

**SUSTITUCIÓN DE
HARINA, GRASA O
AZÚCAR EN
BIZCOCHOS POR FIBRA
DE FRUTOS DEL
BOSQUE**

**ESCOLA TÉCNICA SUPERIOR D'ENGINYERIA AGRONÓMICA I DEL MEDI
NATURAL**

TRABAJO FIN DE GRADO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE LOS ALIMENTOS

ALUMNA: CRISTINA CABRERA FORNÉS

TUTORA: ISABEL HERNANDO HERNANDO

COTUTORA: AMPARO QUILES CHULIÁ

DIRECTORA EXPERIMENTAL: EMPAR LLORCA MARTÍNEZ

CURSO ACADÉMICO: 2016/2017

VALENCIA, JULIO 2017

RESUMEN:

Debido a la creciente preocupación de la sociedad por mantener unos hábitos de vida saludables, la industria alimentaria busca alternativas para ofrecer productos de calidad. En este trabajo, se ha evaluado el efecto que tiene la sustitución de harina, grasa o azúcar en bizcochos por ingredientes ricos en fibras procedentes de grosella negra y aronia. Se analizaron las propiedades físicas y estructurales de los bizcochos. En las distintas formulaciones se analizó la pérdida de peso durante el horneado y la altura de los bizcochos. Los resultados mostraron una menor pérdida de peso durante el horneado en los bizcochos con reemplazamiento de grasa y una menor altura en los bizcochos con reemplazamiento de harina independientemente del tipo de fibra utilizada. En cuanto a la estructura macroscópica de la miga se observó que la sustitución de harina generó bizcochos con menos alveolos, aunque de mayor tamaño. Los bizcochos con reemplazamiento de harina, independientemente del tipo de fibra empleada, fueron los que presentaron los menores valores de dureza, elasticidad y masticabilidad. La sustitución de azúcar sin embargo produjo los bizcochos de mayor dureza y masticabilidad. La digestibilidad *in vitro* del almidón mostró que los bizcochos con reemplazamiento de harina por grosella negra fueron los que menor índice de hidrolisis y menor índice glicémico presentaron. Los bizcochos elaborados con las distintas sustituciones obtuvieron muy buena aceptación por parte de los consumidores, que expresaron una alta intención de compra de todos ellos.

Palabras clave: bizcocho, fibra, reemplazamiento, altura, grosella, aronia, textura, estructura, digestión, sensorial.

RESUM:

Gràcies a la creixent preocupació de la societat per mantenir uns hàbits de vida saludable, la indústria alimentària busca alternatives per oferir productes de qualitat. En aquest treball, s'ha avaluat l'efecte que tenen la substitució de farina, greix o sucre per ingredients rics en fibres procedents de grosella negra i aronia. En conseqüència, s'analitzaren les propietats físiques i estructurals dels bescuits. En les diferents formulacions es va observar la pèrdua de pes durant el fornejat i l'alçada dels bescuits. Els resultats mostraven una menor pèrdua de pes durant el fornejat en els bescuits amb reemplaçament de greix i menys alçada en els bescuits amb reemplaçament de farina independentment del tipo de fibra utilitzada. Respecte a l'estructura macroscòpica de la molla es va observar que el reemplaçament de farina va generar bescuits amb menor número de alvèols, encara que de major grandària. Els bescuits amb reemplaçament de farina, independentment del tipo de fibra utilitzada, van ser els que presentaren menor duresa, elasticitat i masticabilitat. La substitució de sucre, no obstant això, va produir els bescuits de major duresa y masticabilitat. La digestibilitat *in vitro* del midó del qual es va obtindre que, els bescuits en reemplaçament de farina per grosella negra tenen el menor índex d' hidròlisis i menor índex glucèmic. Els bescuits elaborats amb les diferents substitucions obtingueren molt bona acceptació per part dels consumidor, que expressaren una alta intenció de compra de tots ells.

Paraules clau: bescuit, fibra, reemplaçament, alçada, grosella, aronia, textura, estructura, digestió, sensorial.

ABSTRACT:

Due to society's growing concern about maintaining healthy habits, food industry follows alternatives to offer healthy and quality products. In this study, the effect of replacing flour, fat or sugar with an ingredient rich in fibre from blackcurrant and chokeberry was evaluated. In the different formulations, weight loss during baking and height of the cakes were analysed. The results showed low weight loss in cakes elaborated with fat replacement and low height in cakes with flour replacement, regardless of the type of fiber. In respect of the macroscopic structure of the crumbs, flour substitution generated cakes with fewer but larger cells. The cakes with flour replacement, regardless of the type of fiber used, presented the lowest values of hardness, elasticity and chewing. However, the substitution of sugar produced the cakes with higher values of hardness and chewiness. The *in vitro* digestibility of the starch experiments showed that the cakes with flour replacement by black currant were the ones with the lowest hydrolysis index and glycemic index. The cakes prepared with the different substitutions obtained very good acceptance by the consumers, who expressed a high intention to purchase all of them.

Key words: cake, fiber, replacement, height, currant, aronia, texture, structure, digestion, sensorial

Contenido

1. INTRODUCCIÓN	5
2. OBJETIVOS Y PLAN DE TRABAJO	8
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	9
3.1 INGREDIENTES	9
3.2 ELABORACIÓN DEL BIZCOCHO	9
3.3 ANÁLISIS DE LOS BIZCOCHOS	10
3.3.1 Pérdida de peso durante el horneado	10
3.3.2 Altura de los bizcochos.....	11
3.3.3 Estructura macroscópica de la miga	11
3.3.4 Textura de los bizcochos	11
3.3.5 Digestibilidad in vitro del almidón de los bizcochos	11
3.3.6 Análisis sensorial	12
3.3.7 Análisis estadístico	13
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	13
4.1 Pérdida de peso durante el horneado	13
4.2 Altura de los bizcochos.....	14
4.3 Estructura macroscópica de la miga	15
4.4 Textura de los bizcochos	17
4.5 Digestibilidad in vitro del almidón de los bizcochos	18
4.6 Análisis sensorial	20
5. CONCLUSIONES	21
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	22
ANEXO I	25
ANEXO II	25
ANEXO III	26
ANEXO IV	27

1. INTRODUCCIÓN

Los bizcochos son productos muy aceptados y consumidos en la sociedad actual; según datos del Ministerio de Agricultura, Pesca, Alimentación y Medio Ambiente (MAPAMA), en el año 2016, esta categoría representó el 4,21% del presupuesto para alimentación y bebidas en los hogares españoles (MAPAMA 2017). El MAPAMA incluye los bizcochos dentro del grupo “bollería, pastelería, galletas y cereales y productos navideños”. La compra de productos de este grupo ha supuesto un crecimiento de un 0,6% en volumen o Kg consumidos y de un 0,7% en valor, es decir en miles de euros, en el año 2016 con respecto al 2015 (Tabla 1) (MAPAMA, 2017).

Tabla 1. Situación del sector bollería, pastelería, galletas y cereales y productos navideños en el año 2016.

	BOLLERÍA, PASTELERÍA, GALLETAS Y CEREALES Y PRODUCTOS NAVIDEÑOS	% Variación Vs. Mismo período año anterior
VOLUMEN (Miles Kg)	620.454,50	0,6%
VALOR (Miles €)	2.827.385,49	0,7%
CONSUMO X CAPITA	14,13	2,3%
GASTO X CAPITA	64,41	2,4%
PARTE MERCADO VOLUMEN (Kg)	2,13	0,01
PARTE MERCADO VALOR (€)	4,21	0,01
PRECIO MEDIO €/Kg	4,56	0,1%

Fuente: MAPAMA,2017 año

En la figura 1 se puede observar que el grupo del sector alimentación que comprende la “bollería, pastelería, galletas y cereales y productos navideños” se mantiene bastante estable a lo largo de los años. De todas las categorías de este grupo es la bollería/pastelería la que más contribuye al crecimiento en 2016 y la más consumida en general a lo largo de los años (MAPAMA, 2017).

La tipología de hogar consumidor de este tipo de productos se corresponde o bien con hogares en los que hay hijos medianos y/o pequeños, o bien con hogares integrados por personas retiradas. Asturias, Galicia y Castilla La Mancha son las comunidades autónomas que más consumen estos productos, mientras que las que menor consumo realizan son Andalucía y Cataluña (MAPAMA, 2017).

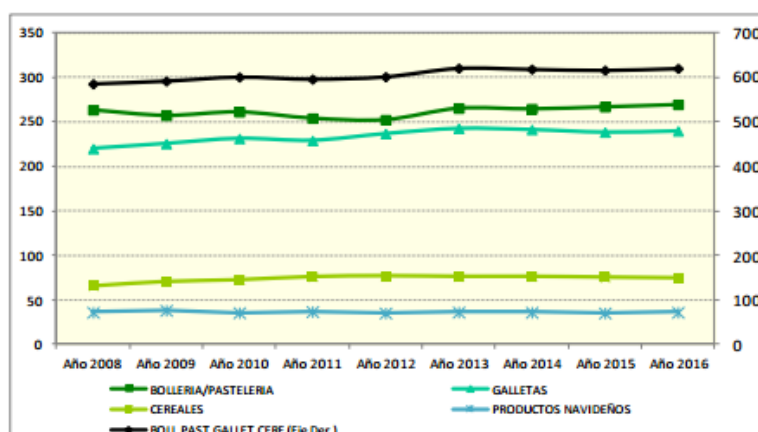


Figura 1. Evolución anual del total de compras del sector. Fuente: MAPAMA, 2017

Según la Real Academia Española (RAE), un bizcocho es un dulce blando y esponjoso, hecho generalmente con harina, huevos, aceite y azúcar, que se cocina en el horno. Debido a que la sociedad cada vez se preocupa más por el consumo de productos saludables, la industria alimentaria tiene que buscar alternativas, en la formulación de este tipo de alimentos, para ofrecer productos de calidad a la vez que saludables.

