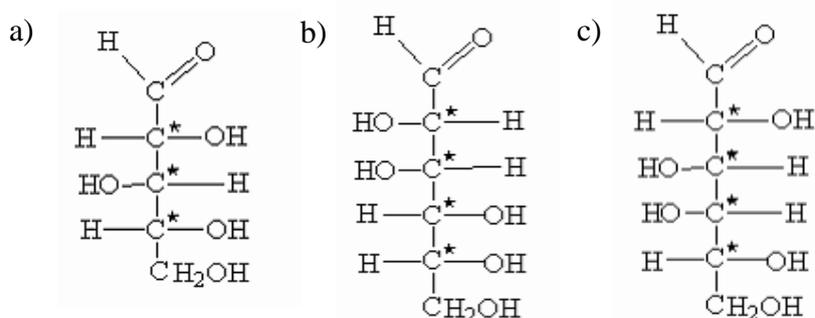


Figura 3. Estructuras químicas de los principales compuestos de la hemicelulosa: a) D-xilosa, b) D-manosa y c) D-galactosa.

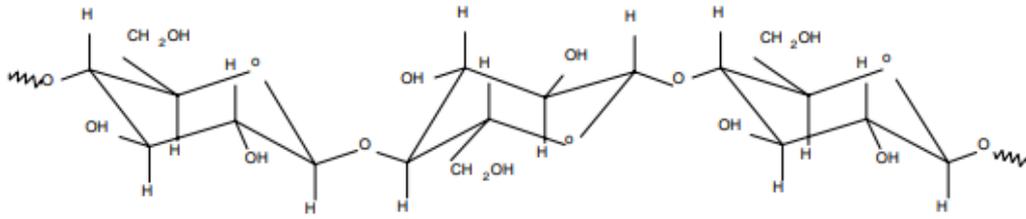


Figura 4. Estructura química de la celulosa.

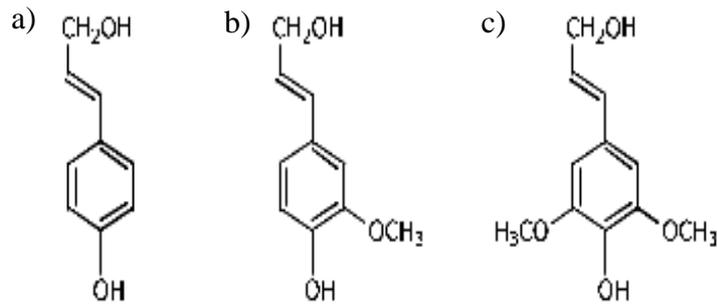


Figura 5. Estructuras químicas de los alcoholes base de la lignina: a) alcohol p-cumarílico, b) alcohol coniferílico y c) alcohol sinapílico

Por otro lado, se puede clasificar la fibra dietética como soluble e insoluble (Figura 6). La solubilidad de la fibra depende de la estructura de las moléculas y sus enlaces y se ve afectada por la temperatura y la fuerza iónica (Elleuch et al. 2011).

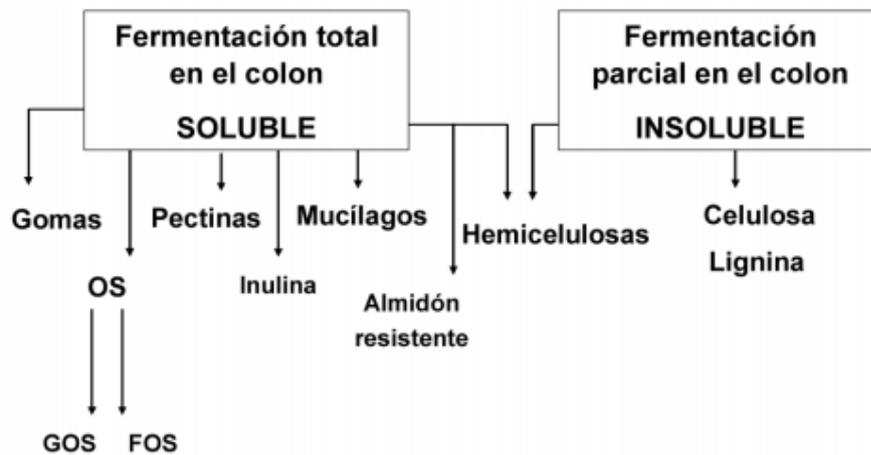


Figura 6. Clasificación de la fibra dietética. Fuente: Torija Isasa (2009)

Las fibras solubles, en contacto con el agua, forman soluciones altamente viscosas y son fermentables en el colon. Las fibras insolubles son capaces de retener agua en su matriz formando mezclas de baja viscosidad, aumentando la masa fecal y son poco fermentables o no fermentables (Escudero-Álvarez y González-Sánchez, 2006). Como se puede observar en la clasificación de la fibra dietética (Figura 6), la hemicelulosa se encuentra tanto en el grupo de

las fibras solubles como en el de las insolubles. Esto es debido a que, normalmente, la hemicelulosa es insoluble en agua, pero en condiciones especiales y específicas puede ser parcialmente soluble (Matos-Chamorro y Chambilla-Mamani, 2010).

La inulina es un carbohidrato no digerible comúnmente usado por la industria como fibra dietética soluble, como prebiótico y como sustituto del azúcar (Khuenpet et al. 2017). La inulina (Figura 7) es un polímero lineal formado por moléculas de fructosa unidas por enlaces β (1, 2) terminado por una molécula de D-glucosa unida a otra de fructosa mediante enlace α (1, 2) y tiene un grado de polimerización desde 4 hasta 100. Según el estudio realizado por de Falco et al. (2015), el 75% de los azúcares de las partes comestibles de la alcachofa se corresponde con la inulina. La inulina es resistente a la digestión del intestino delgado, pero es fermentada en el intestino grueso. El 90% de la inulina pasa al colon y se digiere por la acción de las bacterias presentes. En cuanto al efecto reductor del perfil lipídico (mejora del metabolismo de grasas), la inulina provoca un descenso del nivel de triglicéridos. Por otro lado, la inulina regula el tránsito intestinal, de manera que evita el estreñimiento (Shoaib et al. 2016).

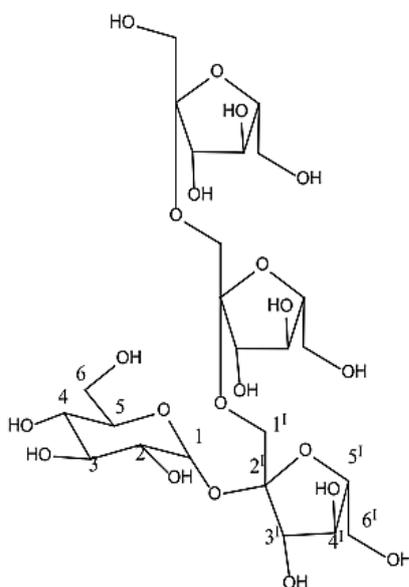


Figura 7. Estructura química de la inulina. Fuente: de Falco et al. (2015)

El interés de la industria por la inulina es debido a su comportamiento como prebiótico, es decir, por su capacidad selectiva de estimular el crecimiento de un grupo importante de bacterias en el colon, en concreto bifidobacterias y lactobacilos, además de disminuir la cantidad de especies perjudiciales como *Escherichia coli*, por lo que previene enfermedades gastrointestinales y trastornos en la microbiota intestinal. Otro aspecto importante de la

inulina es la capacidad de regular la ingesta de alimentos y el apetito. Esto es debido a que los productos resultantes de la fermentación de la inulina en el colon llegan a la sangre y disminuyen el nivel de hormonas en sangre responsables de provocar la necesidad de ingerir alimentos, reduciendo así el apetito (Shoaib et al., 2016). Además, presenta otros efectos como el refuerzo de las funciones inmunológicas ante cáncer o tumores (la inulina es capaz de inhibir, no solo microorganismos, sino también la aparición de tumores), el aumento de la biodisponibilidad y absorción de minerales como hierro, magnesio o calcio; y la mejora del metabolismo de grasas o de la respuesta glicémica (de Falco et al., 2015; Madrigal y Sangronis, 2007; Shoaib et al., 2016). En cuanto al uso de inulina en alimentos, se ha usado como sustituto de grasas (ya que forma geles con el agua que consiguen características sensoriales similares a la grasa) y como sustituto a azúcares (con un poder edulcorante hasta un 35% superior a la de la sacarosa) (Shoaib et al., 2016).

En general, la fibra dietética posee propiedades funcionales tecnológicas de gran interés para la industria alimentaria, entre las que destacan las siguientes:

- a) Capacidad de retención de agua, que se expresa como la máxima cantidad de agua (mL) que puede ser retenida por gramo de material seco. Los valores obtenidos para la capacidad de retención de agua de fibra total varían desde 4,89 hasta 18,6 g agua/g de materia seca, dependiendo de la procedencia de la fibra (Elleuch et al., 2011). Esta propiedad afecta a la viscosidad de los productos, por lo que puede facilitar o dificultar su procesamiento. Los polisacáridos solubles tienen una gran capacidad hidrofílica por lo que retienen mucha agua, mientras que la fibra insoluble (celulosa principalmente), al tener enlaces intermoleculares, retiene poca agua. Gracias a la propiedad de retener agua, la fibra dietética soluble forma geles obteniendo disoluciones viscosas capaces de estabilizar emulsiones y espumas, por lo que pueden sustituir grasas en alimentos (Matos-Chamorro y Chambilla-Mamani, 2010; Tejada-Ortigoza et al., 2016). Además, la fibra soluble reduce la respuesta glicémica y el colesterol en sangre, combatiendo así enfermedades cardiovasculares. Sin embargo, la fibra insoluble es la encargada de disminuir la densidad de soluciones, incrementando el volumen fecal y disminuyendo el tránsito intestinal (Elleuch et al., 2011).
- b) Capacidad de retención de aceite, que expresa la máxima cantidad de aceite (g) que puede ser retenido por un gramo de material seco tras mezclar, incubar y centrifugar una mezcla de aceite y fibra. La retención elevada de aceite imparte jugosidad al alimento,

mientras que una baja retención proporciona sensación no grasa en productos de fritura. Los valores obtenidos en cuanto a la retención de aceite varía desde 1 hasta 9,75 g aceite/g de materia seca, dependiendo de la procedencia de la fibra (Elleuch et al., 2011).

- c) Habilidad para intercambiar cationes, relacionada con la absorción de minerales. Esta propiedad depende del medio en el que las fibras se encuentren. En estudios realizados en animales, se observó un aumento de la absorción de minerales como calcio, hierro, magnesio o zinc al alimentar los animales con dietas enriquecidas en fructooligosacáridos. Un efecto similar se observó en un estudio realizado en adolescentes y mujeres menopáusicas (Sabater-Molina et al., 2009).

Además, la fibra dietética presenta efectos beneficiosos para la salud. En primer lugar, provoca un efecto hipocolesterolémico, previniendo enfermedades cardiovasculares generadas por el colesterol de baja densidad (LDL). Esta propiedad corresponde fundamentalmente a la fibra soluble (Matos-Chamorro y Chambilla-Mamani, 2010). Un estudio en ratas para determinar la reducción de los niveles de triglicéridos en sangre obtuvo resultados beneficiosos para la reducción de los triglicéridos al añadir 100 g de fructooligosacáridos por cada kilogramo de dieta (Sabater-Molina et al., 2009). Otro efecto provocado por la fibra dietética es la regulación del tránsito intestinal. Las fibras insolubles en agua son encargadas de aumentar la velocidad del tránsito intestinal, mientras que las solubles lo disminuyen. La propiedad de la fibra relacionada con el control de la velocidad del tránsito intestinal puede tener diferentes efectos como 1) producir sensación de saciedad, 2) aumentar el tránsito intestinal, 3) controlar el estreñimiento, 4) retrasar la absorción de glucosa (menor índice glicémico), 5) disminuir el contenido calórico de la dieta, 6) mantener y desarrollar la microbiota intestinal o 7) prevenir el cáncer intestinal (Matos-Chamorro y Chambilla-Mamani, 2010). Estos beneficios se pueden comprobar en estudios como en el de Elleuch et al. (2008), en el cual en 9 de cada 10 personas mejoraban el estreñimiento tras la ingesta de fibra (fructooligosacáridos e inulina) o en el de Sabater-Molina et al. (2009), en el cual el consumo de fructooligosacáridos en una dosis comprendida entre 4 y 15 g por día, así como la ingesta de 20 a 40 g de inulina, incrementaba el bolo fecal y la frecuencia de excreción.

Todas estas funciones y propiedades de la fibra son muy importantes ya que en los últimos años, se ha incrementado el número de casos de enfermedades relacionadas con la

alimentación. Las enfermedades más importantes son la obesidad o sobrepeso, colesterol y diabetes.

