



ESTUDIO DE LA ENCAPSULACIÓN Y APLICACIÓN EN PANIFICACIÓN DE EXTRACTOS SUPERCRÍTICOS DE SALVADO DE TRIGO

TRABAJO FIN DE MÁSTER

Alumna: Sofía Fernández Verdugo

Tutores: Felicidad Ronda Balbás

Alexander Navarrete Muñoz

Máster en Calidad, Desarrollo e Innovación de Alimentos

E.T.S. Ingenierías Agrarias

Universidad de Valladolid

1. RESÚMEN

El salvado de trigo es usado en panadería para la fabricación de pan integral, siendo un producto con alto contenido en antioxidantes. El Ácido Ferúlico (AF), un compuesto fenólico, es el principal antioxidante del trigo. El problema que se plantea a la hora de utilizar un nivel alto de éste antioxidante en la elaboración de panes integrales, son los efectos negativos sobre los atributos sensoriales, tales como el aumento de la amargura y la astringencia y un perfil aromático a rancio. Esto se debe a que el AF ejerce un efecto inhibitorio sobre la formación de algunos compuestos íntimamente relacionados con dichas características organolépticas, durante la reacción de Maillard en el horneado. En el presente estudio, se ha llevado a cabo una investigación para desarrollar panes blancos e integrales, que no solo conservarían todas sus propiedades nutricionales y antioxidantes, sino que modificarían positivamente sus características organolépticas (olor y sabor principalmente). Para ello se ha utilizado AF, extraído mediante CO₂ supercrítico, en diferentes formas (de manera libre en el salvado de trigo original, eliminándolo del salvado de trigo (salvado extraído), encapsulado o adicionado directamente en forma de extracto). Finalmente, se evaluó el efecto de su adición (directa o como encapsulado) sobre las propiedades sensoriales y sobre las propiedades físicas de dichos panes. Los resultados demostraron que es posible el enriquecimiento de los panes con AF sin empeorar la calidad física y sensorial.

Palabras clave: ácido ferúlico, reacción de Maillard, aroma, sabor, encapsulación, pan.

ABSTRACT

Wheat bran is used in the manufacture of bakery bread, being a product high in antioxidants. Ferulic acid (FA) is a phenolic antioxidant compound and the main in wheat. The problem arises when using a high level of this antioxidant in developing grain breads are the negative effects on sensory, such as increasing the bitterness and astringency and musty aromatic profile attributes. This is because the AF exerts an inhibitory effect on the formation of certain compounds closely related to such organoleptic characteristics, the Maillard reaction during the baking. In the present study, we have conducted research to develop targets and breads that not only retain all their nutritional and antioxidant properties, but positively modify their organoleptic characteristics (odor and taste mainly). This has been used AF, extracted by supercritical CO₂ in different ways (freely in the original wheat bran, wheat bran

removing it (bran extracted), or added directly encapsulated in extract form). Finally, the effect of the addition (directly or as encapsulated) on the sensory properties and the physical properties of these loaves were evaluated. The results showed that it is possible enrichment of bread with AF without impairing the physical and sensory quality.

Keywords: ferulic acid, Maillard reaction, aroma, flavor encapsulation, bread.

2. ANTECEDENTES

En España, diariamente se consumen una media de 4,95 g/día/persona de pan integral y 1,25 g/día/persona de pan integral de molde, lo que supone el 6% del consumo total de pan de trigo y el 12,4% del total de pan de molde respectivamente (AESAN, 2011).

Existe un doble interés en la incorporación de cereales integrales a nuestra dieta; por un lado los beneficios atribuidos a los ácidos fenólicos inherentes del trigo. Estos ácidos fenólicos son metabolitos secundarios naturales de las plantas que actúan como antioxidantes de radicales libres e inhibidores de la oxidación de lípidos (Shahidi y Wanasundra, 1992). Mientras que hay un número de ácidos fenólicos presentes dentro del trigo, el AF parece ser predominante y se dice que es un importante contribuyente a esta actividad antioxidante (Anson y otros, 2008; Kim y otros, 2006), presentando un efecto protector frente a enfermedades tales como el cáncer, enfermedades cardiovasculares, enfermedades degenerativas (Boyer y Liu 2004; Pelucchi y otros, 2004; Arts y Hollman 2005; Scott y otros 2008). Por otro lado, el aporte de fibra dietética ejerce un papel protector frente a la hipertensión, la diabetes, la obesidad, los trastornos gastrointestinales y produce una mejora del colesterol sérico y de la función inmunológica (Anderson y otros, 2009).