La harina es el ingrediente principal de los productos de bollería. Proporciona características de textura, estructura y sabor gracias a las proteínas y al almidón que contiene. La estructura tipo “colmena de abejas” típica de la miga de los bizcochos se debe a dos procesos, la gelatinización del almidón y la coagulación de las proteínas. Estos procesos que se producen durante la cocción, ayudan a retener el aire que se ha incorporado a la masa durante el amasado y el gas que se ha generado durante el horneado de la masa. Esta estructura repercute en la textura del producto horneado que debe presentar una miga relativamente blanda, elástica y esponjosa. Además, el almidón también interviene manteniendo la viscosidad adecuada en la masa. Pero en los últimos años la obesidad ha aumentado y los consumidores, preocupados por esto, intentan disminuir el consumo de hidratos de carbono refinados. Aunque la rápida digestión y absorción de carbohidratos tiene beneficios para algunos aspectos de la nutrición deportiva, en general, no se considera deseable debido a que proporciona altos niveles de azúcar en sangre y triglicéridos (Romero-López, 2011; Hu, 2010), especialmente para aquellas personas que presentan diabetes o síndrome metabólico. En contraste, el consumo de carbohidratos de lenta liberación se asocia con efectos beneficiosos para la salud (Jenkins et al., 2002). La ralentización de la digestión de los carbohidratos debería ser un objetivo importante a cubrir en el desarrollo de nuevos alimentos. La digestibilidad del almidón puede verse afectada por la presencia de compuestos dietéticos como la fibra y los lípidos (Romero-López, 2011). La fibra dietética, podría reducir la digestibilidad del almidón al producir cambios estructurales entre los componentes de los alimentos y/o limitación en la absorción de agua lo que restringe la gelatinización del almidón (Sozer, 2014). Ya existen estudios en los que la harina de trigo ha sido reemplazada por productos procedentes de zanahoria, algarroba, banano, garbanzo, fibras de diferentes frutas, etc (Salehi et al., 2015; Gómez et al., 2008; Sudha et al., 2007; Velasco, 1983). La sustitución de la harina por fibras en los bizcochos produce algunos cambios en el producto final como por ejemplo la disminución del volumen final. Esto puede ser debido a que las fibras modifican la estructura, lo que produce una menor retención de CO₂. La disminución del volumen, a su vez, produce un aumento en la firmeza del producto debido al aumento de la densidad. Por otra parte, la adición de fibra como sustitución de la harina puede aumentar la humedad y oscurecer el producto final (Walker, 2014).

El azúcar, además de aportar un sabor dulce y de contribuir al color y al contenido en calorías del bizcocho, es capaz de estabilizar la humedad en el producto final, actuar como agente de carga y limitar el hinchamiento del almidón, lo que se traduce en una textura más fina en el producto final (Beesley, 1995). Por otra parte, también ayuda a aumentar la temperatura de gelatinización del almidón y de desnaturalización proteica, así como a controlar la viscosidad de la masa, limitando la cantidad de agua libre (Pateras y Rosenthal, 1992). La masa necesita una viscosidad suficiente para atrapar y retener las burbujas de aire. Además, el azúcar mejora la incorporación de aire durante el batido y la estabilización de las burbujas durante el horneado (Beesley, 1995). En condiciones no ácidas, contribuye al pardeamiento y oscurecimiento y mejora el volumen final y la porosidad. Aunque tecnológicamente aporta muchas ventajas, el

consumo de azúcar en exceso tiene repercusiones en la salud como, por ejemplo, la aparición de caries dental, aumento de la demanda de vitaminas del grupo B, hipertrigliceridemia, obesidad y diabetes mellitus. Por todo ello hay un importante interés en reducir el contenido en azúcar de los productos de bollería. Sin embargo, el azúcar, igual que la harina, tiene una funcionalidad importante en los productos de bollería, por lo que es muy difícil encontrar un sustituto capaz de realizar sus mismas funciones. Algunos estudios demuestran que la sustitución de azúcar por fibra dietética da lugar a masas con mayor viscosidad y una disminución del volumen del producto final debido a la capacidad de retención de agua que tienen las fibras. En cuanto al color, ocurre el mismo fenómeno que en el reemplazamiento de harina, dependiendo de la fibra utilizada el bizcocho se oscurece más o menos. Por otra parte, la densidad de energía disminuye al reducir la cantidad de azúcar y adicionar fibra (Struck, 2016).

La grasa cumple un papel muy importante en la elaboración de bizcochos. Igual que el azúcar, también la grasa puede influir en un mayor desarrollo del volumen de los productos, debido a que ayuda a la captación de aire durante el amasado, y al desarrollo de una textura esponjosa, ya que imparte el efecto shortening al lubricar los componentes de la matriz limitando el desarrollo de la red de gluten y dando lugar a una textura más suave y blanda en el producto final (Bennion y Bamford, 1997). Por otra parte, la grasa incrementa la vida útil porque reduce el fenómeno de retrogradación del almidón (Gómez, 2008). Además, da lugar a productos más compactos pero esponjosos en los que no se produce desmenuzamiento de la miga. Como los aromas tienen carácter lipofílico, la presencia de grasa permite crear productos muy aromáticos y evitar la sensación de sequedad en la boca. Sin embargo, según la Agencia Española de Alimentación y Nutrición (AESAN), un consumo excesivo de grasas puede conllevar riesgos en la salud debido a que puede producir trastornos en el metabolismo lipídico (colesterol y triglicéridos) o sobrepeso u obesidad, lo que a su vez está relacionado con numerosas enfermedades. Reemplazar la grasa de los alimentos y en concreto de los productos de bollería como los bizcochos es un objetivo muy atractivo en la industria de alimentos. Se han desarrollado numerosos estudios sobre el reemplazo de grasa en productos horneados. En general, al disminuir el contenido en grasa se observa una disminución en la estabilidad de las burbujas de aire en la masa, que coalescen y suben a la superficie, dando lugar a bizcochos de menor volumen y de textura más dura (Barker y Cauvain, 1994). Cuando se sustituye la grasa por fibra solo se aprecian diferencias de volumen cuando la cantidad de grasa reemplazada es grande. La fibra, al tener alta viscosidad y baja gravedad específica, podría incorporar más aire, sin embargo, da productos de menor volumen, lo que indica que las membranas alrededor de las células de aire se colapsan fácilmente. En cuanto a la firmeza y la humedad, la sustitución de grasa produce un aumento en los valores de ambos parámetros (Martínez, 2011).

Para solucionar algunos de los problemas que conlleva el consumo excesivo de harinas, azúcares y grasas, en este trabajo se propone sustituir, en bizcochos, parte de estos ingredientes por el residuo sólido que queda después de prensar los frutos del bosque para extraer su jugo y que está constituido por piel, pulpa, semillas y tallos. Este residuo sólido es un ingrediente rico en fibra y en compuestos fenólicos (Jurgoński, 2016). La fibra dietética presenta numerosos beneficios nutricionales, por ejemplo, ayuda a disminuir y controlar la presión arterial, reduce el riesgo de padecer cáncer colon rectal y enfermedades cardiovasculares y ayuda a controlar la diabetes mellitus tipo II, ya que además de aumentar la sensación de saciedad, es capaz de regular el metabolismo de la glucosa y los lípidos. Puede reducir la glucemia postprandial y los

niveles de colesterol en sangre (Jurgoński, 2016). Los polifenoles son poderosos antioxidantes y se considera que tienen muchos efectos beneficiosos potenciales para la salud, por ejemplo, disminuyen el riesgo de padecer enfermedades cardiovasculares, cáncer, enfermedades neurodegenerativas, diabetes y osteoporosis. En los alimentos, los polifenoles pueden proporcionar sabor amargo, astringencia, color, aroma y sabor, y estabilidad oxidativa (Del Rio et al., 2013; Scalbert et al., 2005; Shahidi y Naczk, 1995;). En concreto, en este trabajo para sustituir harina, azúcar o grasa, en la formulación de bizcochos tradicionales, se utiliza el residuo sólido procedente de la extracción de zumos, es decir, un ingrediente rico en fibra procedente de dos frutos rojos, grosella negra y aronia. La grosella negra (*Ribes nigrum L.*) es el fruto del grosellero. Se trata de un arbusto frondoso de la familia de las Grosulariaceas que puede llegar a los 2 m de altura. En cuanto a su valor nutricional, la grosella negra destaca por contener mucha fibra y por aportar pocos hidratos de carbono y, por lo tanto, pocas calorías. Es especialmente rica en vitamina C y en compuestos fenólicos como los antocianos, antocianinas, flavonoles, estilbenos y ácidos hidroxibenzoicos (Mattila et al., 2016; Törrönen y Mattila, 2009, Mattila, Hellström y Törrönen, 2006; Määttä, 2001). El consumo de grosella tiene un efecto positivo sobre la visión nocturna como es la adaptación a la oscuridad, y en el caso de pacientes con miopía, los antocianos disminuyen los síntomas. Por otra parte, la aronia (*Aronia prunifolia*) es una planta nativa del este del continente norteamericano de la familia de las Rosáceas. Esta fruta es una fuente rica en polifenoles dietéticos, incluyendo los antocianos, los ácidos hidroxicinámicos y los proantocianos. Algunos estudios sugieren que el consumo de aronia puede mejorar la dislipidemia, inhibir la inflamación y reducir el estrés oxidativo (Xie, 2016).

2. OBJETIVOS Y PLAN DE TRABAJO

El objetivo general del presente Trabajo Final de Grado es evaluar el efecto de la sustitución de un 30% de harina, grasa o azúcar por un ingrediente rico en fibra procedente de frutos del bosque, sobre algunas propiedades físicas, estructurales y sensoriales del bizcocho. Además, se pretende estudiar el efecto de estas sustituciones sobre la digestibilidad *in vitro* del almidón en los distintos bizcochos.