La determinación de la fibra dietética es un análisis laborioso debido a la gran variedad y complejidad de los compuestos que la conforman. Aun así, los métodos para determinar fibra dietética se pueden dividir, principalmente, en tres grupos: a) gravimétrico no enzimático, b) gravimétrico enzimático y c) químico-enzimático. Los métodos más utilizados son el método gravimétrico enzimático oficial de la Asociación Oficial de Química Analítica (AOAC) y el método químico-enzimático (Elleuch et al., 2011). Comúnmente, de manera previa a la determinación de fibra, se aplica una serie de extracciones a la muestra para eliminar proteínas y polifenoles. En la actualidad, para extraer fibra se emplean tanto técnicas de extracción tradicionales, las cuales combinan disolventes, tiempos y temperatura, como las tecnologías emergentes (microondas, ultrasonidos o altas presiones) (Tejada-Ortigoza et al., 2016).

1.4 OBJETIVOS

El objetivo del presente estudio es determinar la fibra dietética (tanto soluble como insoluble) procedente de subproductos de alcachofa con el fin de ampliar las fuentes de fibra convencionales y buscar una salida a los residuos generados por las industrias. Una vez determinada la fibra, con el objetivo de caracterizarla, se analizarán los compuesto fenólicos totales retenidos en ella y su capacidad antioxidante.

2 MATERIAL Y MÉTODOS

2.1 MATERIAL

Las muestras de alcachofa se adquirieron en un mercado de la localidad de Pamplona (Navarra, España) bajo la Denominación de Origen “Alcachofa de Tudela”, perteneciente a la variedad *Cynara scolymus*. En primer lugar, se separaron las partes de la muestra correspondientes a los subproductos de la industria que no se aprovechan, es decir, las hojas, tallos y brácteas externas, y se lavaron y trocearon a mano. A continuación, las muestras se liofilizaron (liofilizador Telstar Cryodos) y molieron con un molinillo de café de uso doméstico. Las muestras se mantuvieron a temperaturas por debajo de los -20 °C hasta el momento de su uso.

2.2 PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS

De manera previa a la determinación de fibra, con el objetivo de realizar una valorización integral de la muestra, se realizó una extracción de los antioxidantes para analizarlos en otro estudio. La extracción de los antioxidantes se realizó con agua (agua Milli Q) o con metanol (Scharlab S.L., Sentmenat, España) al 60% con o sin ultrasonidos. Se partió de 4 g de muestra y se le añadió 100 mL del disolvente. El tiempo de permanencia con los disolventes fue en todos los casos de 1h y el tratamiento en baño de ultrasonidos (P-Selecta Ultrasons) de 30 min, suponiendo un total de 90 min. En la Figura 8 se pueden observar las 4 extracciones realizadas a la muestra (E1-E4), todas ellas se hicieron por duplicado.

Una vez realizadas las diferentes extracciones, se filtraron las muestras a vacío con un embudo Büchner y un matraz kitasato. El residuo sólido retenido en el embudo donde queda retenida la fibra, se traspasó a placas petri y se secaron en estufa a 30 °C hasta peso constante. Las muestras se guardaron en refrigeración hasta el momento de su análisis.

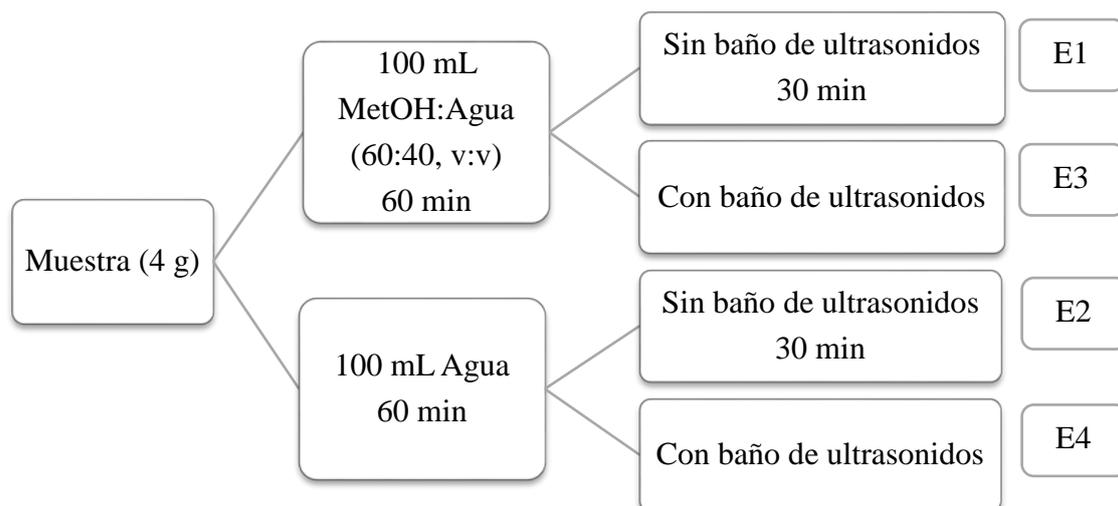


Figura 8. Resumen de las extracciones realizadas sobre la muestra

2.3 DETERMINACIÓN DE FIBRA

Para la determinación de fibra se utilizó el método oficial de la AOAC (Lee et al., 1992). En general, el procedimiento es un método gravimétrico-enzimático que, a través de una serie de digestiones y filtraciones, por diferencia de peso, se calcula la cantidad de fibra soluble e insoluble existente en las muestras. El diagrama completo del proceso de determinación de fibra se puede observar en la Figura 9. Los reactivos necesarios para la determinación de fibra (α -amilasa termoestable, proteasa y celita) se adquirieron de Sigma-Aldrich a través del kit para la determinación de fibra total.

En primer lugar, en un matraz erlenmeyer, se pesa 1 g de muestra seca y se añade 50 mL de tampón fosfato (pH = 6) y 0,1 mL de α -amilasa para gelatinizar la fibra y facilitar la separación de las proteínas de las estructuras fibrosas, y se introduce en un baño con agua hirviendo (P>Selecta) durante 15 min desde que la muestra alcanza los 95 °C. Una vez realizada la primera digestión, se dejan enfriar los matraces y se ajusta el pH a $7,5 \pm 0,2$ con unos 10 mL de NaOH 0,275 N. A continuación, se realiza la segunda digestión. Para ello, se añade a la muestra 0,1 mL de una dilución de proteasa preparada en el momento (50 mg/mL) y se mantiene a 60 °C durante 30 minutos. Una vez acabada la segunda digestión se dejan enfriar los matraces hasta temperatura ambiente.

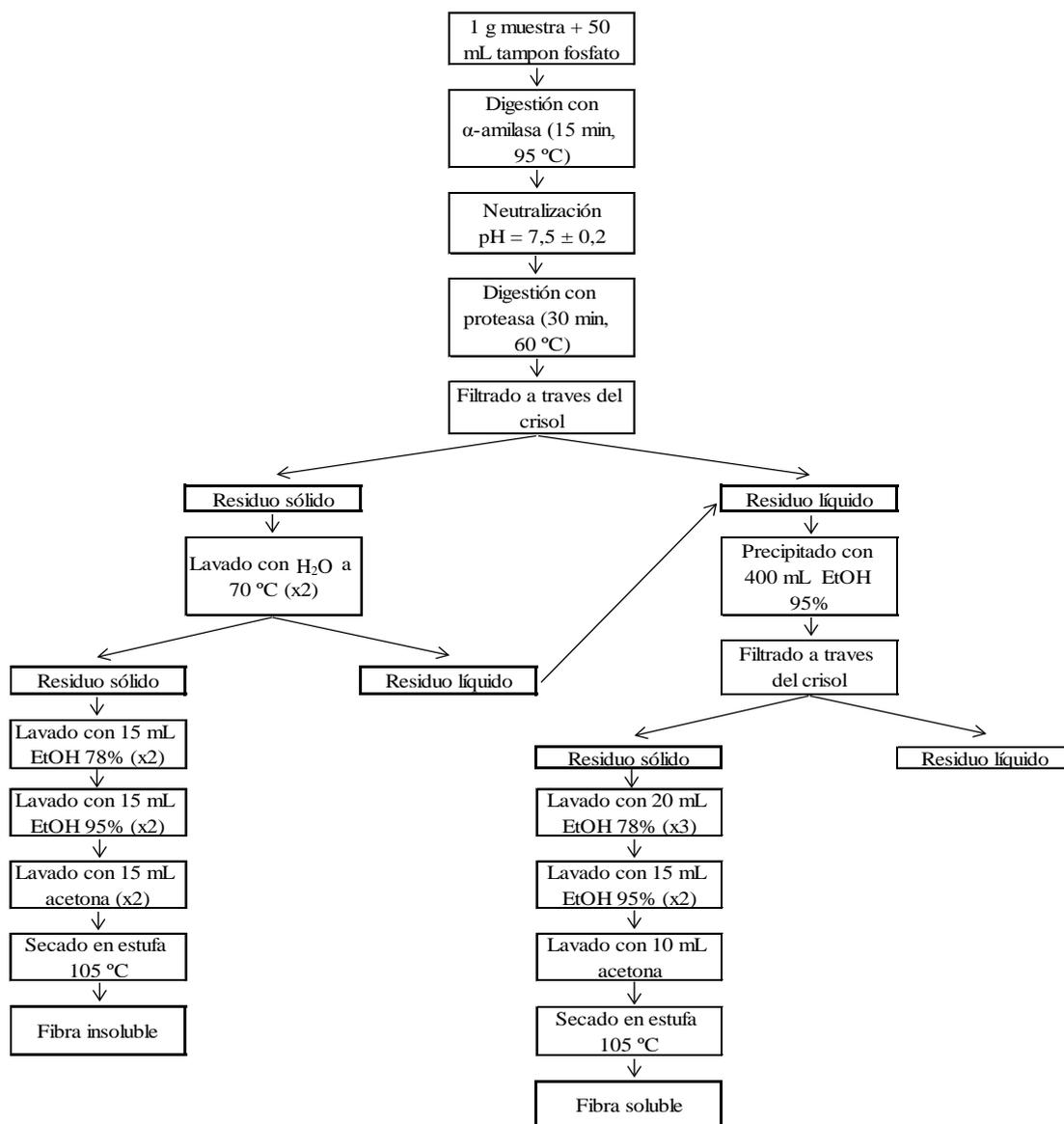


Figura 9. Diagrama de la determinación de fibra insoluble y soluble.

Tras las digestiones con α -amilasa y proteasa y una vez enfriados los matraces, se filtraron las muestras. Para ello, se utilizaron crisoles previamente preparados (se secaron en estufa, se les colocó papel de filtro libre de cenizas, Schlescher & Schuell, Sassel, Alemania, y 0,5 g de celita y se volvieron a secar en estufa a 130 °C). Se realizó una filtración a vacío de manera que la fibra insoluble queda retenida en el crisol (previamente humedecido con 3 mL de agua miliQ) y la fibra soluble pasa con los disolventes. Una vez filtradas las muestras, se lava dos veces el residuo que queda en el crisol con agua a 70 °C. El filtrado de la digestión y de los lavados con agua se guarda para determinar posteriormente la fibra soluble. A continuación, se lava el residuo sólido del crisol 3 veces con 15 mL de etanol (Oppac, Noain, España) al 78%, dos veces con 15 mL de etanol al 95% y una con 15 mL de acetona (Oppac, Noain, España). Tras estos lavados, se lleva el crisol con el residuo sólido a estufa a 105 °C

hasta peso constante. El peso final del crisol con el papel de filtro, la celita y el residuo sólido se anota para luego calcular la fibra insoluble por diferencia con el sistema sin el residuo de alcachofa.

El filtrado retirado para determinar fibra soluble (unos 100 mL aproximadamente) se deja precipitar toda la noche con 400 mL de etanol al 95%. Una vez precipitada la fibra soluble, se filtra a través del sistema de vacío usando crisoles previamente humedecidos con unos 15 mL de etanol al 78% y se lava el residuo que queda retenido 3 veces con 20 mL de etanol al 78%, 2 veces con 10 mL de etanol al 95% y 1 vez con 10 mL de acetona. Tras los lavados, se llevan los crisoles con el residuo sólido a estufa a 105 °C hasta peso constante y se anota el peso final con ayuda de una balanza (Sartorius analytic) para determinar, por diferencia de pesos con respecto al sistema sin el residuo, la cantidad de fibra soluble

Para determinar la fibra soluble e insoluble de cada muestra con exactitud, se determinó la cantidad de proteínas y cenizas para restársela a la cantidad de fibra ya que son compuestos que quedan retenidos en las estructuras fibrosas y sobreestimarían el resultado final. La fibra total de cada muestra se calculó como la suma de la fibra soluble e insoluble.