El principal problema que afecta al consumo de pan integral es su escasa aceptación por parte del consumidor. En un estudio realizado, los participantes fueron seleccionados atendiendo a sus preferencias sobre el tipo de pan que preferían, es decir, aquellos elaborados con harina refinada o con harina integral. El grupo que eligieron panes elaborados con harinas refinadas continuaron prefiriéndolos, no obstante, aquel grupo que en un principio, prefirieron los panes elaborados con harinas integrales, se decantaron en varias ocasiones por panes de harinas refinadas (Bakke y otros, 2007).

2.1 Antioxidantes fenólicos

Los compuestos fenólicos son aquellos que contienen más de dos grupos -OH unidos a un anillo de benceno. Existe evidencias de que los polifenoles tienen actividad antioxidante (Yoshihara y otros, 2010), no sólo eliminan los radicales libres en los sistemas biológicos (Miller 1996; BilgiçLi y otros, 2007), y protegen a las células contra el estrés oxidativo en los sistemas biológicos (Yoshihara y otros, 2010), sino que detienen el deterioro de los alimentos (Gordan, 2001). El exceso de radicales libres causan condiciones insalubres, y se asocian con enfermedades degenerativas crónicas tales como el cáncer, inflamatorias, envejecimiento, enfermedades cardiovasculares y enfermedades neurodegenerativas (Shahidi y Naczki 1995; Arts y Hollman 2005). Los antioxidantes naturales como flavonoides, tocoferoles, y ácidos fenólicos puede inhibir la peroxidación lipídica en los alimentos y mejorar su calidad (Gordan, 2001; Shi, 2001; Kyoung Chun y Kim, 2004; Price y otros, 2006; Thaipong y otros, 2006; Fan y otros, 2007; Liyana-Pathirana y Shahidi 2007; Wojdyło y otros, 2007). Los mecanismos de acción incluyen compactación directa (para los antioxidantes primarios, por ejemplo, α -tocoferol) e indirecta (por antioxidantes secundarios, por ejemplo, de ácido dilaurilo tiodipropionato y ácido tiodipropiónico) (Shahidi y Naczki, 1995; Gordan, 2001). Los granos de cereales contienen ácidos fenólicos, saponinas, fitoestrógenos, y flavonoides (Liyana-Pathirana y Shahidi, 2007). El ácido ferúlico, vanílico, y p-cumárico son los ácidos fenólicos libres más abundantes en exhibir su actividad antioxidante del trigo (Zielinski y Kozłowska, 2000). La actividad antioxidante de los productos del trigo depende de la naturaleza de las especies antioxidantes y la variedad de trigo (Fardet y otros, 2008).

Los polifenoles se encuentran ampliamente distribuidos en nuestra dieta: desde granos de cereales que los contienen de forma intrínseca (Gordan, 2001) hasta verduras, frutas y bebidas, tales como vino, el cacao y el té (Yoshihara y otros, 2010).

2.2 Ácido ferúlico

El AF (4-hidroxi-3-metoxi ácido cinámico) es un compuesto fenólico y un derivado del ácido cinámico. Representa el 90% de los ácidos fenólicos totales en la harina común (Fulcher, 1983) y también es un importante constituyente del maíz dulce (Balasubashini, y otros, 2003). Éste se encuentra ligado a los hidratos de carbono de la pared celular y se produce en mayor concentración en la aleurona, el pericarpio y en las paredes de las células embrionarias. (Fulcher, 1983). Posee tres motivos estructurales distintivos que posiblemente puedan contribuir a la capacidad de eliminación de radicales libres. La presencia de grupos donantes de electrones en el anillo de benceno (3-metoxi y más importante el 4-hidroxi) del ácido ferúlico da la

propiedad adicional de las reacciones en cadena de radicales libres. La siguiente funcionalidad del grupo carboxílico en el ácido ferúlico con un doble enlace insaturado adyacente (C-C) puede proporcionar sitios de ataque adicionales para los radicales libres y por lo tanto prevenir que ataquen a la membrana celular. Además, este grupo de ácido carboxílico también actúa como un ancla del ácido ferúlico, por que se une a la bicapa lipídica, que proporciona cierta protección contra la peroxidación lipídica. Claramente, la presencia de sustituyentes donadores de electrones aumenta las propiedades antioxidantes del ácido ferúlico (Kanaski y otros, 2002).