Para alcanzar los objetivos expuestos en el apartado anterior, se programa el siguiente plan de trabajo:

- Búsqueda y estudio bibliográfico, de manera sistemática, durante la realización del Trabajo Final de Grado. Estudio de la normativa y protocolos a seguir en la parte experimental.
- Diseño de experimentos.
- Obtención y selección de las formulaciones adecuadas.
- Elaboración de los bizcochos con las diferentes sustituciones por el ingrediente rico en fibra procedente de frutos del bosque.
- Determinación de las propiedades estructurales y texturales de los bizcochos obtenidos a partir de las diferentes sustituciones.
- Determinación de la digestibilidad *in vitro* del almidón de los bizcochos objeto de estudio.
- Evaluación sensorial de los bizcochos.
- Análisis de resultados.

- Redacci3n del documento de Trabajo Fin de Grado.

3. MATERIALES Y MÈTODOS

3.1 INGREDIENTES

Para la elaboraci3n de los bizcochos se usaron los siguientes ingredientes:

- Harina de trigo (Harinas Segura S.L, Torrente, Valencia, Espa1a, composici3n proporcionada por el proveedor: 13,50-15,50% humedad, 9-11% prote3nas).
- Azúcar blanco (AB Azucarera Ibérica S.L.U, Madrid, Espa1a).
- Yema y clara de huevo, ambas líquidas y pasteurizadas (Ovocity, Llombay, Valencia, Espa1a).
- Leche en polvo desnatada (Corporaci3n Alimentaria Pe1asanta, S.A., Siero, Asturias, Espa1a).
- Aceite refinado de girasol (Aceites del Sur-Coosur, S.A., Vilches, Jaén, Espa1a).
- Bicarbonato s3dico E- 500ii y ácido cítrico E-300 (Sodas y Gaseosas A. Martínez, S.L, Cheste, Valencia, Espa1a).
- Sal (Salinas del Odiel, S.L., Huelva, Espa1a).
- Agua Bezoya (Calidad Pascual S.A.U., Aranda del Duero, Burgos, Espa1a).
- Residuo sólido (ingrediente rico en fibra) de aronia (*Aronia prunifolia*); Molido < 0,5mm, secado a 70°C durante 3h (proporcionado por Technische Universität Dresden, Germany). Este ingrediente se va a referenciar con las siglas AR.
- Residuo sólido (ingrediente rico en fibra) de grosella negra (*Ribes nigrum*); Molido < 0,5mm, secado a 70°C durante 3h (proporcionado por Technische Universität Dresden, Germany). Este ingrediente se va a referenciar con las siglas GN.
- Edulcorante sucralosa E-955 (Emilio Peña, S.A, Torrent, Valencia, Espa1a).

3.2 ELABORACI3N DEL BIZCOCHO

Se prepararon 6 tipos de bizcocho diferentes, partiendo de 3 formulaciones y variando el tipo de ingrediente rico en fibra, como se muestra en la Tabla 2. Es decir, para reemplazar una reducci3n de un 30% de harina, de grasa o de azúcar se utilizaron dos tipos de ingredientes diferentes, el procedente de la grosella negra (GN) y de aronia (AR). Para homogeneizar de manera adecuada estos ingredientes en la elaboraci3n de las masas, se a1adi3 agua. A los bizcochos con reducci3n del 30% de azúcar, se les a1adi3 sucralosa para mejorar su sabor.

Tabla 2. Composición de las formulaciones estudiadas (g)

	Reemplazo 30% azúcar	Reemplazo 30% grasa	Reemplazo 30% harina
Harina	200	200	140
Azúcar	140	200	200
Yema	54	54	54
Clara	108	108	108
Leche desnatada	100	100	100
Aceite	92	64,4	92
Ingrediente GN/ AR	40	40	40
Agua	40	40	10
Sucralosa	0,1	0	0
Bicarbonato	8	8	8
Ácido cítrico	6	6	6
Sal	3	3	3

Las masas de los bizcochos fueron preparadas siguiendo el procedimiento “mezclado todo en uno” de Rodríguez-García et al. (2014), con algunas modificaciones. En primer lugar, se introdujeron los ingredientes líquidos de la receta: clara, yema, leche y agua al bol de la amasadora Kenwood Major Classic (Havant, Inglaterra, UK). A continuación, se adicionaron los ingredientes sólidos: harina, GN o AR, azúcar, bicarbonato, ácido cítrico y sal al mismo recipiente. Por último, se añadió el aceite de girasol. Para obtener las masas homogéneas, se realizó el mezclado de todos los ingredientes durante 30 s a 202 rpm, seguido de 1 min a 260 rpm y por último 3 min a 320 rpm.

Para la obtención de los bizcochos, se vertieron las diferentes masas en moldes de Pyrex® de 20 cm de diámetro y se introdujeron en un horno convencional (Electrolux, model EOC3430DOX, Estocolmo, Suecia), precalentado a 180°C durante 30 min. El horneado se realizó a 180°C durante 43 min. Tras sacar los bizcochos del horno, se dejaron atemperar un día antes de realizar los análisis. Todas las masas y bizcochos se prepararon por triplicado y los análisis se realizaron dentro de las 24 horas siguientes a su elaboración.

3.3 ANÁLISIS DE LOS BIZCOCHOS

3.3.1 Pérdida de peso durante el horneado

Para determinar la pérdida de peso durante el horneado primero se pesaron las masas antes de introducirlas en el horno y después se pesaron los bizcochos una vez atemperados. La ecuación utilizada para obtener dicho valor se presenta a continuación (1):

$$PP = \frac{(M - B) * 100}{M} \quad (1)$$

Dónde: PP = pérdida de peso durante el horneado (%); M = peso de la masa (g); B = peso del bizcocho (g).

3.3.2 Altura de los bizcochos

Los bizcochos fueron cortados transversalmente por el centro y escaneados. Se empleó un escáner HP Scanjet G2710 (Hewlett-Packard, Palo Alto, CA, U.S.A) con una resolución de 300 dpi. Mediante el programa Image J (National Institutes of Health, Bethesda, Maryland, USA) se obtuvo la altura de cada bizcocho. Se midió la altura (cm) verticalmente por el punto más alto de los bizcochos. Todas las determinaciones se realizaron por triplicado.

3.3.3 Estructura macroscópica de la miga

Los bizcochos se cortaron transversalmente por tres zonas; el centro, y dos laterales, uno a cada lado del centro. Las secciones obtenidas se escanearon con un escáner HP Scanjet G2710 (Hewlett-Packard, Palo Alto, CA, USA) con una resolución de 300 dpi. Con la ayuda del programa ImageJ (National Institutes of Health, Bethesda, Maryland, USA) se analizaron las imágenes tomando secciones de 10x4 cm de campo y utilizando el contraste rojo, ya que es el que permite contrastar mejor los alveolos. Por cada bizcocho se examinaron tres imágenes, por tanto, por cada formulación, se analizaron 18 imágenes. Los parámetros analizados fueron, el número total de alveolos, el tamaño de los alveolos (mm²), la circularidad y el área total de los alveolos (%).

3.3.4 Textura de los bizcochos

Las propiedades texturales se evaluaron mediante un analizador de textura TA-TXTplus (Stable Microsystem, Ltd., Godalming, England, UK) usando el programa Texture Exponent Lite 32 (versión 6.1.4.0, Stable Microsystems). Se realizó un análisis de perfil de textura (TPA) en cubos de la zona central de los bizcochos (1,5 x 1,5 x 1,5 cm), tras eliminar la corteza. La velocidad del test fue de 1 mm/s, con una compresión del 40% de la altura original del cubo y el tiempo de reposo entre los dos ciclos de compresión fue de 5 s. El valor mínimo de umbral de fuerza registrado fue de 5 g. La compresión se realizó con una sonda cilíndrica de aluminio de 3.5 cm de diámetro. Tras los dos ciclos de compresión se determinaron los parámetros: dureza, elasticidad, resiliencia y gomosidad. Cada medida se realizó por triplicado.

3.3.5 Digestibilidad *in vitro* del almidón de los bizcochos

Las digestiones de los bizcochos engloban tres etapas: oral, gástrica e intestinal. Para la digestión oral se siguió el protocolo descrito por Smith et al. (2015), con algunas modificaciones. Primero se desmenuzó a mano 10 g de bizcocho y se añadió 3,5 mL de disolución saliva con las enzimas a 37°C. Con ayuda de una cuchara se mezcló todo durante 15 s, se añadió 70 mL de agua bidestilada a 37°C y se mezcló durante 1 min con una batidora. Para la digestión gástrica, se introdujeron 5 g de fluido gástrico (constituido por NaCl, KCl, CaCl₂ y Na₂CO₃) a pre-incubar en el digestor durante 5 min a 37°C y 120 rpm. Después, se añadieron los 10 g de muestra procedentes de la etapa de digestión oral, se ajustó el pH=2 con HCl 2 M y se añadió 0,0008 g de pepsina junto con 5 g más de fluido gástrico. Se dejó durante 1 h a 37°C y en agitación. Pasado este tiempo, para continuar con la digestión intestinal, se ajustó el pH=6 con NaOH 6 M y se añadió 3 mL de disolución de electrolitos intestinales (NaCl, KCl, CaCl₂). Se añadió 8 mL de disolución tampón fosfato con 0,375 g de sales biliares; en este momento, antes de añadir las enzimas se cogió una alícuota de 0,1 mL, a la cual se le añadió 1,4 mL de etanol. Después se

añadió 0,093 g de pancreatina con 4 mL de tampón fosfato y 0,4 mL de amiloglucosidasa. Se dejó reposar a 37°C durante 3 h en agitación, sacando alícuotas a los 0, 20, 60, 90, 120 y 180 min. Las alícuotas recogidas constaban de 0,1 mL del sobrenadante y 1,4 mL de etanol, estas se centrifugaron durante 3 min a 3000 rpm. A continuación, se recogió 0,1 mL del sobrenadante y 3 mL del reactivo GOPOD y se incubaron durante 20 min a 40-50°C. Finalmente, se leyó la absorbancia a 510 nm para determinar la glucosa liberada. A partir de estos datos se obtuvieron las curvas de mg de azúcares reductores liberados por g de bizcocho. Se utilizó un factor estequiométrico de 0.9 para convertir los valores en almidón. Las curvas de hidrólisis de almidón fueron ajustadas siguiendo el modelo no lineal de Goñi et al. (1997) que está definido por la siguiente ecuación (2):

$$C = C_{\infty} (1 - e^{-kt}) \quad (2)$$

Dónde C (%) es la concentración de almidón hidrolizado a un tiempo determinado, C_{∞} (%) es la concentración en el equilibrio que se alcanza al finalizar la reacción, k (min^{-1}) es la constante cinética para ecuaciones de primer orden y t (min) es el tiempo de digestión elegido.