2.4 DETERMINACIÓN DE PROTEÍNA

La determinación de proteína se realizó según el método Kjeldahl, ajustando a nuestro producto las condiciones establecidas según la AOAC para la determinación de nitrógeno en cereales (Madrid-Vicente y Cenzano, 1994a) y las recomendaciones generales fijadas por Büchi (1998) para la determinación de nitrógeno con los equipos de dicha marca. La fracción de fibra insoluble o soluble seca, junto al papel de filtro y la celita utilizada se colocó en los tubos digestores y se añadió 10 mL de H₂SO₄ concentrado (PanReac, Darmstadt, Alemania), 10 g de K₂SO₄ para aumentar el punto de ebullición y 0.1 de CuSO₄ como catalizador. Tras 2 horas de digestión, se sacaron las muestras y se dejaron enfriar hasta temperatura ambiente. Una vez enfriadas, se les añadió 40 mL de agua destilada. A continuación, se destiló la muestra con 45 mL de NaOH al 33% y se recogió el destilado sobre 20 mL de H₂SO₄ 0,1 N que contenía 2-3 gotas de rojo de metilo, dando por finalizada la destilación cuando el volumen total alcanzado fue de 150 mL. Una vez terminada la destilación, se valoró el exceso de H₂SO₄ neutralizando el destilado con NaOH 0.1 N y, una vez conocido el volumen necesario para neutralizar el destilado, se calculó el % de nitrógeno total y multiplicando por 6,25 se calculó la cantidad de proteína.

2.5 DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE CENIZAS

La determinación de cenizas se llevó a cabo siguiendo el método oficial establecido por la AOAC (Madrid-Vicente y Cenzano, 1994b) para el análisis de especias, muestras con aspecto y composición similar a la de las muestras a analizar. El método consiste en, por diferencia de pesos, calcular el contenido en cenizas de una muestra. Para ello, se introducen las cápsulas en la mufla (Hobersal) a 525 °C durante 15 min y se dejan enfriar para posteriormente pesar en la balanza. Una vez anotado el peso, se colocan las muestras en las cápsulas y en primer lugar, para evitar proyecciones de muestra y la generación excesiva de humo en la mufla, las muestras se carbonizaron en las mismas capsulas en placas calefactoras durante unos 30 minutos. Posteriormente, se introdujeron en la mufla a 525 °C durante 15 min se dejaron enfriar. Una vez finalizado el proceso, las cápsulas con las cenizas se pesaron y se calculó el contenido en cenizas por diferencia gravimétrica.

2.6 CAPACIDAD ANTIOXIDANTE DE LA FIBRA

La determinación de la capacidad antioxidante de la fibra dietética se llevó a cabo utilizando el método de decoloración por el radical ABTS descrito por Re et al. (1999). Para ello, las muestras se sometieron a dos nuevas extracciones consecutivas con etanol y acetona. Se cogieron 0,5 g de cada muestra, se colocaron en un matraz erlenmeyer, se les añadió 40 mL de etanol al 50% y se dejó durante 1 h a temperatura ambiente. A continuación, se filtró y se volvió a dejar el residuo sólido con 40 mL de acetona al 70% durante 1 hora a temperatura ambiente. Transcurrido el tiempo, se filtró la muestra y el residuo líquido se juntó con el residuo de la primera extracción y se llevó al rotavapor y a liofilizar previa congelación. Una vez liofilizado, el extracto sólido se disolvió en 2 mL de metanol al 50%. Los extractos se almacenaron bajo congelación hasta el momento de su análisis.

El radical ABTS se disolvió en agua para formar una dilución 7 mM, se añadió 2,45 mM de persulfato potásico y se dejó reposar 16 h en oscuridad. Transcurrido este tiempo, se diluyó la disolución en etanol hasta conseguir una absorbancia de $0,7 \pm 0,02$ a 734 nm (0,5 mL de ABTS 7 mM en 35 mL de etanol aproximadamente).

Una vez ajustado el ABTS a una absorbancia de $0,7 \pm 0,02$ a 734 nm, se realizó una recta de calibrado con ácido ascórbico a unas concentraciones comprendidas entre 0 y 2.4 mM diluyendo 30 μ L de cada punto de la recta en 2,97 mL del ABTS diluido en etanol (Figura 10).

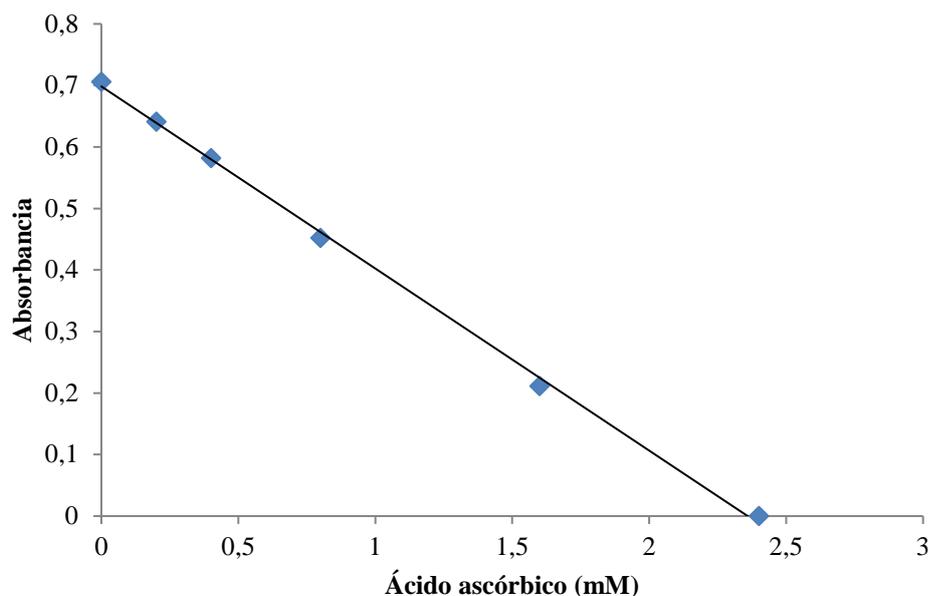


Figura 10. Recta patrón de ácido ascórbico (mM) para la determinación de la capacidad antioxidante por el método ABTS)

A continuación, se prepararon las muestras a analizar de la misma forma que la recta patrón, es decir, diluyendo 30 μ L del extracto de cada muestra en 2,97 mL de la disolución de ABTS. Todos los puntos de la recta patrón y las muestras a analizar se dejaron reposar durante 30 minutos a oscuridad de manera previa a la medida de la absorbancia a una longitud de onda de 734 nm. Los resultados obtenidos para cada una de las muestras se expresaron como equivalentes de ácido ascórbico por gramo de alcachofa seca.

2.7 COMPUESTOS FENÓLICOS TOTALES

La determinación de los compuestos fenólicos totales de los extractos de las muestras de alcachofa se llevó a cabo mediante el método Folin Ciocalteu descrito por Peschel et al. (2006) y Singleton y Rossi (1965). En primer lugar, se preparó una disolución madre de ácido gálico de concentración 1g/L para elaborar la recta de calibrado, comprendida entre 0 y 3,2 mM. Para ello, se mezcló 0,1 mL de cada patrón con 7,9 mL de H₂O y con 0,5 mL del reactivo Folin Ciocalteu. Tras 2 minutos, se añadió a la mezcla 1,5 mL de carbonato sódico al 20% y se dejó reposar la disolución durante 2 h. Transcurrido el tiempo, se midió la absorbancia a 765 nm. De igual manera, se prepararon las muestras con 0,1 mL de cada uno de los extractos de las muestras, obtenidos de la misma forma que para la determinación de la capacidad antioxidante (ver apartado 2.6) para determinar los compuestos fenólicos totales expresados como equivalentes de ácido gálico por gramo de alcachofa seca. En la Figura 11 se presenta la recta patrón de ácido gálico

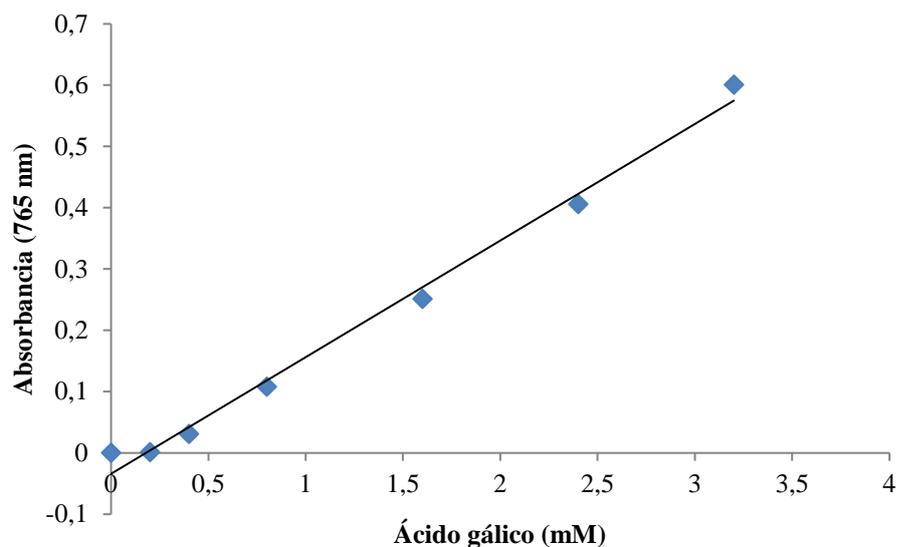


Figura 11. Recta patrón de ácido gálico para la determinación del contenido de compuestos fenólicos totales

2.8 TRATAMIENTO ESTADÍSTICO

El tratamiento de los datos se llevó a cabo a través del programa de Excel (versión 2013) con el que se realizaron los cálculos y gráficos correspondientes de cada uno de los análisis realizados.

Para el estudio estadístico de los datos se utilizó el programa R-comander versión 2.4-4 (Fox and Bouchet-Valat, 2018). Se realizó un diseño factorial de los resultados para buscar diferencias significativas entre las muestras y tratamientos realizados, utilizando la extensión DoE.base de R-comander descrita por Grömping (2018).

3 RESULTADOS

3.1 DETERMINACIÓN DE FIBRA DIETÉTICA INSOLUBLE, SOLUBLE Y TOTAL

La fibra insoluble y soluble de las muestras contiene proteínas unidas fuertemente a las estructuras fibrosas y cenizas. Por ello, los datos de proteína y ceniza se calcularon en cada una de las muestras, tanto para la fibra insoluble como para la soluble para determinar con exactitud la cantidad de cada una de las fracciones de fibra. En primer lugar, se presentan los resultados obtenidos para el contenido proteico y cenizas de las fracciones de fibra insoluble y soluble de cada una de las muestras, en segundo lugar, los resultados de fibra insoluble, soluble y total. Además, se llevaron a cabo blancos del sistema para la determinación de fibra insoluble, soluble, proteína y cenizas. Los resultados de estos blancos se pueden consultar en el Anexo 2.

3.1.1 CONTENIDO PROTEICO Y CENIZAS DE LA FIBRA INSOLUBLE Y SOLUBLE

Los valores obtenidos en la determinación de proteína y cenizas, necesarios para calcular el contenido de fibra dietética insoluble, soluble y total, se encuentran resumidos en la Tabla 1.

Tabla 1. Contenido de proteína y cenizas de la fibra insoluble y soluble obtenida de las muestras de residuos de alcachofa analizadas (E1-E4).

	Fibra Insoluble		Fibra Soluble	
	Proteína (g/g m.s)	Cenizas (g/g m.s)	Proteína (g/g m.s)	Cenizas (g/g m.s)
E1	0,067 ± 0,007	0,06 ± 0,01	0,020 ± 0,001	0,03 ± 0,04
E2	0,089 ± 0,004	0,05 ± 0,02	0,016 ± 0,001	0,042 ± 0,009
E3	0,088 ± 0,002	0,05 ± 0,02	0,016 ± 0,002	0,000
E4	0,095 ± 0,000	0,06 ± 0,01	0,013 ± 0,001	0,000

El contenido proteico de la fibra insoluble de las muestras analizadas se encuentra comprendido entre 0,067 y 0,095 g/g alcachofa seca, mientras que las fracciones solubles presentan un contenido proteico de 0,013 a 0,02 g/g alcachofa seca. Estos valores obtenidos son similares a los descritos por Grigelmo-Miguel y Martin-Belloso (1999), que analizaron el contenido proteico de varios subproductos de la industria alimentaria (entre los que se encontraba la alcachofa) con el fin de comparar la cantidad de fibra dietética, obteniendo un

contenido proteico en la fracción de fibra total en alcachofa del 15,6%. En nuestro caso, el valor de proteína en la fibra total (suma de la proteína de la fibra insoluble y la de la fibra soluble) es del $0,087 \pm 0,007$ a $0,108 \pm 0,001$ g/g alcachofa seca (8,7 a 10,8%). Por otro lado, Boubaker et al. (2016) analizaron el contenido proteico de la fibra procedente de tallos de alcachofa y obtuvieron un porcentaje del 6,66%. Aunque es un porcentaje inferior al obtenido en este estudio, hay que tener en cuenta que solo consideraron los tallos como subproductos, y en este estudio se analizaron tallos, brácteas externas y hojas.