Los efectos del ácido ferúlico abarcan desde propiedades antiinflamatorias y anticancerígenas, hasta efectos hepatoprotectores, antitrombóticos, antivirales y antiedad. (Srinivasan y otros, 2007).

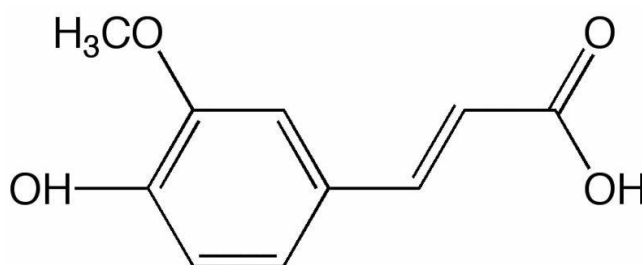


Figura 1. Estructura molecular del Ácido Ferúlico

2.3 Mecanismo de acción antioxidante

El potencial antioxidante del AF por lo general puede ser derivado de sus características estructurales. Debido a su núcleo fenólico y a la cadena lateral insaturada puede formar fácilmente una resonancia estabilizada mediante el radical fenoxi, lo que explica su potente actividad antioxidante. Cualquier radical reactivo choca con el radical fenoxi (altamente estabilizado). La estabilización adicional del radical fenoxi está previsto por la conjugación extendida en la cadena lateral insaturada. Además, éste no puede iniciar o propagar una reacción en cadena de los radicales y su destino más probable es una colisión y condensación con otro radical para producir el dímero de curcumina. Tal acoplamiento puede conducir a una multitud de productos, todos los cuales todavía contienen grupos fenólicos hidroxilo capaz de captar radicales. La presencia de un segundo grupo hidroxilo fenólico mejora sustancialmente la actividad depuradora de radicales debido a la estabilización de la resonancia adicional y la formación de O-quinona (Graf, 2000).

2.4 Efecto de los antioxidantes fenólicos en la elaboración de productos panarios

El AF contribuye a la estabilidad mecánica mediante la absorción del agua y la estabilización del gluten. Éste, además, puede formar complejos con proteínas y / o polisacáridos que se pueden formar a través de enlaces de hidrógeno reversibles entre los grupos hidroxilo de los fenoles y el grupo carbonilo de residuo del péptido de las proteínas (Shahidi y Naczki, 1995; Renard y otros 2001; Almajano y otros, 2007). Los complejos resultantes se pueden estabilizar aún más a través de otros tipos de enlaces tales como el covalente y el iónico entre el sulfito y el anión o el sitio catiónico de moléculas de proteína. Las interacciones hidrofóbicas pueden ser otro medio de formación de complejos, por el cual las moléculas de polifenol se unen a la superficie de la proteína, o del enlace cruzado con diferentes proteínas moleculares. La formación de complejos entre antioxidantes fenólicos y polisacáridos es similar a la que existe entre los antioxidantes fenólicos y proteínas que están mediadas por enlaces de hidrógeno y las interacciones hidrofóbicas. Éstas son facilitadas por las cavidades hidrófobas. La afinidad resultante está influenciada por el tamaño molecular, la flexibilidad conformacional de los antioxidantes fenólicos y solubilidad de fenoles en agua (Renard y otros, 2001). El procesado, puede alterar los antioxidantes fenólicos en los alimentos en diferentes grados y en diferentes formas.

2.5 Influencia del ácido ferúlico en el perfil aromático y el sabor de los panes

El salvado de trigo es la principal fuente de los compuestos fenólicos, especialmente del AF. Sin embargo, su concentración en la harina refinada es insignificante (Moskowitz y otros, 2012). Se debe señalar que el uso de un nivel alto de antioxidantes fenólicos añadidos en formulaciones de alimentos tiene efectos negativos sobre los atributos sensoriales de los alimentos terminados, tales como el aumento de la amargura y la astringencia del sabor (Jaeger y otros 2009), e influye en el perfil aromático del pan, debido a que el AF incide negativamente en la formación de compuestos aromáticos formados por efecto de la reacción de Maillard, concretamente sobre la 2-acetil-1-pirrolina (Moskowitz y otros, 2012).