El índice de hidrólisis del almidón (IH) se obtuvo a partir de las gráficas de los resultados de almidón hidrolizado a cada tiempo de la digestión *in vitro* y se calculó mediante la ecuación de Goñi et al. (1997) (3):

$$\text{IH} = \frac{\text{AUC}_{\text{muestra}}}{\text{AUC}_{\text{pan blanco}}} \times 100 \quad (3)$$

Dónde, $\text{AUC}_{\text{muestra}}$ es el área bajo la curva de digestibilidad de los bizcochos elaborados con las diferentes sustituciones entre t_0 y un tiempo seleccionado t_x (180 min) y $\text{AUC}_{\text{pan blanco}}$ es el área bajo la curva de digestibilidad del alimento de referencia, el pan blanco.

Para el cálculo de la predicción del índice glicémico (pIG) se utilizó la ecuación (4) propuesta por Goñi et al. (1997).

$$\text{pIG} = 39,71 + 0,549 \text{ IH} \quad (4)$$

Para cada formulación se hicieron tres repeticiones.

3.3.6 Análisis sensorial

Para evaluar la aceptabilidad de los bizcochos formulados con las diferentes sustituciones se escogió los elaborados con grosella negra. Se llevó a cabo un test de consumidores, en el que participaron 80 consumidores de entre los empleados y estudiantes de la Universitat Politècnica de València. La edad de los consumidores osciló entre los 18-65 años.

Las muestras fueron evaluadas en una habitación estándar, equipada con compartimentos individuales (ISO, 1988). Cada consumidor recibió tres muestras de bizcocho en una serie secuencial monódica, en una única sesión, siguiendo un diseño experimental de bloques completo (William's design). Las muestras fueron codificadas al azar con números de tres dígitos y se sirvieron al azar. Se proporcionó agua mineral para limpiar el paladar entre muestras.

Las diferentes formulaciones de bizcocho se analizaron mediante una escala hedónica de 9 puntos (el 9 expresa el nivel más alto de aceptación y el 1 el más bajo). Para cada muestra, los consumidores puntuaron la textura, el sabor y la aceptabilidad global. Además, se evaluó la probabilidad de compra mediante una escala de 6 puntos (el 6 expresaba la probabilidad más alta de compra “Definitivamente lo compraría” y el 1 la más baja “Definitivamente no lo compraría”).

3.3.7 Análisis estadístico

El análisis estadístico de los resultados obtenidos se realizó mediante el análisis de la varianza (ANOVA). Se calcularon las diferencias mínimas significativas (LSD) con un nivel de significación $P < 0.05$. Cada uno de los análisis se realizó con un análisis estadístico multifactorial pero no se observaron interacciones entre los factores tipo de reemplazamiento y tipo de fibra empleada, por lo que se llevó a cabo un análisis estadístico unifactorial. Para ello se empleó el programa estadístico Statgraphics Centurion XVI.II (StatPoint Technologies, Inc., Warrenton, VA, Estados Unidos).

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Pérdida de peso durante el horneado

Los resultados de pérdida de peso obtenidos mediante un análisis estadístico, se representan en la Figura 2.

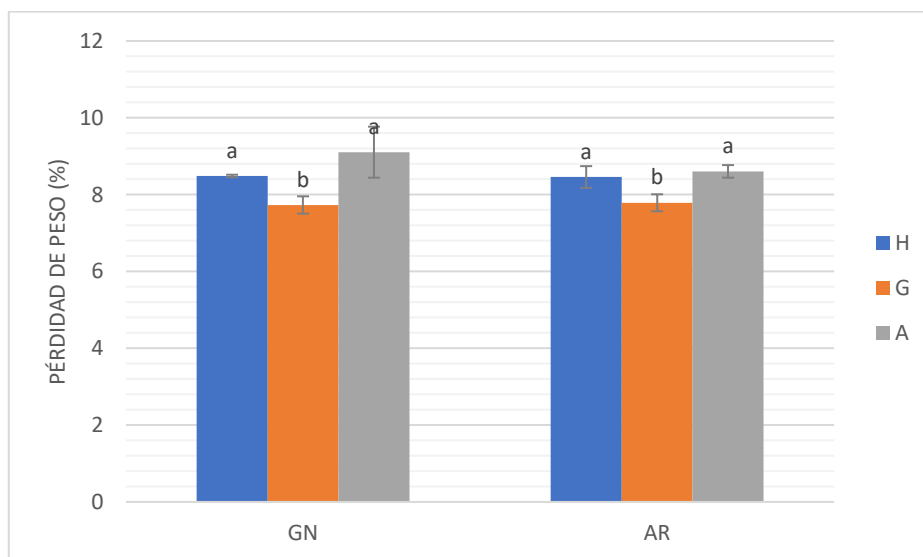


Figura 2. Pérdida de peso (humedad) durante el horneado de los bizcochos estudiados, elaborados con grosella negra (GN) y Aronia (AR). H: reemplazamiento del 30% de harina; G: reemplazamiento del 30% de grasa; A: reemplazamiento del 30% de azúcar.

Si se observa la figura 2 se puede comprobar que en los bizcochos elaborados con GN, sí hubo diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los bizcochos con reemplazos de harina y grasa y entre los bizcochos con reemplazo de grasa y azúcar, pero no hubo diferencias ($p > 0.05$) entre

los reemplazados con harina y azúcar, siendo estos los que presentaron las mayores pérdidas de peso. En cuanto a los bizcochos elaborados con AR siguieron la misma tendencia que los elaborados con GN; no hubo diferencias significativas ($p > 0.05$) entre los que se reemplazaron con harina y azúcar, siendo los reemplazados de grasa los que presentaron menor ($p < 0.05$) pérdida de peso. Si se comparan todas las formulaciones, se puede observar que entre los bizcochos con reemplazo de harina no hubo diferencias significativas ($p > 0.05$) en la pérdida de humedad, independientemente del tipo de fibra (GN y AR) empleada en su formulación. Tampoco se encontraron diferencias entre los bizcochos reemplazados con grasa o con azúcar y elaborados con las diferentes fibras. En todos los casos, la reducción de grasa produjo menor pérdida de peso que los otros tipos de sustitución. La harina, concretamente los gránulos degradados de almidón son capaces de retener agua y el azúcar también tiene capacidad de retención de agua, por lo que se explicaría la mayor pérdida de peso que experimentan los bizcochos cuando en ellos se sustituye cualquiera de estos dos ingredientes. En el anexo I se adjunta el gráfico de medias con intervalos LSD obtenido en el análisis estadístico).

4.2 Altura de los bizcochos

Como se observa en la Figura 3, se observaron diferencias significativas ($p < 0.05$) en la altura de los bizcochos, entre los elaborados con reemplazamiento de harina y el resto de reemplazamientos, independientemente de que la fibra utilizada para ello fuera GN o AR; estos bizcochos, presentaron una menor altura en comparación con los bizcochos con reemplazamiento de grasa y azúcar. Esto puede ser debido a la menor retención del gas producido por los agentes leudantes, como consecuencia de la eliminación de un 30% de harina, que es la responsable de la formación de la red de gluten que retiene dichos gases (Kohajdová, 2012).

Tanto con la utilización de grosella negra como de aronia, los bizcochos presentaron el mismo comportamiento en los distintos reemplazamientos. El anexo II presenta los gráficos de medias con intervalos LSD obtenidos tras el análisis estadístico unifactorial de los resultados.

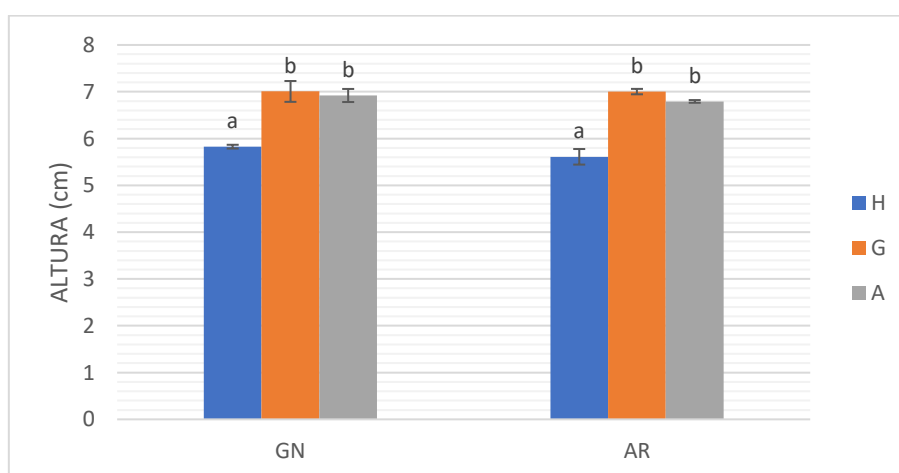


Figura 3. Altura de los bizcochos (cm). GN: Grosella negra; AR: Aronia; H: Reemplazamiento harina; G: Reemplazamiento grasa; A: Reemplazamiento azúcar.

4.3 Estructura macroscópica de la miga

En la Figura 4, se muestran las imágenes de los bizcochos con las diferentes composiciones, escaneadas, contrastadas y binarizadas.