En cuanto a las cenizas, en la fracción de fibra insoluble se obtuvo una cantidad de 0,05 a 0,063 g/g alcachofa seca (5 a 6,3%), mientras que para la fracción soluble fue de 0,0 a 0,042 g/g alcachofa seca (0 a 4,2%). En el estudio de Grigelmo-Miguel y Martin-Belloso (1999), también analizaron el contenido en cenizas, obteniendo un resultado del 7,5% de cenizas en la fibra total, y en el caso de Boubaker et al. (2016b), obtuvieron un contenido de ceniza en alcachofa del 4,76%, valores un poco inferiores a los obtenidos en nuestro caso.

En general, en este estudio las fracciones de fibra insolubles de las muestras presentaron mayor contenido proteico que las fracciones de fibra solubles en todos los casos, pudiendo deberse a una fuerte unión de las proteínas con las estructuras fibrosas insolubles de las muestras. En cuanto al contenido de cenizas, de igual manera que en el caso de las proteínas, las fracciones insolubles de todas las muestras presentaron mayor contenido de cenizas que las fracciones solubles.

3.1.2 CONTENIDO DE FIBRA DIETÉTICA INSOLUBLE

Los resultados medios de fibra dietética insoluble se encuentran representados en la Figura 12 (los datos numéricos se pueden consultar en los Anexos 1 y 2), donde se puede comparar, por un lado, las muestras extraídas con metanol al 60% (E1 y E3) con las extraídas con agua (E2 y E4), y por otro lado las que no han sido sometidas a ultrasonidos (E1 y E2) con las que sí lo han sido (E3 y E4).

En esta figura se puede observar cómo la aplicación de ultrasonidos utilizando el mismo disolvente mejora la extracción de fibra insoluble, es decir, la muestra E3 presenta mayor fracción insoluble que la muestra E1 (0,627 frente a 0,591 g/g m.s), al igual que la muestra E4 con respecto a la muestra E2 (0,676 frente a 0,651 g/g m.s).

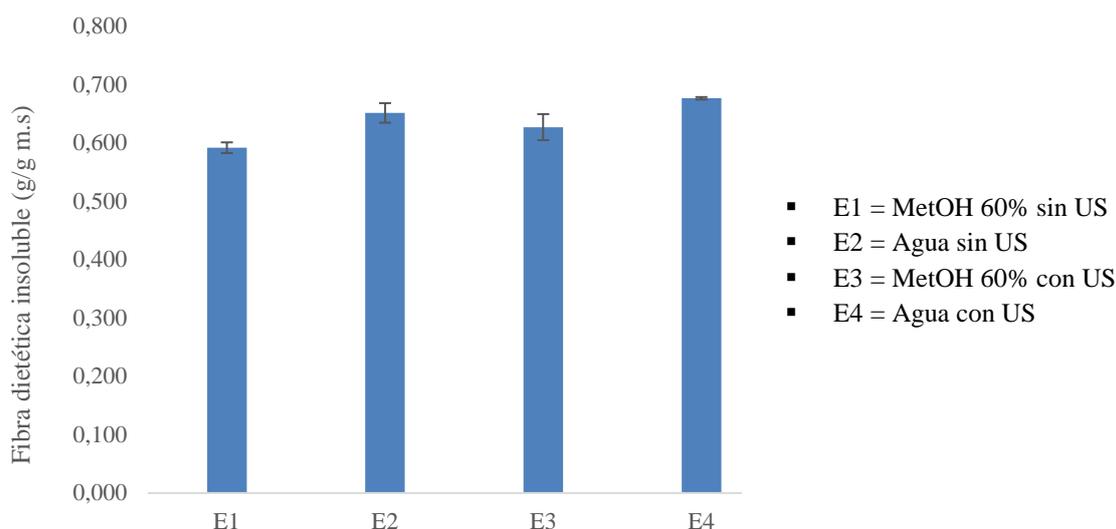


Figura 12. Contenido de fibra dietética insoluble (g/g alcachofa m.s) extraída por distintos métodos (E1-E4)

Para comparar la extracción de fibra con los distintos métodos extractivos y ver si existen diferencias estadísticamente significativas entre los distintos métodos de pretratamiento de las muestras se realizó un análisis factorial donde se estudió el efecto del disolvente y la aplicación o no de ultrasonidos sobre el contenido de fibra insoluble de cada muestra con el programa estadístico R-Comander. Los resultados estadísticos se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2. Resumen estadístico del análisis factorial del efecto del disolvente y la aplicación de ultrasonidos sobre la extracción de fibra dietética insoluble.

	Estimate	t-value
Disolvente	-0,0150*	-2.327
Ultrasonidos	0,0240**	3,723
Disolv:US	-0,0020	-0,310

*Indica diferencias significativas con $p < 0,05$; **Indica diferencias significativas con $p < 0,1$

En primer lugar, destacar que no existe interacción entre los dos factores estudiados (tipo de disolvente y aplicación de ultrasonidos), aspecto positivo para estudiar el efecto individual de los dos factores sobre el contenido final de fibra insoluble de las muestras. El factor que más influyó en el contenido de fibra insoluble de las muestras es la aplicación o no de ultrasonidos, teniendo un efecto significativo en el aumento de fibra insoluble (p -value $< 0,05$). Por otra parte, el tipo de disolvente utilizado también influyó en el contenido de fibra insoluble final de las muestras, aunque en este caso, de forma menos significativa que en el

caso de los ultrasonidos y de forma negativa, es decir, al utilizar metanol como disolvente, disminuye la cantidad de fibra insoluble.

Este efecto se puede observar en la Figura 13, donde se ha representado la interacción y efecto de los factores estudiados (tipo de disolvente y aplicación de ultrasonidos) sobre la variable respuesta, que en este caso, se corresponde con el contenido de fibra insoluble. En el eje vertical está representado el contenido de fibra insoluble dependiendo del tipo de disolvente utilizado en la extracción y de la aplicación de ultrasonidos o no. De igual manera que los resultados del análisis factorial, al aplicar los ultrasonidos (US 2), el contenido de fibra insoluble aumentó, mientras que al realizar la extracción con metanol:agua (disolv 2) en vez de con agua (disolv 1), la cantidad de fibra insoluble tiende a disminuir.

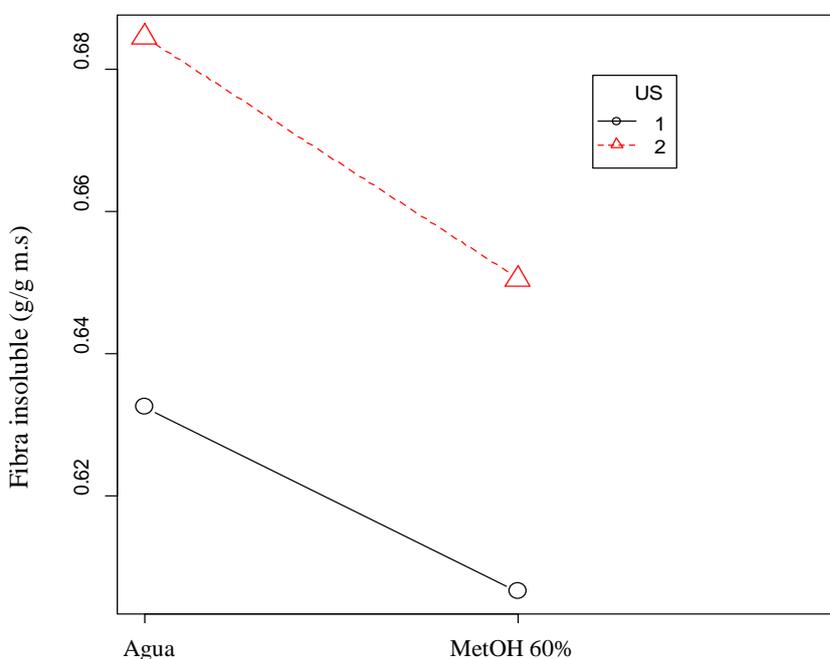


Figura 13. Grafica de la interacción y efecto de los factores estudiados (tipo de disolvente y aplicación de ultrasonidos) sobre la variable respuesta (cantidad de fibra insoluble (g)), donde US 1 = sin aplicación de ultrasonidos; US 2 = con aplicación de ultrasonidos.

Como ya se ha comentado anteriormente, al no existir interacción entre el tipo de disolvente y la aplicación o no de ultrasonidos, se puede estudiar el efecto de cada uno de ellos sobre la cantidad de fibra insoluble final de manera individual.

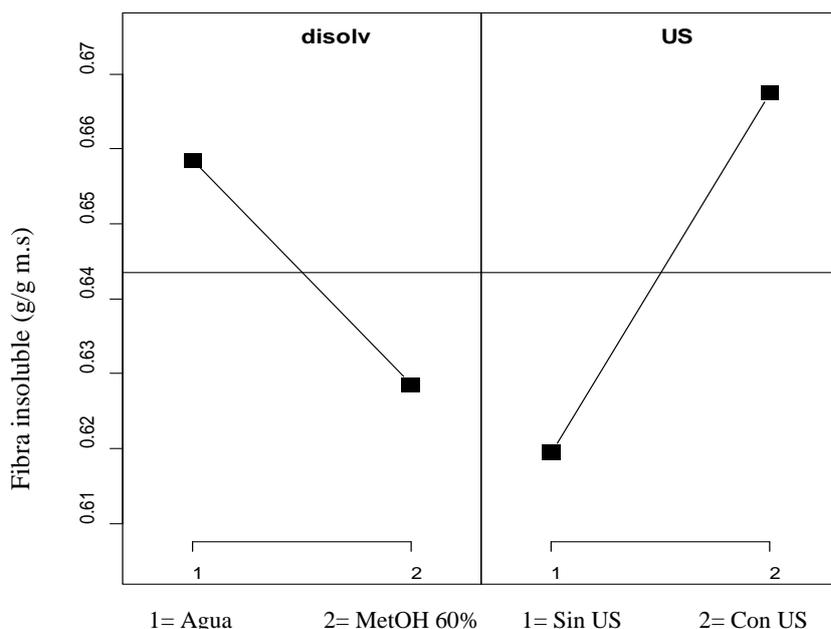


Figura 14. Efecto individual de los factores del análisis factorial sobre la variable respuesta

En la parte izquierda de la Figura 14 se puede observar el efecto del tipo de disolvente utilizado (1 = agua; 2 = metanol:agua) sobre la cantidad media de fibra insoluble, mientras que en la parte derecha, se observa el efecto de la aplicación o no de ultrasonidos (1 = sin ultrasonidos; 2 = con ultrasonidos). Si comparamos las pendientes de los dos factores, se puede apreciar cómo es superior en el caso del factor US, por lo que influye más sobre la cantidad final de fibra insoluble.

En el estudio realizado por Grigelmo-Miguel y Martin-Belloso (1999) sobre la comparación de fibra dietética de diferentes subproductos de la industria alimentaria, determinaron el contenido de fibra de residuos de alcachofa y obtuvieron un porcentaje de fibra insoluble (58,8%) inferior al obtenido en nuestro estudio. Por otro lado, en el estudio descrito por Boubaker et al. (2016b), donde determinaron la fibra dietética de tallos de alcachofa, obtuvieron un total de 67,95%, valor un poco superior al obtenido en este caso. En otro estudio del mismo autor estudiaron el efecto de los subproductos de alcachofa en la calidad de compuestos fenólicos y obtuvieron un contenido de fibra insoluble (47,14%), inferior al obtenido en nuestro estudio (Boubaker et al., 2016a). Esta diferencia entre los datos obtenidos en nuestro estudio con los obtenidos en el resto puede deberse a la diferencia de variedades, épocas, partes seleccionadas para el análisis y condiciones en las que ha sido preparada la muestra.

Por otro lado, es interesante comparar los datos de fibra dietética insoluble obtenidos en este trabajo con los valores de otros alimentos. En el artículo de Lee et al. (1992) se presentan resultados de fibra dietética de distintos alimentos, todos ellos analizados con el método utilizado en nuestro caso (enzimático-gravimétrico). Así pues, un cereal rico en fibra contiene un 30,52% de fibra insoluble, mientras que el salvado de soja, contiene un 60,53%, valores inferiores a los obtenidos en este trabajo en los subproductos de alcachofa, por lo que se puede afirmar que los residuos alimentarios de alcachofa son ricos y una buena fuente de fibra insoluble.

Además, se puede comparar la cantidad de fibra insoluble de los subproductos de alcachofa con los de otros subproductos de la industria alimentaria, como del mango (41,5%), piel de uva (54,9%), naranja (46,2-48,2%) o cacao (51,9%), todos ellos con valores inferiores a los obtenidos para los subproductos de alcachofa (59,1-67,6%). Sin embargo, existen otros subproductos con mayor contenido de fibra insoluble que los de alcachofa, como los de piña (75,2%) o piel de tomate (71,8%). En este aspecto, los subproductos de alcachofa es uno de los residuos más ricos en fibra insoluble, aunque haya otros que contengan mayor porcentaje (Tejada-Ortigoza et al., 2016).

3.1.3 CONTENIDO DE FIBRA DIETÉTICA SOLUBLE

El contenido de fibra soluble de las distintas muestras analizadas se puede observar en la Figura 15. Las muestras tratadas con metanol al 60% (E1 y E3) presentan un mayor contenido de fibra soluble que las tratadas con agua (E2 y E4), aspecto lógico por la solubilidad de este tipo de fibra en el medio acuoso. Además, se puede observar que cuando las muestras son sometidas a ultrasonidos presentan menor cantidad de fibra soluble que las no tratadas con ultrasonidos respecto a las muestras tratadas con el mismo disolvente, es decir, la muestra E3 presenta menor cantidad de fibra soluble que la muestra E1 (0,065 frente a 0,104 g/g m.s respectivamente), y la muestra E4 no presentó fibra soluble mientras que la E2 presentó 0,062 g/g m.s En la Figura 15 se puede observar el contenido de fibra soluble de cada una de las muestras analizadas (los datos numéricos se encuentran en los Anexos 1 y 2)

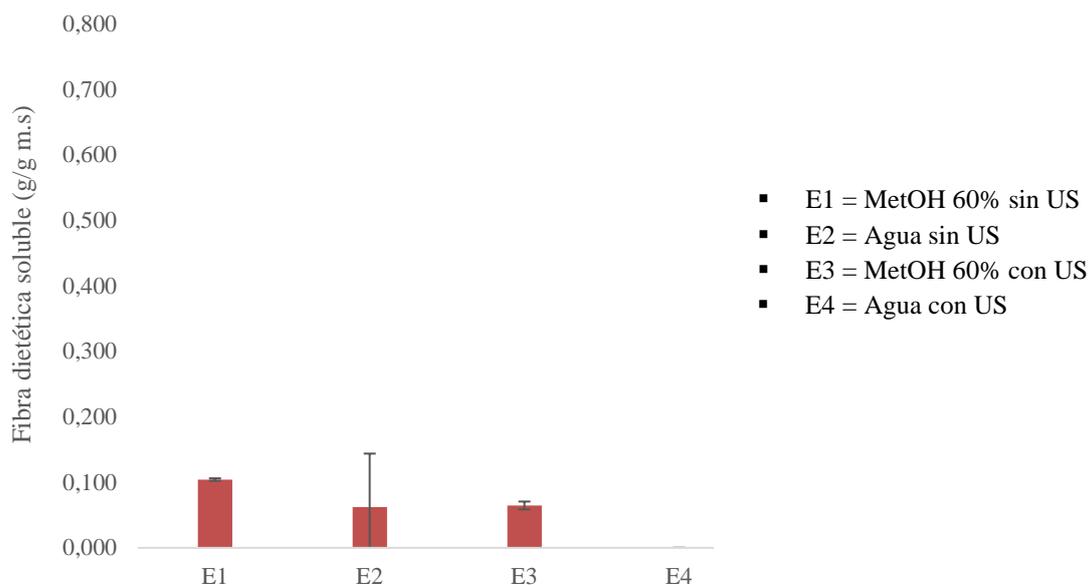


Figura 15. Contenido de fibra dietética insoluble (g/g alcachofa m.s) de las distintas muestras analizadas (E1-E4)

Con el objetivo de comprobar si estas diferencias observadas son significativas, se realizó un análisis factorial de los datos de fibra soluble dependiendo del tipo de disolvente utilizado y la aplicación o no de ultrasonidos con el programa estadístico R-Comander. El resumen estadístico del análisis factorial se presenta en la Tabla 3.

Tabla 3. Análisis factorial del efecto del disolvente y la aplicación de ultrasonidos sobre el contenido de fibra dietética soluble.

	Estimate	t-value
Disolvente	0,0150*	6,307
Ultrasonidos	-0,0378**	-15,873
Disolv:US	0,0185*	7,779

*Indica diferencias significativas con $p < 0,01$; **Indica diferencias significativas con $p < 0,001$

En este caso, al contrario que con el contenido final de fibra insoluble, existe interacción entre los dos factores estudiados ($p\text{-value} < 0,01$), es decir, entre el tipo de disolvente estudiado y la aplicación o no de ultrasonidos, por lo que se complica el estudio del efecto individual de los dos factores sobre la variable respuesta, en este caso, sobre el contenido de fibra soluble. Esta interacción se puede observar en la Figura 16 donde se encuentra representado el contenido final de fibra soluble dependiendo del disolvente y de la aplicación o no de ultrasonidos.

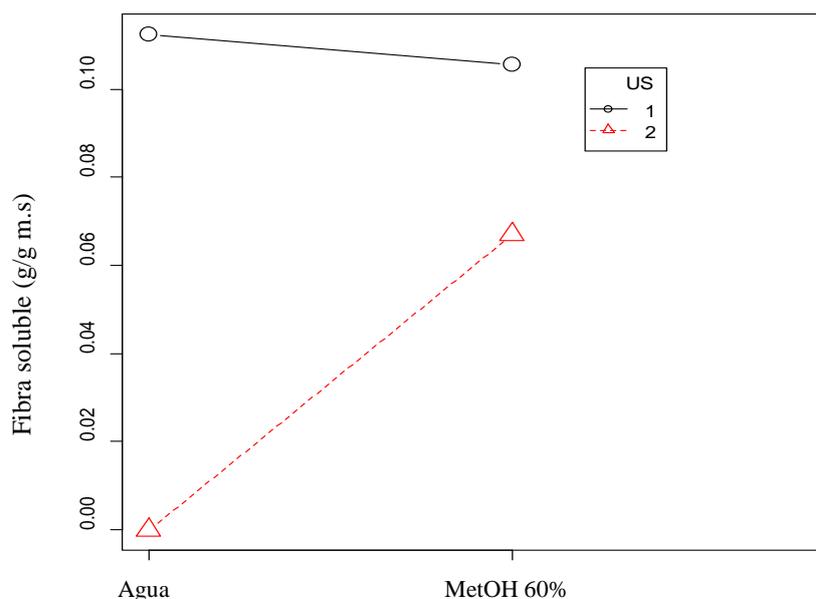


Figura 16. Grafica de la interacción y efecto de los factores estudiados (tipo de disolvente y aplicación de ultrasonidos) sobre la variable respuesta (cantidad de fibra soluble (g)), donde US 1 = sin aplicación de ultrasonidos; US 2 = con aplicación de ultrasonidos.

El factor que más afecta a la variable respuesta (contenido de fibra soluble) es la aplicación o no de ultrasonidos. Este efecto se puede observar en la Figura 16 ya que la aplicación de ultrasonidos (US 2) afectó negativamente a la fibra soluble, es decir, cuando sometemos a la muestra a la acción de los ultrasonidos, el contenido final de fibra soluble tiende a disminuir. Esta tendencia puede deberse a que la aplicación favorece la extracción de fibra soluble, concretamente inulina, provocando la solubilidad de la misma en el disolvente, por lo que tras el tratamiento a los que se someten las muestras E3 y E4, la fracción de fibra soluble se ve disminuida (Lingyun et al., 2007). En cambio, en el estudio de Machado et al. (2015) observaron que el tratamiento de las muestras precedentes de subproductos de alcachofa con ultrasonidos (en baño) dejaba retenidos en la muestra más fructooligosacáridos (inulina principalmente) que en el caso de no ser tratadas.

En cuanto al disolvente a utilizar, el efecto provocado sobre la variable respuesta depende de la aplicación de ultrasonidos debido a que existe interacción entre los dos factores. Por ello, cuando no se aplican ultrasonidos, el uso de metanol al 60% disminuye el contenido de fibra soluble, mientras que cuando se aplican ultrasonidos, el uso de metanol disminuye la fibra soluble. En estos casos donde existe interacción entre los factores, no se puede estudiar e interpretar los factores de manera individual (Uriel y Aldás 2005). Si consultamos bibliografía sobre el uso de disolventes en extracción de fibra soluble, en el estudio descrito por López-Molina et al. (2005) observaron cómo al utilizar agua como disolvente se conseguía extraer

inulina, es decir, fibra soluble, por lo que en las muestras E2 y E4, la fibra soluble debería disminuir respecto a la E1 y E3.

En el estudio realizado por Grigelmo-Miguel y Martin-Belloso (1999) sobre la comparación de fibra dietética de diferentes subproductos de la industria alimentaria, determinaron el contenido de fibra de residuos de alcachofa y obtuvieron un porcentaje de fibra soluble superior al obtenido en nuestro estudio (14,3%). De igual manera, en el estudio descrito por Boubaker et al. (2016b), donde determinaron la fibra dietética soluble de tallos de alcachofa, obtuvieron un total de 17,33% valor muy superior comparado con nuestro caso, aspecto sorprendente ya que hicieron un pretratamiento a la muestra con agua caliente, por lo que la fibra soluble debería de haber sido arrastrada por el agua como en nuestro caso (las muestras E2 y E4 presentaron 6,5 y 0% respectivamente). En otro estudio del mismo autor (Boubaker et al., 2016a) determinaron el contenido de fibra soluble de subproductos de alcachofa para estudiar el contenido de fenoles totales, obteniendo un valor comprendido en el rango de nuestras muestras (4,15%). En el estudio de Terkmane et al. (2016) consiguieron extraer un 45,98% de inulina combinando un pretratamiento con agua caliente y un calentamiento por inducción electromagnética, pero en este caso partían del corazón de la alcachofa.

De igual manera que en el caso de la fibra insoluble, los datos obtenidos para los subproductos de alcachofa se pueden comparar con las fuentes de fibra convencionales del mercado y con otros subproductos de la industria alimentaria. Los salvados de avena y soja son dos de los ingredientes más utilizados para añadir fibra soluble a los alimentos, presentando un porcentaje del 7,17 y 6,90% respectivamente, valores comprendidos en el rango obtenido para nuestras muestras (Lee et al., 1992). En cuanto a otros subproductos de la industria alimentaria, hay productos con un mayor contenido en fibra soluble que la alcachofa, como por ejemplo, frutas de la pasión (28,2%), mango (35,5%) o pera (14,1), y productos con valores comprendidos en nuestro rango, como piña (0,6%), uva (1,4%) o semillas de pera (2,9%).

3.1.4 CONTENIDO DE FIBRA DIETÉTICA TOTAL

El contenido de fibra dietética total corresponde a la suma de fibra dietética insoluble y soluble. En la Figura 17 se encuentra representado en un diagrama de barras el contenido final de fibra dietética total de las muestras E1-E4. La muestra que no ha sido sometida a la acción de los ultrasonidos (E1) presenta un mayor contenido de fibra total respecto a las que sí han

sido sometidas (E3 y E4) debido a que, como se ha comentado en el apartado anterior, los ultrasonidos disminuyen la cantidad de fibra soluble, por lo que de igual manera, la fibra total se verá disminuida. Aun así, las diferencias entre las muestras son muy pequeñas (0,676 – 0,713 g/g m.s). El rango en el que se encuentran los valores de fibra dietética total de las muestras está por debajo del valor obtenido en estudio descrito por Boubaker et al. (2016b), los cuales o determinaron un contenido de fibra total del 85.28%. Por el contrario, si comparamos los datos obtenidos con los de Frutos et al. (2008), los resultados de nuestro estudio muestran un mayor contenido de fibra total (67,6-71,3% frente a 55%). De nuevo, estas diferencias pueden deberse a la variedad de las muestras, las partes escogidas para los análisis y las condiciones de preparación de las muestras.

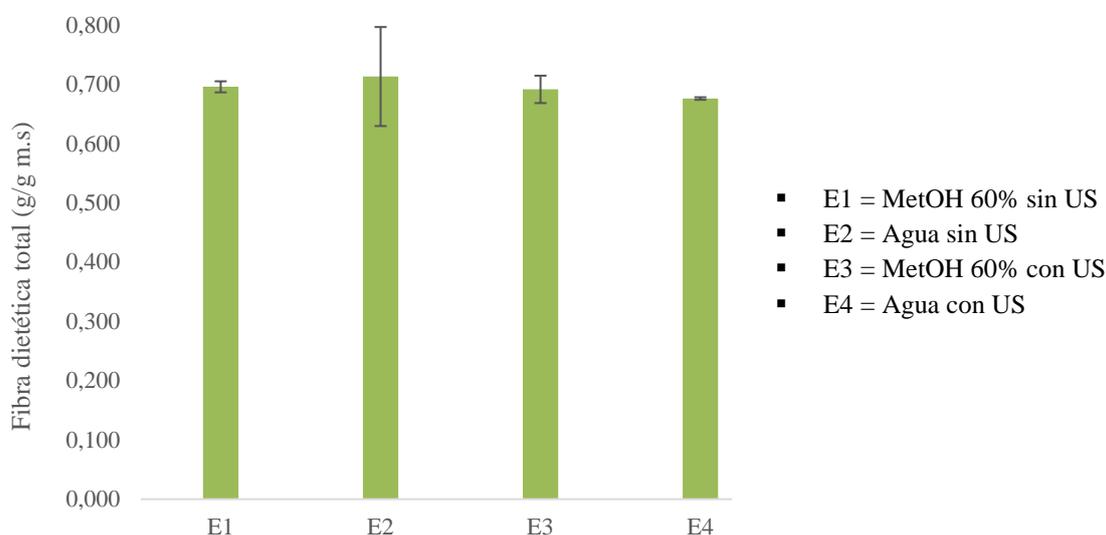


Figura 17. Contenido de fibra dietética total (g/g alcachofa m.s) de las distintas muestras analizadas (E1-E4)

En general, ninguno de los tratamientos ha influido de forma importante en el contenido de fibra total ya que el uso de agua como disolvente disminuye la fracción de fibra soluble pero aumenta la insoluble, por lo que se compensan las diferencias.