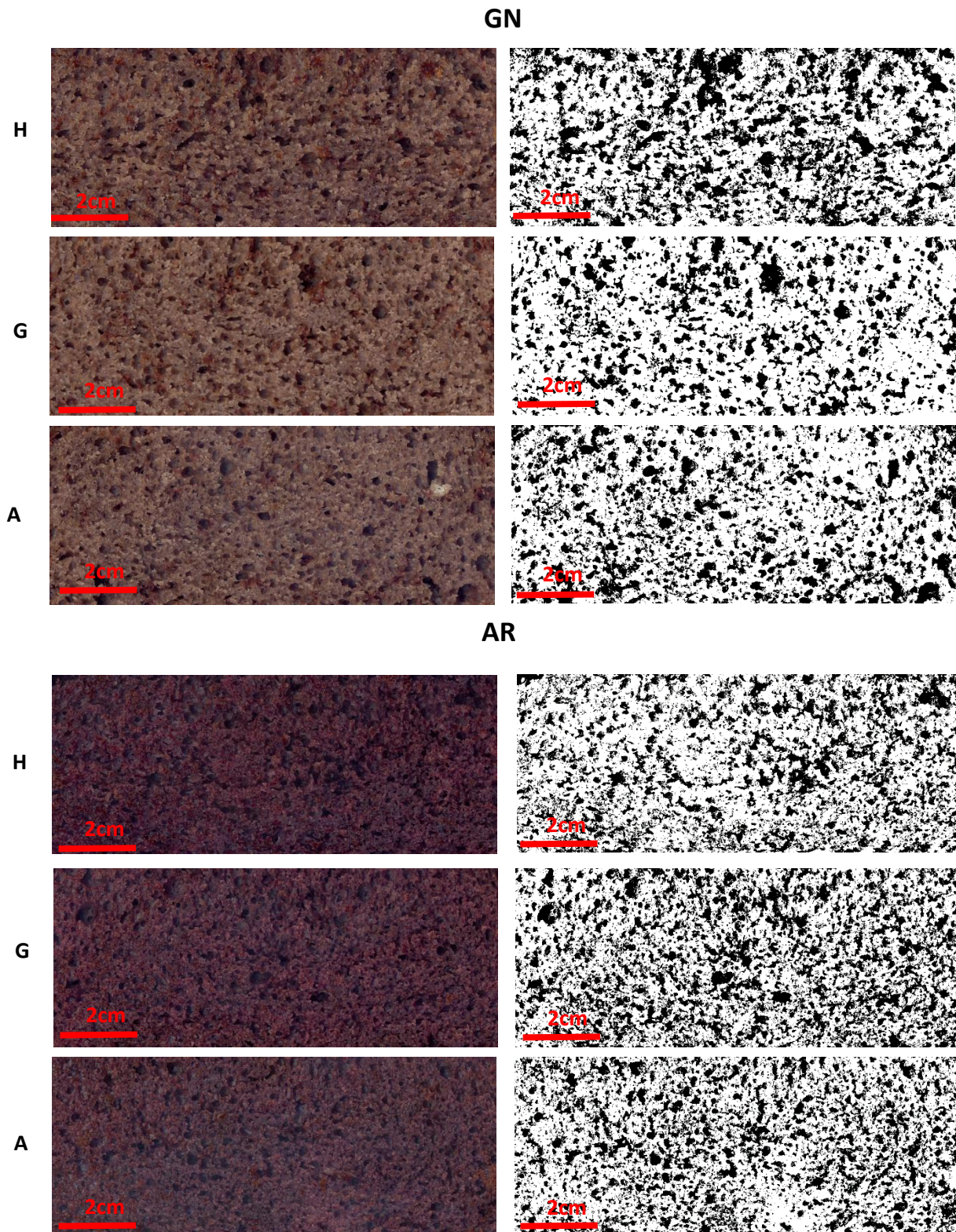


FIGURA 4: Imágenes escaneadas de los bizcochos de las diferentes composiciones, campo de 4X10 cm y sus imágenes binarizadas correspondientes (118 pixels/cm). GN: grosella negra; AR: aronia. H: Reemplazamiento harina; G: Reemplazamiento grasa; A: Reemplazamiento azúcar.

Además, las imágenes de los bizcochos fueron analizadas para cuantificar los resultados de la estructura de la miga. Los resultados correspondientes se presentan en la Tabla 3.

Tabla 3. Valores medios de los distintos parámetros del análisis de la miga de los bizcochos.

Muestra		Nº alveolos	Tamaño medio (mm ²)	Circularidad	Área total alveolos (%)
GN	H	689 (45) ^a	2,34 (0,39) ^a	0,46 (0,01) ^a	40,28 (3,88) ^a
	G	788 (30) ^b	1,62 (0,16) ^b	0,49 (0,03) ^c	31,99 (2,91) ^b
	A	919 (46) ^c	1,43 (0,19) ^b	0,49 (0,02) ^c	32,53 (3,07) ^b
AR	H	839 (121) ^b	2,03 (0,54) ^a	0,43 (0,01) ^b	41,39 (2,91) ^a
	G	927 (98) ^c	1,6 (0,38) ^b	0,43 (0,01) ^b	36,48 (5,56) ^c
	A	1060 (79) ^d	1,47 (0,2) ^b	0,42 (0,02) ^b	39,10 (2,75) ^{ac}

Los valores entre paréntesis son la desviación estándar. ^{a, b, c y d} son las medidas con letras diferentes en la misma columna que difieren significativamente ($p < 0.05$). GN: grosella negra; AR: aronia. H: Reemplazamiento harina; G: Reemplazamiento grasa; A: Reemplazamiento azúcar.

Los resultados mostraron que los bizcochos elaborados con AR, si se compara el mismo tipo de sustitución (harina, grasa o azúcar), tienen mayor número ($p < 0.05$) de alveolos que los elaborados con GN (Figura 4). Si se comparan los diferentes tipos de sustituciones entre sí, es la sustitución de azúcar la que confiere masas con mayor ($p < 0.05$) número de alveolos (Tabla 3). En cuanto al tamaño medio de alveolo, los bizcochos con reemplazamiento de harina, independientemente del tipo de fibra utilizada, son los que presentaron los mayores ($p < 0.05$) tamaños de alveolo (Figura 4). No se encontraron diferencias significativas ($p > 0.05$) en este parámetro entre el resto de los bizcochos estudiados. El reemplazo de harina por cualquiera de las dos fibras (GN y AR), en general, da bizcochos con menor número de alveolos, pero de mayor tamaño, si se compara con los otros tipos de reemplazamiento, lo que podría estar relacionado con una menor capacidad de estas masas para retener el gas generado durante la fermentación (Kohajdová, 2012).

En cuanto a la circularidad, se observó que los bizcochos en los que se utilizó GN, presentaron alveolos con mayor circularidad que los elaborados con AR (Tabla 3). En cuanto al área total de alveolos, los bizcochos con reemplazamiento de harina presentaron los mayores valores de este parámetro. En el Anexo III se adjuntan los gráficos de medias con intervalos LSD para cada parámetro del estudio macroscópico de la miga.

4.4 Textura de los bizcochos

En la tabla 4 se representan los valores de dureza, elasticidad, masticabilidad y resiliencia.

Tabla 4. Valores medios de los parámetros de textura.

Muestra		Dureza (N)	Elasticidad	Masticabilidad (N)	Resiliencia
GN	H	1,20 (0,07) ^a	0,89 (0,01) ^a	0,71 (0,04) ^a	0,31 (0,02) ^{ab}
	G	1,98 (0,19) ^b	0,91 (0,01) ^b	1,06 (0,12) ^b	0,31 (0,02) ^{ab}
	A	2,55 (0,18) ^d	0,92 (0,01) ^b	1,50 (0,11) ^d	0,32 (0,01) ^b
AR	H	1,88 (0,17) ^b	0,89 (0,01) ^a	1,06 (0,11) ^b	0,29 (0,04) ^a
	G	2,17 (0,13) ^c	0,91 (0,01) ^b	1,20 (0,06) ^c	0,30 (0,02) ^{ab}
	A	3,13 (0,31) ^e	0,92 (0,01) ^b	1,82 (0,26) ^d	0,32 (0,03) ^b

Los valores entre paréntesis son las desviaciones estándar y ^{a, b, c, y d} diferentes letras indican las diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los valores de la misma columna. GN: Grosella negra; AR: Aronia; H: Reemplazamiento harina; G: Reemplazamiento grasa; A: Reemplazamiento azúcar.

En cuanto al parámetro dureza, en general, los bizcochos elaborados con AR y sometidos a las diferentes sustituciones presentaron mayor dureza que los elaborados con GN. Independientemente del tipo de fibra empleada en las sustituciones, el reemplazo de azúcar dio bizcochos de mayor ($p < 0.05$) dureza, seguido del reemplazo de grasa y del de harina. El aumento de la dureza de los bizcochos con reemplazamiento de azúcar puede deberse a la gelatinización prematura del almidón (Gao, 2016), que tendrá más agua disponible. De todas las formulaciones estudiadas, el bizcocho con reemplazo de azúcar y elaborado con AR fue el de mayor ($p < 0.05$) dureza, mientras que el de menor ($p < 0.05$) dureza fue el reemplazado con harina y elaborado con GN.

Por otra parte, en la elasticidad de los bizcochos se observaron diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los bizcochos con reemplazo de harina (tanto usando GN como AR) y el resto de formulaciones, siendo los reemplazados con harina los menos elásticos. La menor elasticidad de estos bizcochos puede ser debida a que al eliminar cierto porcentaje de harina, se eliminan parte de las gluteninas, que son las responsables de la elasticidad y la fuerza de la masa.

Si observamos los resultados de masticabilidad (Tabla 4), entre los bizcochos elaborados con GN hubo diferencias significativas ($p < 0.05$) entre todas las formulaciones, al igual que en los elaborados con AR. En general, los resultados de masticabilidad siguieron la misma tendencia que los de dureza.