3.2 CAPACIDAD ANTIOXIDANTE Y COMPUESTOS FENÓLICOS TOTALES DE LA FIBRA

Los resultados de la capacidad antioxidante de la fibra (μg de ácido ascórbico/g m.s) determinados a partir del método de decoloración del radical ABTS[•] se encuentran representados en la Figura 18 (los datos numéricos se pueden consultar en el Anexo 3).

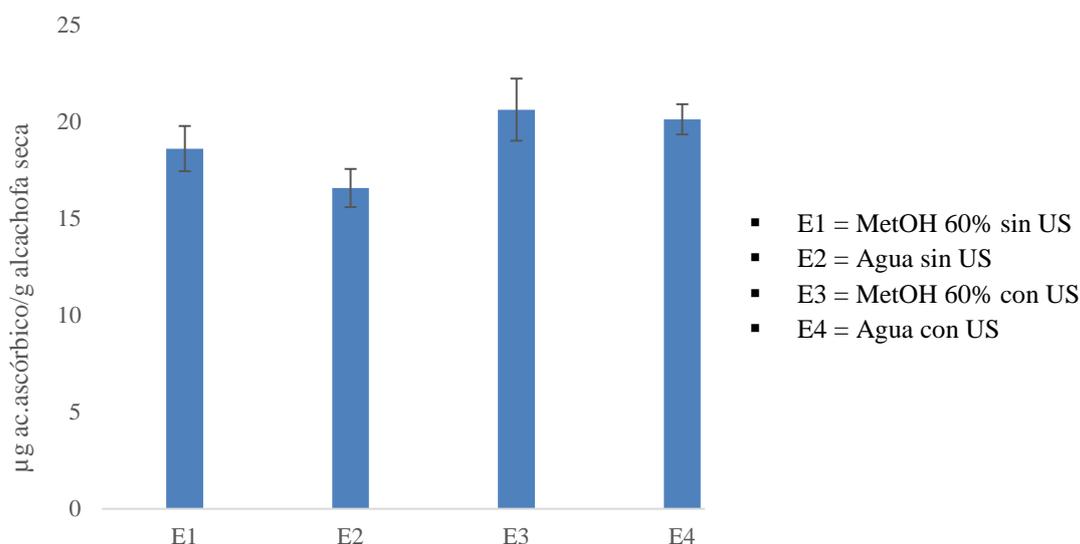


Figura 18. Capacidad antioxidante de las muestras de alcachofa (E1-E4) expresado como μg de ácido ascórbico por cada gramo de subproducto de alcachofa seca.

Las muestras que han sido sometidas a ultrasonidos (E3 y E4) presentaron mayor capacidad antioxidante que las que no fueron sometidas a este tratamiento (E1 y E2). Esto puede ser debido a que la aplicación de ultrasonidos en el pretratamiento inicial de las muestras liberó parcialmente más compuestos antioxidantes que luego fueron extraídos más fácilmente de la fibra con la maceración realizada con etanol al 50% y acetona al 70%.

Por otro lado, se pueden observar escasas diferencias entre las muestras extraídas con agua frente a las que han sido tratadas con metanol al 60%, teniendo algo menos de capacidad antioxidante las extraídas con agua (E2 frente a E1, E4 frente a E3). Para observar si estas diferencias observadas son significativas estadísticamente, se realizó un análisis factorial para estudiar el efecto del disolvente y la aplicación o no de ultrasonidos sobre la capacidad antioxidante de las muestras. En la Tabla 4 se puede observar el resultado del diseño experimental.

Tabla 4. Análisis factorial del efecto del disolvente y la aplicación de ultrasonidos sobre la capacidad antioxidante ($\mu\text{g ac.ascórbico/g m.s}$) de las muestras.

	Estimate	t-value
Disolvente	0,6339	1,526
Ultrasonidos	1,3911*	3,348
Disolv:US	-0,3846	-0,926

*Indica diferencias significativas con $p < 0,05$

Según el análisis factorial, no existe interacción entre los dos factores estudiados (tipo de disolvente y aplicación o no de ultrasonidos), por lo que se pueden estudiar por separado el efecto de cada uno de ellos sobre la variable respuesta (capacidad antioxidante expresada como $\mu\text{g ac.ascórbico}$). La aplicación o no de ultrasonidos afectó significativamente ($p < 0,05$) a la capacidad antioxidante de la muestra, aumentando su valor con la aplicación de ultrasonidos. En cuanto al tipo de disolvente estudiado, no existió un efecto claro sobre la capacidad antioxidante, pero se observó una tendencia a aumentar con el uso de metanol al 60% con respecto al uso de agua. Estos efectos se pueden observar en la Figura 19.

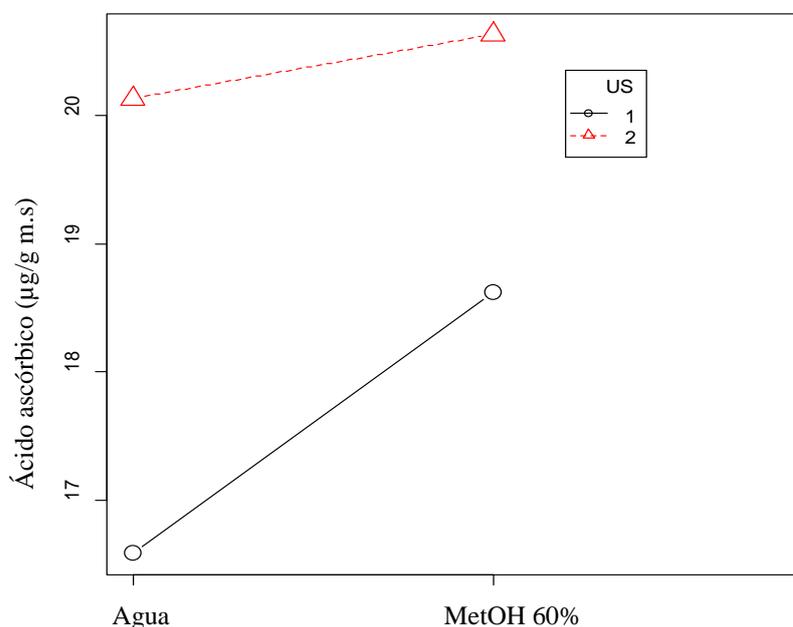


Figura 19. Gráfica de la interacción y efecto de los factores estudiados (tipo de disolvente y aplicación de ultrasonidos) sobre la variable respuesta (capacidad antioxidante ($\mu\text{g ac.ascórbico/g m.s}$), donde US 1 = sin aplicación de ultrasonidos; US 2 = con aplicación de ultrasonidos.

En cuanto a los compuestos fenólicos totales existentes en la fibra dietética total, los resultados obtenidos para cada una de las muestras analizadas se encuentran representados en la Figura 20 (los datos numéricos se presentan en el Anexo 3).

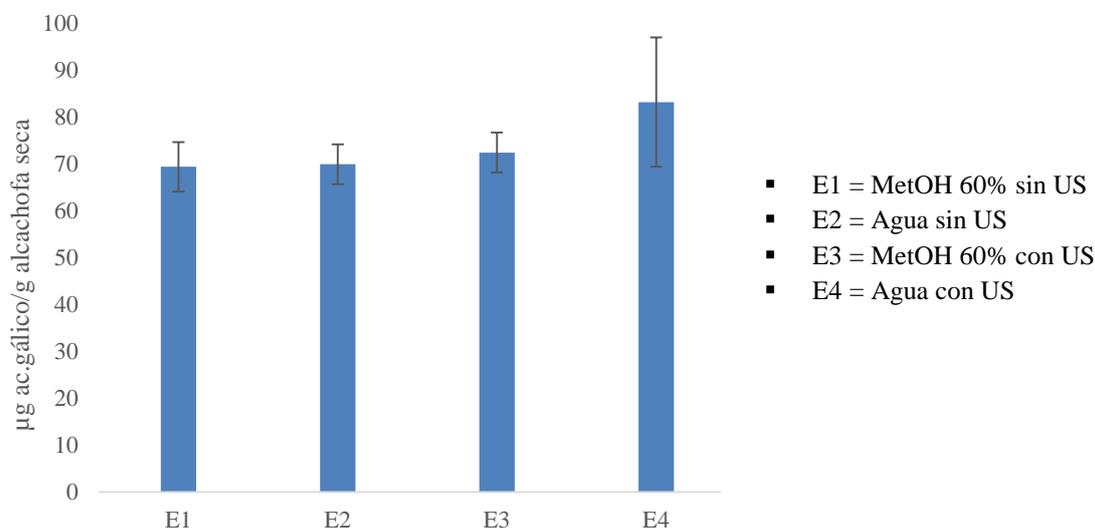


Figura 20. Diagrama de barras del contenido de compuestos fenólicos totales de las muestras de alcahofa (E1-E4) expresado como µg de ácido gálico por cada gramo de subproducto de alcahofa seca.

Al contrario que en el caso de la capacidad antioxidante de las muestras, en el diagrama de barras no se observan diferencias entre las muestras. Para observar si existen o no diferencias significativas entre las muestras, se realizó un análisis factorial para estudiar el efecto de los factores sobre la cantidad de compuestos fenólicos totales. En la Tabla 5 se encuentra el resumen estadístico del análisis factorial.

Tabla 5. Análisis factorial del efecto del disolvente y la aplicación de ultrasonidos sobre el contenido de compuestos fenólicos totales (µg ac.gálico/g m.s) de las muestras.

	Estimate	t-value
Disolvente	-2,827	-1,002
Ultrasonidos	4,075	1,445
Disolv:US	-2,567	-0,910

En este caso, el análisis factorial considera que ninguno de los factores afecta sobre la cantidad de compuestos fenólicos totales con un nivel de significancia suficiente. Esto puede estar debido por la similitud entre las muestras y por la gran variabilidad de los resultados obtenidos para la muestra E4.

Comparando los resultados de los compuestos fenólicos totales obtenidos en nuestro trabajo con bibliografía consultada, los valores son más bajos. En el estudio de Pandino et al. (2011) analizaron el perfil de polifenoles de brácteas externas de alcachofa obteniendo un resultado de polifenoles totales de 1700 $\mu\text{g/g}$ de alcachofa seca, valor muy superior al obtenido en nuestro caso (70-90 $\mu\text{g/g}$ de alcachofa seca). En este caso, extrajeron los compuestos fenólicos con metanol al 70% durante 1 h. En el estudio de Fratianni et al. (2007) en el que estudiaron la composición polifenólica de diferentes partes de alcachofa, realizaron una extracción con acetona:etanol:metanol (70:15:15) y analizaron los compuestos fenólicos totales con el mismo método utilizado que en nuestro estudio, es decir, mediante Folin Ciocalteu. En el caso de las brácteas externas, las muestras presentaron una cantidad de polifenoles totales de 0,47 a 1,79 mM/g de producto fresco, mientras que en el caso de las hojas, las muestras presentaron una cantidad de 0,52 a 2,30 mM/g de producto fresco. En el estudio de Rabelo et al. (2016) en el que estudiaron el efecto de los ultrasonidos aplicados por sonda directa y la nanofiltración sobre el rendimiento de la extracción de compuestos fenólicos totales (Folin Ciocalteu), observaron que el uso de etanol al 75% como disolvente favorecía la extracción de compuestos fenólicos. Aunque en nuestro caso se ha usado metanol, el perfil como disolvente es similar, por lo que la tendencia en la extracción debería ser la misma. Los valores de compuestos fenólicos totales se encontraron entre 50 y 300 mg de ácido gálico/g de alcachofa seca, valores muy superiores a los obtenidos en nuestro estudio. En el estudio de Zuorro et al. (2014) estudiaron el efecto del disolvente usado sobre la extracción de compuestos fenólicos totales de subproductos de alcachofa, obteniendo un contenido de $35,71 \pm 1,65$ mg ácido gálico/g de tallo y de $24,14 \pm 0,73$ mg ácido gálico/g de brácteas externas. Por último, se puede comparar el contenido de fenoles totales de nuestras muestras con las de otros productos semejantes, como el espárrago. En el estudio de Fuentes-Alventosa y Moreno-Rojas (2015) estudiaron el contenido de fenoles totales de espárragos por el mismo método y obtuvieron entre 0,72 y 1,62 mg de ác.gálico/g de espárrago fresco.

4 CONCLUSIONES

1. Los subproductos de alcachofa generados por la industria agroalimentaria (brácteas externas, tallos y hojas) son ricos en fibra dietética y con capacidad antioxidante gracias a los compuestos fenólicos presentes.

2. La cantidad de fibra dietética total de las muestras no se vio influenciada por el método de extracción aplicado a las muestras, pero sí su composición. Las muestras tratadas con ultrasonidos presentaron mayor cantidad de fibra insoluble y menos cantidad de fibra soluble que las muestras sin tratar.

3. La capacidad antioxidante de la fibra extraída estuvo influenciada por el método de extracción aplicado. La fibra extraída aplicando ultrasonidos presenta mayor capacidad antioxidante con respecto a la fibra extraída sin aplicar ultrasonidos. En cuanto al contenido de compuestos fenólicos, las muestras de fibra no presentaron diferencias significativas.

4. De los dos factores estudiados (tipo de disolvente y aplicación o no de ultrasonidos) sobre la cantidad de fibra dietética, capacidad antioxidante y compuestos fenólicos totales, el factor con más influencia sobre las distintas variables respuesta fue la aplicación o no de ultrasonidos.

5 REFERENCIAS

- Boubaker, M., C. Damergi, et al. 2016a. "Effect of Artichoke (*Cynara Scolymus* L.) by-Product on the Quality and Total Phenol Content of Bread." *Mediterranean Journal of Chemistry* 5: 548–53.
- Boubaker, M., A.E.L. Omri, C. Blecker, and N. Bouzouita. 2016b. "Fibre Concentrate from Artichoke (*Cynara Scolymus* L.) Stem by-Products: Characterization and Application as a Bakery Product Ingredient." *Food Science and Technology International* 22(8): 759–68.
- Büchi. 1998. "Nitrogen Determination According to Kjeldahl, Training Papers." (97765): 4–13.
- Burchi, F., J. Fanzo, and E. Frison. 2011. "The Role of Food and Nutrition System Approaches in Tackling Hidden Hunger." *International Journal of Environmental Research and Public Health* 8(2): 358–73. <http://doi.org/10.3390/ijerph8020358>.
- Calvo-Ramírez, A. 2013. "Determinación Experimental y Modelización de Isotermas de Sorción de Agua de Hojas de Alcachofa." Universitat Politècnica de Valencia. https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/33820/TFM_DETERMINACION_EXPERIMENTAL_Y_MODELIZACION_DE_ISOTERMAS_DE_SORCION_DE_AGUA_DE_HOJAS_DE_ALCACHOFA.pdf?sequence=1 (March 28, 2018).
- Chávez, Marvin, and Marcelo Domine. 2013. 4 Avances en Ciencias e Ingeniería *Lignin, Structure and Applications: Depolymerization Methods for Obtaining Aromatic Derivatives of Industrial Interest*. http://www.exeedu.com/publishing.cl/av_cienc_ing/2013/Vol4/Nro4/3-ACI1184-13-full.pdf.
- Claus, T. et al. 2015. "Chemical Characterization and Use of Artichoke Parts for Protection from Oxidative Stress in Canola Oil." *Lwt-Food Science and Technology* 61: 346–51.
- Cruzado, M., and J.C. Cedrón. 2012. "Nutracéticos, Alimentos Funcionales y Su Producción." *Revista de Química PUCP* 26(3): 33–36.
- Elleuch, M. et al. 2008. "Date Flesh: Chemical Composition and Characteristics of the Dietary Fibre." *Food Chemistry* 111: 676–82. https://ac.els-cdn.com/S0308814608004895/1-s2.0-S0308814608004895-main.pdf?_tid=125568c0-fa84-4c56-ae9e-ff3755908a4c&acdnat=1523883499_8445ca609b35c6c4f3b7e53c6a6349f2 (April 16, 2018).
- Elleuch, M. et al. 2011. "Dietary Fibre and Fibre-Rich by-Products of Food Processing: Characterisation, Technological Functionality and Commercial Applications: A Review." *Food Chemistry* 124(2): 411–21. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.06.077>.

- Escudero Álvarez, E., and P. González Sánchez. 2006. "La Fibra Dietética." *Nutricion Hospitalaria* 21(SUPPL. 2): 61–72.
- de Falco, B., G. Incerti, M. Amato, and V. Lanzotti. 2015. "Artichoke: Botanical, Agronomical, Phytochemical, and Pharmacological Overview." *Phytochemistry Reviews* 14(6): 993–1018.
- FAOstat. 2018. "Artichoke Production." <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC> (March 8, 2018).
- Fox, J., and M. Bouchet-Valat. 2018. "Rcmdr: R Commander. R Package Version 2.4-4."
- Fратиanni, F. et al. 2007. "Polyphenolic Composition in Different Parts of Some Cultivars of Globe Artichoke (*Cynara Cardunculus* L. Var. *Scolymus* (L.) Fiori)." *Food Chemistry* 104(3): 1282–86.
- Frutos, M.J., L. Guilalbert-Antón, A. Tomás-Bellido, and J.A. Hernández-Herrero. 2008. "Effect of Artichoke (*Cynara Scolymus* L.) Fiber on Textural and Sensory Qualities of Wheat Bread." *Food Science and Technology International* 14: 49–55.
- Fuentes-Alventosa, J.M, and J.M Moreno-Rojas. 2015. Processing and Impact on Active Components in Food Bioactive Compounds in Asparagus and Impact of Storage and Processing. Elsevier Inc. <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-404699-3.00013-5>.
- Grigelmo-Miguel, N., and O. Martin-Belloso. 1999. "Comparison of Dietary Fibre from By-Products of Processing Fruits and Greens and from Cereals." 508: 503–8.
- Grömping, Ulrike. 2018. "R Package DoE . Base for Factorial Experiments." 85(5).
- Khuenpet, K., M. Fukuoka, W. Jittanit, and S. Sirisansaneeyakul. 2017. "Spray Drying of Inulin Component Extracted from Jerusalem Artichoke Tuber Powder Using Conventional and Ohmic-Ultrasonic Heating for Extraction Process." *Journal of Food Engineering* 194: 67–78. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2016.09.009>.
- Lattanzio, V., P.A. Kroon, V. Linsalata, and A. Cardinali. 2009. "Globe Artichoke: A Functional Food and Source of Nutraceutical Ingredients." *Journal of Functional Foods* 1(2): 131–44. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jff.2009.01.002>.
- Lee, Sungsoo C et al. 1992. "Determination of Total, Soluble, and Insoluble Dietary Fiber in Foods-Enzymatic-Gravimetric Method, MES-TRIS Buffer: Collaborative Study." *JOURNAL OF AOAC INTERNATIONAL* 75(3).
- Lingyun, W. et al. 2007. "Studies on the Extracting Technical Conditions of Inulin from Jerusalem Artichoke Tubers." *Journal of Food Engineering* 79(3): 1087–93.

- López-Molina, D. et al. 2005. “Molecular Properties and Prebiotic Effect of Inulin Obtained from Artichoke (*Cynara Scolymus L.*)” *Phytochemistry* 66: 1476–84.
- MAAMA. “Alcachofa.” *Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Material Vegetal*: 1–9. <http://www.mapama.gob.es/app/MaterialVegetal/fichaMaterialVegetal.aspx?idFicha=3889> (March 7, 2018).
- Machado, M.T.C. et al. 2015. “Prebiotic Oligosaccharides from Artichoke Industrial Waste: Evaluation of Different Extraction Methods.” *Industrial Crops and Products* 76: 141–48.
- Madrid-Vicente, A., and I. Cenzano. 1994a. “Métodos de Análisis de Cereales y Derivados.” In *Métodos Oficiales de Análisis de Los Alimentos*, Mundi-Prensa Libros S.A, 416–17.
- Madrid-Vicente, A., and I. Cenzano. 1994b. “Métodos de Análisis de Especies.” In *Métodos Oficiales de Análisis de Los Alimentos*, Mundi-Prensa Libros S.A, 556–58.
- Madrigal, Lorena, and Elba Sangronis. 2007. “La Inulina y Derivados Como Ingredientes Claves En Alimentos Funcionales.” *Archivos Latinoamericanos de Nutricion* 57(4): 387–96.
- Matos-Chamorro, A., and E. Chambilla-Mamani. 2010. “Importancia de La Fibra Dietética , Sus Propiedades Funcionales En La Alimentación Humana.” *Revista de investigación en ciencia y tecnología de alimentos* 1(1): 4–17.
- Olagnero, G. et al. 2007. “Alimentos Funcionales: Fibra, Prebióticos, Probióticos y Simbióticos.” *Diaeta*: 14. http://www.fmed.uba.ar/depto/nutrinormal/funcionales_fibra.pdf.
- Pak, N. 2000. “La Fibra Dietética En La Alimentación Humana, Importancia En La Salud.” *Anales de la Universidad de Chile, Revista uchile*: 1–8.
- Pandino, G., S. Lombardo, G. Mauromicale, and G. Williamson. 2011. “Profile of Polyphenols and Phenolic Acids in Bracts and Receptacles of Globe Artichoke (*Cynara Cardunculus* Var. *Scolymus*) Germplasm.” *Journal of Food Composition and Analysis* 24: 148–53. https://ac.els-cdn.com/S088915751000270X/1-s2.0-S088915751000270X-main.pdf?_tid=fe165e7e-aa83-4c08-af04-caef244df0e6&acdnat=1523888284_1055852d6a23420c52a1aaf28c098377 (April 16, 2018).
- Peschel, W. et al. 2006. “An Industrial Approach in the Search of Natural Antioxidants from Vegetable and Fruit Wastes.” *Food Chemistry* 97: 137–50.
- Rabelo, R.S., M.T.C. MacHado, J. Martínez, and M.D. Hubinger. 2016. “Ultrasound Assisted Extraction and Nanofiltration of Phenolic Compounds from Artichoke Solid Wastes.” *Journal of Food Engineering* 178: 170–80. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2016.01.018>.

- Re, R. et al. 1999. "Antioxidant Activity Applying an Improved Abts Radical Cation Decolorization Assay." *Free Radical Biology and Medicine* 26(98): 1231–37.
- Roberfroid, M. 2002. "Functional Food Concept and Its Application to Prebiotics." *Digest Liver Dis* 34(Suppl 2): S105-10.
- Ros, Margarita et al. 2012. "Salidas Valorizables de Los Residuos y Subproductos Orgánicos de La Industria de Los Transformados de Frutas y Hortalizas." *Residuos* 130: 2–9.
- Ruiz-Cano, D. et al. 2014. "Chemical and Functional Properties of the Different By-Products of Artichoke (*Cynara Scolymus L.*) from Industrial Canning Processing." *Food Chemistry* 160: 134–40. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.03.091>.
- Sabater-Molina, M., E. Larque, F. Torrella, and S. Zamora. 2009. "Dietary Fructooligosaccharides and Potential Benefits on Helath." *ournal of Physiology & Biochemistry* 65(3): 315–28. <https://xpv.uab.cat/article/,DanaInfo=.aljpnDxvyqwqp3Mq32,SSL+10.1007%2FBF03180584>.
- "Scientific Concept Foods in Europe. Consensus Document." 1999. *Br J Nutr* 81(Suppl 1): S1-27.
- Shoaib, M. et al. 2016. "Inulin: Properties, Health Benefits and Food Applications." *Carbohydrate Polymers* 147: 444–54. <http://dx.doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.04.020>.
- Singleton, V.L, and J.A Rossi. 1965. "Colorimetry of Total Phenolics with Phosphomolybdic-Phosphotungstic Acid Reagents." *American Journal of Enology and Viticulture* 16(3): 144–58. <http://www.ajevonline.org/cgi/content/abstract/16/3/144>.
- Tejada-Ortigoza, V., L.E. Garcia-Amezquita, S.O. Serna-Saldívar, and J. Welti-Chanes. 2016. "Advances in the Functional Characterization and Extraction Processes of Dietary Fiber." *Food Engineering Reviews* 8(3): 251–71.
- Terkmane, Naila, Mohamed Krea, and Nadji Moulai-Mostefa. 2016. "Optimisation of Inulin Extraction from Globe Artichoke (*Cynara Cardunculus L . Subsp . Scolymus (L .) Hegi .*) by Electromagnetic Induction Heating Process." *International Journal of Food Science and Technology* 51: 1997–2008.
- Torija Isasa, E. 2009. "Fibra Dietética y Salud." *Alimentando el conocimiento*.
- Uriel, E., and J. Aldás. 2005. *Análisis Multivariante Aplicado*. Thomson.
- Valenzuela, A., R. Valenzuela, J. Sanhueza, and G. Morales. 2014. "Alimentos Funcionales, Nutraceuticos y Foshu: ¿vamos Hacia Un Nuevo Concepto de Alimentación?" *Revista chilena de nutrición* 41(2): 198–204. <https://scielo.conicyt.cl/pdf/rchnut/v41n2/art11.pdf>.