En cuanto a la resiliencia, entre los bizcochos elaborados con GN no hubo diferencias significativas ($p > 0.05$). En cambio, en los elaborados con AR hubo diferencias significativas

($p < 0.05$) entre los bizcochos con reemplazo de harina y con reemplazo de azúcar, siendo estos últimos los que presentaron mayores valores en este parámetro.

4.5 Digestibilidad *in vitro* del almidón de los bizcochos

En la Figura 5 se pueden observar las curvas de hidrólisis del almidón.

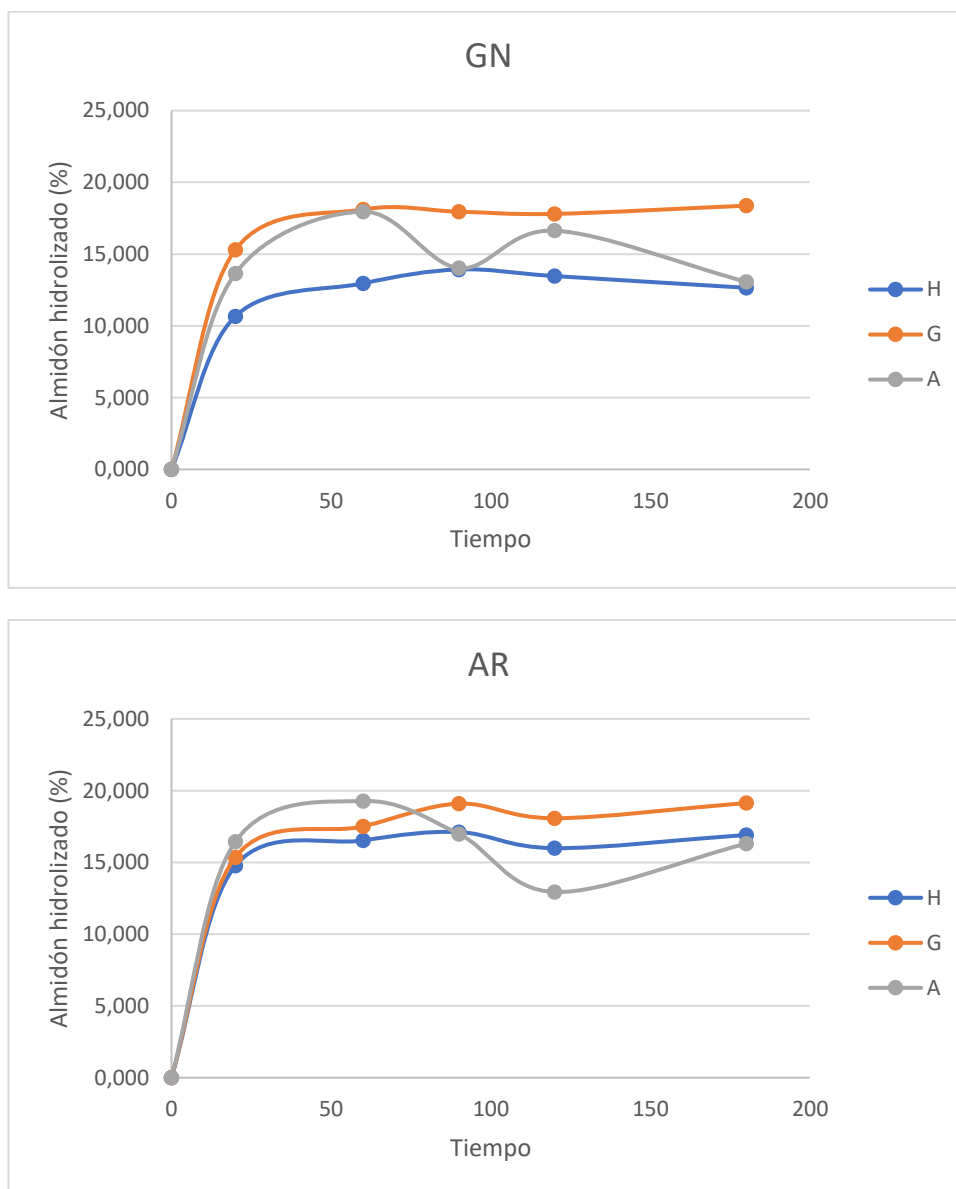


Figura 5. Digestibilidad *in vitro* del almidón de los bizcochos elaborados con fibra de grosella negra (GN) o aronia (AR); H: Reemplazamiento harina; G: Reemplazamiento grasa; A: Reemplazamiento azúcar.

A partir de los ajustes de estas curvas se calcularon los valores de cinética de hidrólisis del almidón que se presentan en la Tabla 5.

Tabla 5. Valores medios de los parámetros de digestión.

Muestra		k	C _∞	AUC	IH	pIG
GN	H	0,09 (0,04) ^a	13,51 (0,48) ^a	2247 (10) ^a	54,36 (0,25) ^a	69,56 (0,14) ^a
	G	0,09 (0,00) ^a	18,46 (0,60) ^{cd}	3112 (109) ^{cd}	75,30 (2,65) ^{cd}	81,05 (1,45) ^{cd}
	A	0,11 (0,01) ^a	15,41 (0,87) ^{ab}	2635 (147) ^b	63,75 (3,55) ^b	74,71 (1,95) ^b
AR	H	0,10 (0,01) ^a	16,93 (0,27) ^{bc}	2879 (66) ^{bc}	69,71 (1,49) ^{bc}	77,98 (0,82) ^{bc}
	G	0,08 (0,02) ^a	19,14 (0,42) ^d	3196 (111) ^d	77,32 (2,69) ^d	82,16 (1,48) ^d
	A	0,58 (0,45) ^b	17,12 (2,64) ^{bcd}	2987 (349) ^{cd}	72,28 (8,44) ^{cd}	79,39 (4,63) ^{cd}

Los valores entre paréntesis son las desviaciones estándar y ^{a, b, c y d} diferentes letras indican las diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los valores de la misma columna. GN: Grosella negra; AR: Aronia; H: Reemplazamiento harina; G: Reemplazamiento grasa; A: Reemplazamiento azúcar.

En primer lugar, la constante cinética (k), que representa la velocidad de hidrólisis del almidón o liberación de glucosa, fue mayor ($p < 0.05$) en los bizcochos con reemplazamiento de azúcar por aronia y no hubo diferencias significativas ($p > 0.05$) entre los otros bizcochos.

La concentración de equilibrio (C_∞) fue menor en los bizcochos con reemplazamiento de harina independientemente de la fibra utilizada (ANEXO IV). Esto puede ser debido a que, al disminuir la cantidad de harina, disminuye la cantidad de almidón y, por tanto, la concentración de equilibrio al haber menos hidrólisis del mismo. Como consecuencia, el área bajo la curva (AUC) también fue menor en los bizcochos con reemplazamiento de harina cuando se comparan los bizcochos elaborados con un mismo tipo de fibra. En los bizcochos elaborados con GN, hubo diferencias significativas ($p < 0.05$) entre todas las formulaciones, pero en los elaborados AR solo hubo diferencias entre los de reemplazamiento de harina y grasa. Aunque no se observaron diferencias significativas ($p > 0.05$) entre los de reemplazo de harina y azúcar, en el gráfico del anexo IV se puede observar que siguen la misma tendencia que los bizcochos elaborados con GN, siendo el bizcocho con reemplazamiento de harina el que menos valor de AUC presentaba como ya se ha comentado.

Los bizcochos con reemplazamiento con grosella negra presentaron diferencias significativas ($p < 0.05$) entre ellos en el índice de hidrólisis en el índice glicémico, siendo los de reemplazamiento de harina los que menores valores presentaron, seguido de los bizcochos con reemplazamiento de azúcar y de grasa. En general, si se comparan los mismos tipos de reemplazamiento (harina, grasa o azúcar), los elaborados con GN siempre presentaron valores significativamente ($p < 0.05$) menores en estos parámetros que los elaborados con AR. Podría ser que el reemplazamiento con grosella negra provocara unas interacciones con los otros componentes del bizcocho capaces de reducir más la digestibilidad del almidón que la aronia. El índice glicémico está relacionado con la velocidad a la que los hidratos de carbono se hidrolizan en el sistema digestivo y pasan a la sangre. El bajo índice glicémico ayuda a controlar el riesgo de sufrir enfermedades cardiovasculares (Chung, 2008). De este modo, los que se elaboraron con

menos harina (por tanto, menos almidón) y los que se elaboraron con menos azúcar (por tanto, menos azúcares reductores) presentaron menor índice glicémico. Por el contrario, los bizcochos con reemplazo de grasa que fueron los que mayor índice glicémico presentaron, serían los que mayor velocidad de hidrólisis tendrían y con ello, mayores riesgos sobre la salud en cuanto a liberación de glucosa se refiere.

4.6 Anàlisis sensorial

En la Figura 5 se observan los valores de textura, sabor y aceptabilidad global obtenidos a partir de la valoración realizada por los catadores de los bizcochos elaborados con grosella negra.

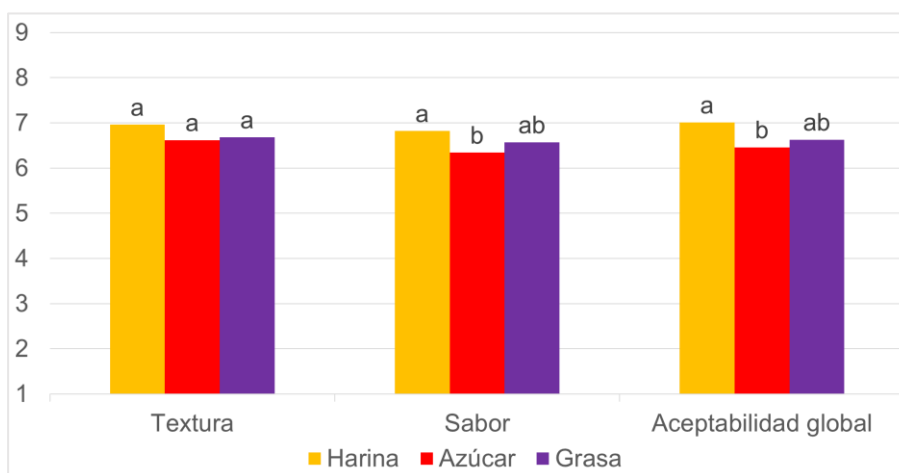


Figura 5. Valores medios de la aceptabilidad de los bizcochos con reemplazamiento por grosella negra.