Zuorro, Antonio, Gianluca Maffei, and Roberto Lavecchia. 2014. "Effect of Solvent Type and Extraction Conditions on the Recovery of Phenolic Compounds from Artichoke Waste." *Chemical Engineering Transactions. The Italian Association of Chemical Engineering* 39: 463–69.

ANEXOS

Anexo 1. Contenido medio de fibra insoluble (FI), fibra soluble (FS) y fibra total (FT) de las muestras analizadas (E1-E4) por cada gramo de subproductos de alcachofa secos (g/g m.s).

	FI (g/g m.s)	FS (g/g m.s)	FT (g/g m.s)
E1	0,591 ± 0,009	0,104 ± 0,002	0,696 ± 0,009
E2	0,651 ± 0,017	0,062 ± 0,082	0,713 ± 0,083
E3	0,627 ± 0,022	0,065 ± 0,006	0,691 ± 0,023
E4	0,676 ± 0,002	0,000 ± 0,000	0,676 ± 0,002

Anexo 2. Datos de la determinación de proteína, ceniza, fibra insoluble y fibra soluble de cada una de las muestras analizadas.

Blancos

	Blanco	crisol (g)	W1	W2	Wblanco	Wfi	Proteína			Cenizas			B Fi
							Vg	%N	Wprot	Wtarros	Wtarro+ceniza	Wcenizas	
Insoluble	1	32,419	32,966	32,966	0,547	0	17,45	2,23	0,012				0,066
	2	32,698	33,242	33,243	0,545	0	17,5	2,19	0,012				
	3	32,433	32,984	32,984	0,551	0	17,35	2,32	0,013				
	4	32,51	33,067	33,067	0,557	0				41,255	41,726	0,471	
	5	32,419	32,971	32,98	0,561	0				41,225	41,712	0,487	
	6	32,695	33,247	33,247	0,552	0				30,265	30,73	0,465	

media	0,552
desv	0,006
c.v	1,089

media	0,012
desv	0,000
c.v	3,538

Media	0,474
Desv.	0,011
c.v	2,398

	Blanco	crisol (g)	W1	W2	Wblanco	Wfs	Proteína			Cenizas			B Fs
							Vg	%N	Wprot	Wtarros	Wtarro+ceniza	Wcenizas	
Soluble	1	32,318	32,87	33,054	0,736	0,184	17,45	2,23	0,016				0,097
	2	32,468	33,018	33,234	0,766	0,216	17,55	2,14	0,016				
	3	32,317	32,87	32,948	0,631	0,078	17,5	2,19	0,014				
	4	32,248	32,795	32,933	0,685	0,138				39,919	40,505	0,586	
	5	32,231	32,782	32,937	0,706	0,155				39,919	40,514	0,595	
	6	32,47	33,008	33,19	0,72	0,182				31,589	32,191	0,602	

media	0,707
desv	0,046
c.v	6,556

media	0,016
desv	0,002
c.v	9,723

Media	0,594
Desv.	0,008
c.v	1,350

Muestra E1

	m muestra	crisol (g)	W _{crisol + celita + p.filtro}	W _{crisol + celita + p.filtro + fibra}	W _{fibra+celita+p.filtro}	W _{fibra}	V _{gastado}	%N	W _{prot}	W _{capsula}	W _{capsula+ceniz}	W _{ceniza}	W _{f,i}	W _{f,i}
Insoluble	E1.1a	1,013	32,432	32,972	33,682	1,25	0,71	11,55	10,41	0,074				
	E1.1b	1,017	32,503	33,049	33,78	1,277	0,731			61,309	61,833	0,524	0,600	0,573
	E1.2a	1,005	32,432	32,979	33,737	1,305	0,758	10,4	11,08	0,084			0,613	0,600
	E1.2b _{rep}	1,067	32,508	33,056	33,808	1,3	0,752			36,595	37,135	0,540		0,628

media	1,026
desv	0,028
c.v	2,741

media	1,283	0,738
desv	0,025	0,022
c.v	1,960	2,958

media	0,079
desv	0,007
c.v	9,010

media	0,532	0,606	0,606
desv	0,011	0,009	0,025
c.v	2,127		

	m muestra	crisol (g)	W _{crisol + celita + p.filtro}	W _{crisol + celita + p.filtro + fibra}	W _{fibra+celita+p.filtro}	W _{fibra}	V _{gastado}	%N	W _{prot}	W _{capsula}	W _{capsula+ceniz}	W _{ceniza}	W _{f,i}	W _{f,i}
soluble	E1.1a	1,013	32,25	32,789	33,179	0,929	0,39	15,75	9,54	0,037			0,107	0,169
	E1.1b	1,017	32,235	32,783	33,095	0,86	0,312			49,865	50,518	0,653		0,100
	E1.2a	1,005	32,243	32,802	33,08	0,837	0,278	15,95	12,75	0,035			0,104	0,077
	E1.2b _{rep}	1,067	32,334	32,775	32,994	0,66	0,219			35,191	35,791	0,600		

media	1,012
desv	0,006
c.v	0,604

media	0,875	0,327
desv	0,048	0,057
c.v	5,470	17,578

media	0,036
desv	0,001
c.v	3,408

media	0,626	0,105	0,115
desv	0,037	0,002	0,048
c.v	5,982		

Muestra E3

	m muestra	crisol (g)	W _{crisol + celita + p.filtro}	W _{crisol + celita + p.filtro + fibra}	W _{fibra+celita+p.filtro}	W _{fibra}	V _{gastado}	%N	W _{prot}	W _{capsula}	W _{capsula+ceniz}	W _{ceniza}	W _{f,i}	W _{f,i}
Insoluble	E3.1a	1,08	32,426	32,966	33,765	1,339	0,799	8,35	12,76	0,102			0,635	0,649
	E3.1b	1,053	32,704	33,251	34,039	1,335	0,788			47,847	48,382	0,535		0,645
	E3.2a	1,002	32,434	32,99	33,775	1,341	0,785	8,7	12,60	0,099			0,666	0,651
	E3.2b	1,016	32,511	33,064	33,859	1,348	0,795			41,255	41,769	0,514		0,658

media	1,038
desv	0,035
c.v	3,415

media	1,341	0,792
desv	0,005	0,006
c.v	0,406	0,808

media	0,100
desv	0,002
c.v	2,157

media	0,524	0,650	0,650
desv	0,015	0,022	0,005
c.v	2,831		

	m muestra	crisol (g)	W _{crisol + celita + p.filtro}	W _{crisol + celita + p.filtro + fibra}	W _{fibra+celita+p.filtro}	W _{fibra}	V _{gastado}	%N	W _{prot}	W _{capsula}	W _{capsula+ceniz}	W _{ceniza}	W _{f,i}	W _{f,i}
Soluble	E3.1a	1,08	32,316	32,866	33,06	0,744	0,194	16,1	17,59	0,034			0,063	0,051
	E3.1b	1,053	32,485	33,015	33,256	0,771	0,241			46,961	47,607	0,646		0,078
	E3.2a	1,002	32,248	32,79	33,005	0,757	0,215	16,5	14,24	0,031			0,071	0,064
	E3.2b	1,016	32,231	32,777	32,999	0,768	0,222			39,919	40,482	0,563		0,075

media	1,038
desv	0,035
c.v	3,415

media	0,760	0,218
desv	0,012	0,019
c.v	1,612	8,903

media	0,032
desv	0,002
c.v	7,644

media	0,563	0,067	0,067
desv	0,000	0,006	0,012
c.v	0,000		

Muestra E2

		m muestra	crisol (g)	W _{crisol + celita + p.filtro}	W _{crisol + celita + p.filtro + fibra}	W _{fibra+celita+p.filtro}	W _{fibra}	V _{gastado}	%N	W _{prot}	W _{capsula}	W _{capsula+ceniz}	W _{ceniza}	W _{f.i}	W _{f.i}
Insoluble	E2.1a	1,003	32,427	32,968	33,803	1,376	0,835	8,8	11,74	0,098				0,652	0,689
	E2.1b _{rep}	1,005	32,417	32,968	33,738	1,321	0,77				36,267	36,8	0,533	0,634	0,634
	E2.2a	1,048	32,434	32,97	33,788	1,354	0,818	8,2	12,62	0,103				0,667	0,667
	E2.2b	1,023	32,514	33,059	33,867	1,353	0,808				61,307	61,816	0,509	0,676	0,666

media	1,020
desv	0,021
c.v	2,047

media	1,351	0,808
desv	0,023	0,028
c.v	1,676	3,408

media	0,101
desv	0,004
c.v	3,689

media	0,521	0,664	0,664
desv	0,017	0,017	0,023
c.v	3,257		

		m muestra	crisol (g)	W _{crisol + celita + p.filtro}	W _{crisol + celita + p.filtro + fibra}	W _{fibra+celita+p.filtro}	W _{fibra}	V _{gastado}	%N	W _{prot}	W _{capsula}	W _{capsula+ceniz}	W _{ceniza}	W _{f.i}	W _{f.i}
soluble	E2.1a	1,003	32,216	32,861	33,087	0,871	0,226	16,3	14,33	0,032				0,121	0,106
	E2.1b _{rep}	1,005	32,237	32,864	33,128	0,891	0,264				33,24	33,87	0,630	0,126	0,126
	E2.2a	1,048	32,25	32,786	33,027	0,777	0,241	16,5	12,71	0,031				0,012	0,012
	E2.2b	1,023	32,233	32,768	33,009	0,776	0,241				49,864	50,507	0,643	0,005	0,011

media	1,020
desv	0,021
c.v	2,047

media	0,829	0,243
desv	0,061	0,016
c.v	7,347	6,454

media	0,032
desv	0,001
c.v	3,928

media	0,636	0,063	0,063
desv	0,009	0,082	0,061
c.v	1,444		

Muestra E4

		m muestra	crisol (g)	W _{crisol + celita + p.filtro}	W _{crisol + celita + p.filtro + fibra}	W _{fibra+celita+p.filtro}	W _{fibra}	V _{gastado}	%N	W _{prot}	W _{capsula}	W _{capsula+ceniz}	W _{ceniza}	W _{f.i}	W _{f.i}	% FI
Insoluble	E4.1a	1,001	32,422	32,969	33,813	1,391	0,844	7,8	12,65	0,107				0,683	0,681	68,082
	E4.1b	1,024	32,703	33,259	34,113	1,41	0,854				30,265	30,81	0,545	0,700	68,408	
	E4.2a _{rep}	1,007	32,692	33,237	34,07	1,378	0,833	7,75	12,87	0,107				0,668	66,385	
	E4.2b	1,02	32,509	33,059	33,907	1,398	0,848				47,847	48,376	0,529	0,686	67,500	

media	1,013
desv	0,011
c.v	1,066

media	1,394	0,845
desv	0,013	0,009
c.v	0,959	1,047

media	0,107
desv	0,000
c.v	0,289

media	0,537	0,685	0,685
desv	0,011	0,002	0,013
c.v	2,107		

		m muestra	crisol (g)	W _{crisol + celita + p.filtro}	W _{crisol + celita + p.filtro + fibra}	W _{fibra+celita+p.filtro}	W _{fibra}	V _{gastado}	%N	W _{prot}	W _{capsula}	W _{capsula+ceniz}	W _{ceniza}	W _{f.i}	W _{f.i}	% FS
Soluble	E4.1a	1,001	32,316	32,869	33,062	0,746	0,193	16,75	14,73	0,028				0,031	0,000	0,000
	E4.1b	1,024	32,469	33,019	33,111	0,642	0,092				31,589	32,126	0,537	0,000	0,000	
	E4.2a _{rep}	1,007	32,525	33,012	33,161	0,636	0,149	16,55	20,26	0,030				0,000	0,000	
	E4.2b	1,02	32,229	32,771	32,89	0,661	0,119				46,96	47,516	0,556	0,000	0,000	

media	1,013
desv	0,011
c.v	1,066

media	0,671	0,138
desv	0,051	0,043
c.v	7,592	31,315

media	0,029
desv	0,001
c.v	4,222

media	0,546	0,016	0,000
desv	0,013	0,022	0,000
c.v	2,458		

Anexo 3. Capacidad y compuestos fenólicos totales antioxidante de las muestras de alcachofa (E1-E4) expresados como μg de ácido ascórbico y de ácido gálico por cada gramo de alcachofa seca respectivamente.

	Capacidad antioxidante			Compuesto fenólicos totales		
	($\mu\text{g ac.asc/g m.s}$)			($\mu\text{g ac.gál/g m.s}$)		
	Media		Desv.	Media		Desv.
E1	18,62	\pm	1,17	69,48	\pm	5,28
E2	16,58	\pm	0,98	70,00	\pm	4,23
E3	20,63	\pm	1,60	72,50	\pm	4,26
E4	20,13	\pm	0,78	83,28	\pm	13,81