No hubo diferencias ($p > 0.05$) entre las tres muestras cuando se evaluó la textura; este atributo tuvo un alto nivel de aceptación ya que obtuvo valores de 6-7 en una escala de 9. En cuanto al sabor, la aceptabilidad fue significativamente ($p < 0.05$) menor en los bizcochos con reemplazamiento de azúcar, aunque la puntuación siguió siendo alta. Por último, la aceptabilidad global fue significativamente ($p < 0.05$) mayor en los bizcochos con reemplazamiento de harina y grasa si se comparan con los de reemplazamiento de azúcar.

Además, también se evaluó la intención de compra por parte de los catadores (Tabla 6).

Tabla 6. Intención de compra de los bizcochos con reemplazamiento con grosella negra.

	No lo compraría (%)	Quizás (%)	Lo compraría (%)
Harina	13	28	59
Grasa	12	32	56
Azúcar	18	35	47

En general, la intención de compra fue buena, ya que alrededor del 50% de los catadores compraría los productos y entorno al 30% quizás lo comprarían, aunque en el bizcocho con reemplazamiento de azúcar la intención de compra fue un poco menor. Además, pocos catadores indicaron que no comprarían estos productos, ya que el porcentaje fue menor al 18%.

5. CONCLUSIONES

Si se comparan los distintos reemplazamientos (harina, grasa o azúcar), en general los bizcochos presentaron tendencias similares en la mayoría de los parámetros estudiados independientemente de la utilización de grosella negra o de aronia.

Los bizcochos en los que se sustituyó la harina por cualquiera de los dos tipos de fibra fueron los que presentaron menor altura, mayor porcentaje de aire incorporado (% área total de alveolos) y menor dureza. Por otro lado, estos bizcochos reemplazados con grosella negra presentaron el menor índice glicémico. Los bizcochos con reemplazamiento de grasa, mostraron una menor pérdida de peso durante el horneado y como consecuencia, una mayor altura que los que fueron reemplazados con harina. En la digestibilidad *in vitro*, fueron los que mayor IH e IG presentaron. En cuanto a los bizcochos con reemplazamiento de azúcar, en general, presentaron los valores más altos en los parámetros texturales y un menor % de aire incorporado.

Todos los bizcochos desarrollados con las diferentes sustituciones fueron muy aceptados por los consumidores que expresaron una alta intención de compra; aunque los de mayor aceptación fueron aquellos en los que se reemplazó harina ó grasa.

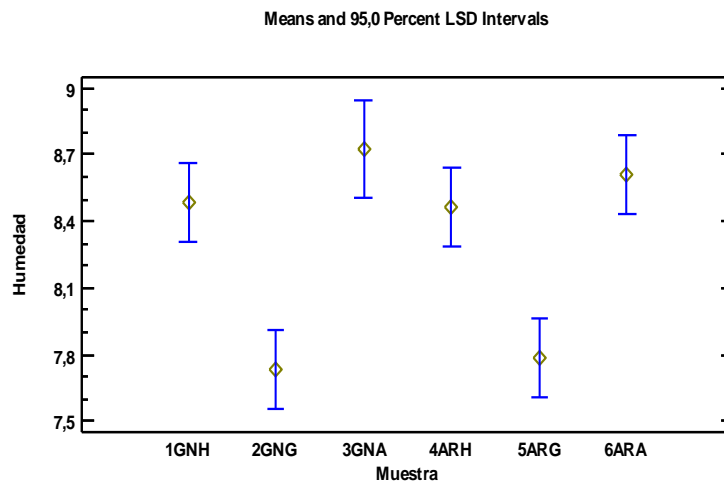
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Barker, P., & Stanley, C. (1994). Fat and Calorie-Modified bakery products. *International Food Ingredients*, 1(2), 19-24.
- Beesley, P.M. (1995). Sugar functionality reviewed. *Food Technology International Europe*, 87-89.
- Bent, A. J., Bennion, E. B. & Bamford, G. S. T. (1997). *The technology of cake making*. Springer Science & Business Media.
- Chung, H., Shin, D. & Lim, S. (2008). In vitro starch digestibility and estimated glycemic index of chemically modified corn starches. *Food Research International*, 41, 579–585.
- Del Rio, D., Rodriguez-Mateos, A., Spencer, J.P.E., Tognolini, M., Borges, G. y Crozier, A. (2013). Dietary (poly)phenolics in human health: Structures, bioavailability, and evidence of protective effects against chronic diseases. *Antioxidants and Redox Signaling*, 18, 1878-1892.
- Gómez, M. (2008). Low-sugar and low-fat sweet goods. En Sumnu, S.G.; Sahin, S. (Ed.) *Food Engineering Aspects of Baking Sweet Goods*. CRC Press, Taylor & Francis Group. Boca Raton, FL (USA).
- Gómez, M., Oliete, B., Rosell, C., Pando, V. y Fernández, E. (2008). Studies on cake quality made of wheat-chickpea flour blends. *Food Science and Technology*, 41, 1701-1709.
- Goñi, I., García-Alonso y Saura-Calixto, F. (1997). A starch hydrolysis procedure to estimate glycemic index. *Nutrition Research*, 17, 427-437.
- Hellström, J.K., Törrönen, A.R. y Mattila, P.H (2009). Proanthocyanidins in common food products of plant origin. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57, 7899-7906.
- Hu, F. y Malik, V. (2010). Sugar-sweetened beverages and risk of obesity and type 2 diabetes: Epidemiologic evidence. *Physiology & Behavior*, 100 (1), 47-54.
- Jenkins DJA, Kendall CWC, Augustin LSA, Franceschi S, Hamidi M, Marchie A, Jenkins AL & Axelsen M (2002). Glycemic index: overview of implications in health and disease. *Am J Clin Nutr*, 76, 266S–273S.
- Jurgoński, A., Juśkiewicz, J., Sójka, M. y Karlińska, E. (2016). Diet-induced disorders in rats are more efficiently attenuated by initial rather than delayed supplementation with polyphenol-rich Berry fibres. *ScienceDirect*, 22, 556-564.
- Kohajdová, Z., Karovičová, J. y Jurasová, M. (2012). Influence of carrot pomace powder on the rheological characteristics of wheat flour dough and on wheat rolls quality. *Acta Scientiarum Polonorum, Technologia Alimentaria* 11(4):381–87.
- Maache-Rezzoug, Z., Bouvier, J., Alla, K. y Patras, C. (1989). Effect of principal ingredients on rheological behaviour of biscuit dough and on quality of biscuits. *Journal of Food Engineering*, 35, 23-42.

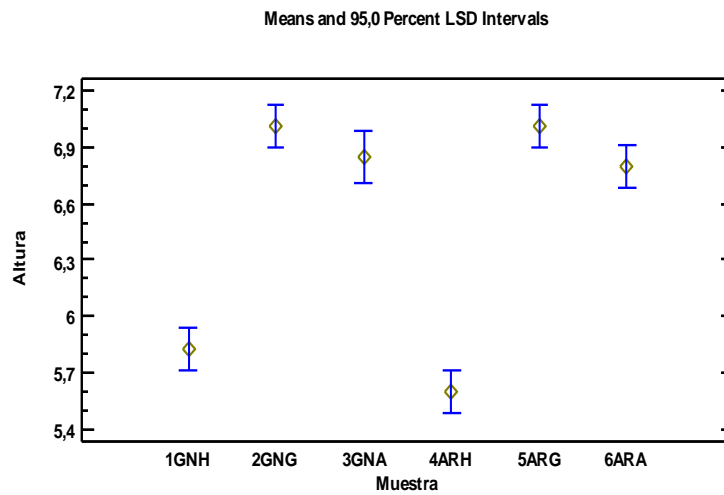
- Määttä, K., Kamal-Eldin, A. y Törrönen, R. (2001). Phenolic compounds in berries of black, red, Green and White currants (*Ribes* sp.). *Forum Original Research Communication*, 3 (6), 981-993.
- MAPAMA (2017). Informe del consumo de alimentación en España año 2016.
- Martínez-Cervera, S., Salvador, A., Muguerza, B., Moulay, L. y Fiszman, S.M. (2011). Cocoa fibre and its application as a fat replacer in chocolate muffins. *Food Science and Technology*, 44 (3), 729-736.
- Mattila, P., Hellström, J. y Törrönen, R. (2006). Phenolic acids in berries, fruits and beverages. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54, 7193-7199.
- Mattila, P.H., Hellström, J., Karhu, S., Pihlava, J. y Veteläinen, M. (2016). High variability in flavonoid contents and composition between different North-European currant (*Ribes* spp.) varieties. *Food Chemistry*, 204, 14-20.
- Owen R. Fennema (1996). Química de los alimentos. 2ª edición, Ed: Acribia, Zaragoza.
- Pateras, I.M.C. y Rosenthal, A.J. (1992). Effects of sucrose replacement by poly dextrose on the mechanism of structure formation in high ratio cakes. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 43, 25-30.
- Roberts, S. B. (2000). High-glycemic index foods, hunger, and obesity: is there a connection? *Nutrition Reviews*, 58, 163–169.
- Rodríguez-García, J., Sahi, S.S. y Hernando, I. (2014). Optimizing Mixing during the Sponge Cake Manufacturing Process. *Cereal Foods World*, 59, 287-292.
- Romero-Lopez, M.R., Osorio-Diaz, P., Bello-Perez, L.A., Tovar, J. y Bernardino-Nicanor, A. (2011). Fiber cocentrated from orange (*Citrus sinensis* L.) bagasse: characterization and application as bakery product ingredient. *International Journal of Molecular Sciences*, 12, 2174-2186.
- Salehi, F., Kashaninejad, M., Akbari, E., Mahshid, S. y Asadi, F. (2015). Potential of sponge cake making using infrared-hot air dried carrot. *Journal of Texture Studies*, 47, 34-39.
- Scalbert, A., Manach, C., Morand, C., Rémésy, C. y Jiménez, L. (2005). Dietary polyphenols and the prevention of diseases. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 45, 287-306.
- Shahidi, F., & Naczki, M. (1995). Antioxidant properties of food phenolics. *Food phenolics: sources, chemistry, effects and applications*, 235-277. Campaign (Illinois): AOCS PRESS.
- Sozer, N., Cicerelli, L., Heiniö, R. y Poutanen, K. (2014). Effect of wheat bran addition on *in vitro* starch digestibility, physico-mechanical and sensory properties of biscuits. *Journal of Cereal Science*, 60, 105-113.
- Struck, S., Gundel, L., Zahn, S. y Rohm, H. (2016). Fiber enriched reduced sugar muffins made from iso-viscous batters. *Food Science and Technology*, 65, 32-38.

- Sudha, M.L., Baskaran, V. y Leelavathi, K. (2007). Apple pomace as a source of dietary fiber and polyphenols and its effect on the rheological characteristic and cake making. *Food Chemistry*, 104, 686-692.
- VELASCO, M. A study of the utilization of banana meal as replacement for ground corn in poultry.. Un estudio de la utilización de la harina de banano como reemplazo de una ración para pollo a base de maíz. *Philippine Journal of Animal Industry*. 38 (1-2): 11-17. Filipinas.
- Walker, R., Tseng, A., Cavender, G., Ross, A. y Zhao, Y. (2014). Physicochemical, nutritional, and sensory qualities of wine grape pomace fortified baked goods. *Journal of Food Science*, 79 (9), S1811-S1822.
- Xie, L., Lee, S.G., Vance, T.M., Wang, Y., Kim, B., Lee, J., Chun, O.K. y Bolling, B.W. (2016). Bioavailability of anthocyanins and colonic polyphenol metabolites following consumption of aronia berry extract. *Food Chemistry*, 211, 860-868.

ANEXO I

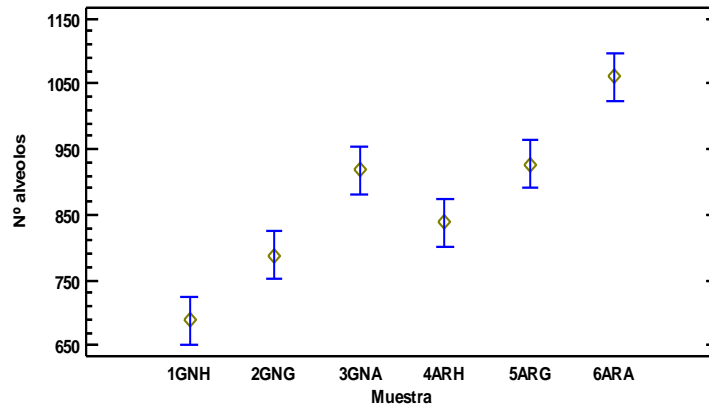


ANEXO II

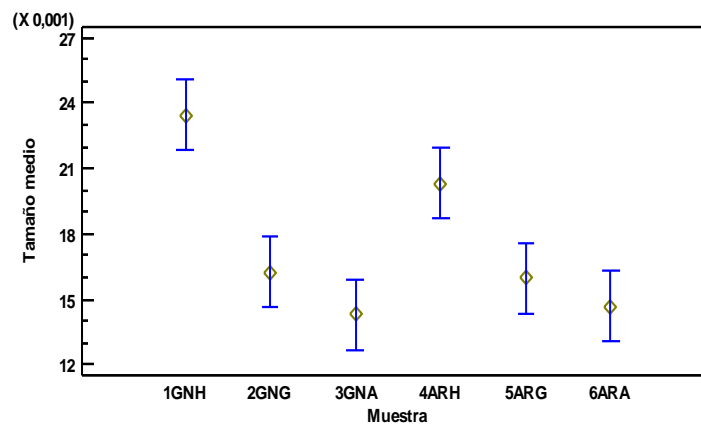


ANEXO III

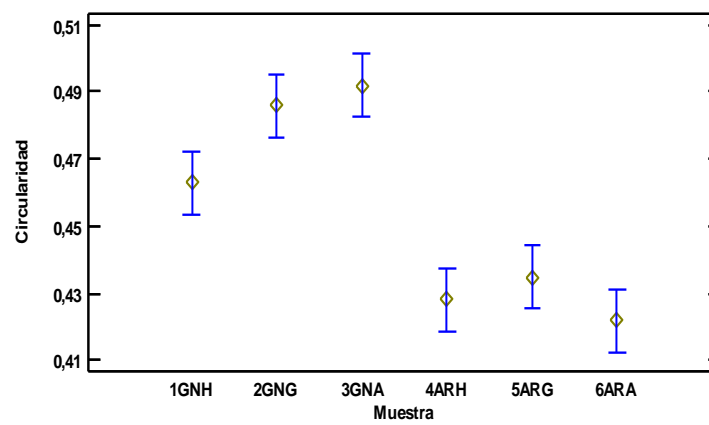
Means and 95,0 Percent LSD Intervals

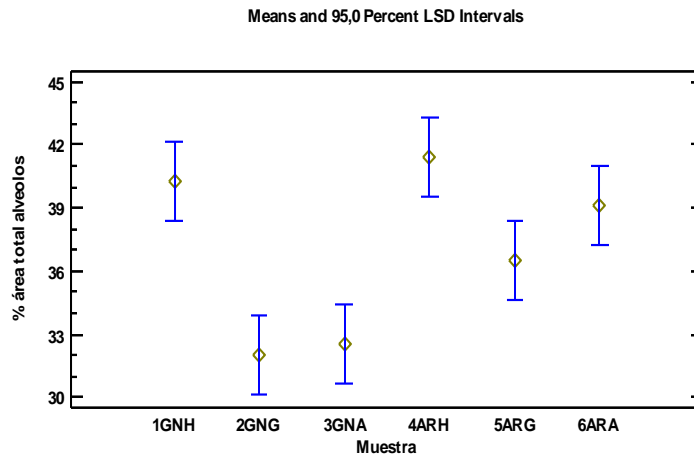


Means and 95,0 Percent LSD Intervals

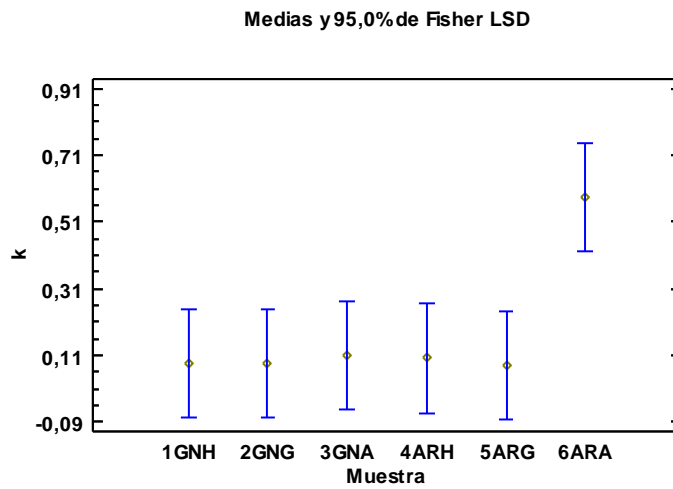


Means and 95,0 Percent LSD Intervals

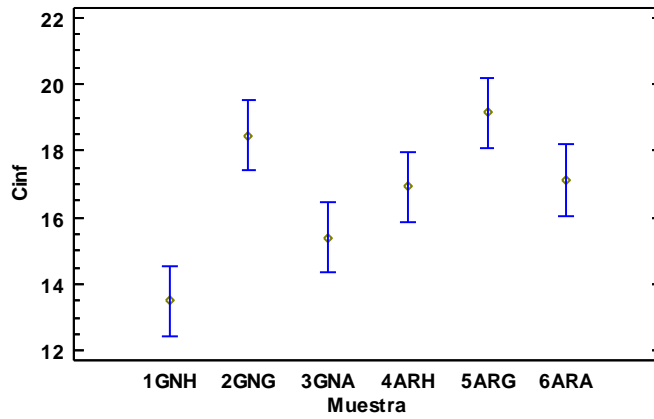




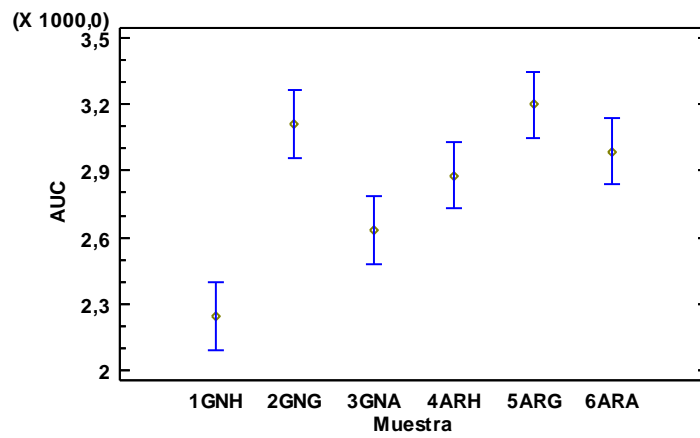
ANEXO IV



Medias y 95,0% de Fisher LSD



Medias y 95,0% de Fisher LSD



Medias y 95,0% de Fisher LSD