2.6. Obtención del AF presente en el salvado de trigo mediante CO₂ supercrítico

El AF utilizado en esta investigación, fue obtenido en una etapa anterior mediante CO₂ supercrítico en la planta piloto del departamento de Ingeniería Química de la Universidad de Valladolid. La extracción con fluidos supercríticos no deja trazas de solventes en el producto final, lo que la hace altamente valorada en los productos alimenticios. El proceso se llevó a cabo a 400 bares, a una temperatura de 70 °C y un

tiempo de extracción 120 minutos. El ensayo para su obtención se realizó con cargas de 700 g de salvado de densidad aparente húmeda de 0,218 g/cm³. Las muestras extraídas se recogieron en viales, conservadas en frío y protegidas de la luz. Por último, la determinación de AF total se llevó a cabo por HPLC.

3. OBJETIVO

- Desarrollar una metodología de encapsulación de antioxidantes apropiada para la elaboración de pan.

- El efecto del encapsulado de AF sobre las propiedades físicas del pan blanco e integral.

- El efecto del encapsulado de AF sobre las propiedades sensoriales del pan blanco e integral mediante catas.

- El efecto del uso de salvado de trigo tratado por extracción supercrítica con CO₂ sobre la calidad del pan integral.

- La aplicación del extracto de AF en los panes blancos e integrales sobre las características físicas y sensoriales de estos.

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Materiales

Para la realización de los ensayos, los componentes que se emplearon fueron extracto de AF, que contenía 14,95 µg AF/g extracto (el proceso de extracción se llevó a cabo el 11 de Junio del 2013, durante 120 minutos, a una temperatura de 70 °C y a 400 bares de presión), ácido esteárico, lecitina de soja (Glama-sot, SOTYA, S.A) para la preparación de las microemulsiones; y agua tipo II, etanol con una pureza de 96% (Panreac) y maltodextrina (E-1450, Capsul) para el secado de partículas.

4.2. Proceso de encapsulación del ácido ferúlico

4.2.1. Ácido esteárico como encapsulante

Se ha mencionado anteriormente que el AF interviene durante la reacción de Maillard, en el horneado de los panes, inhibiendo la formación de compuesto de interés organoléptico. La encapsulación se llevó a cabo utilizando ácido esteárico, un ácido graso saturado utilizado en la industria alimentaria.

4.2.2. Emulsión

Se define emulsión a una dispersión de dos o más líquidos inmiscibles de manera más o menos homogénea. Un líquido (la fase dispersa) es dispersado en otro (la fase continua o fase dispersante), que en nuestro caso será el extracto de aceite de salvado que contiene el AF disuelto en ácido esteárico y agua respectivamente, por tanto una emulsión de aceite en agua. Para ello se necesitó de un emulsionante que estabilizara la disolución: lecitina de soja.

4.2.2.1. Método

El proceso consistió en preparar una mezcla inicial de una cantidad conocida de extracto de aceite de salvado que contenía el AF en ácido esteárico (fase oleosa) (tabla 1), formándose una solución homogénea apolar. Por otra parte, se añadió una cantidad conocida de lecitina de soja en agua (fase acuosa) (tabla 1). Posteriormente se llevó a cabo la mezcla de ambas soluciones, dando como resultado una macroemulsión homogénea cuya relación inicial fue del 10% la fase oleosa y 90 % de fase acuosa. En ensayos posteriores, se incrementó hasta un 20 % la fase oleosa, disminuyendo hasta el 80% la fase acuosa. Finalmente, la relación última que obtuvimos fue del 30% de fase oleosa y 70% de fase acuosa.

Tabla 1. Cantidades de extracto de salvado, ácido esteárico, lecitina de soja y agua utilizadas para la elaboración de la macroemulsión

| | Fase oleosa | | Fase acuosa | | F. oleosa F. oleosa + F. acuosa |
|-----------------|-------------------------------|-----------------|------------------|---------|------------------------------------|
| | Extracto de aceite de salvado | Ácido Esteárico | Lecitina de soja | Agua | |
| Encapsulación 1 | 2,5 g. | 22,5 g. | 11,25 g. | 213,75 | 0,1 % |
| Encapsulación 2 | 2,5 g. | 22,5 g. | 5 g. | 9,5 g. | 0,2 % |
| Encapsulación 3 | 2,5 g. | 22,5 g. | 2,92 g. | 55,4 g. | 0,3% |

4.2.3. Generación de la microemulsión por ultrasonidos

El ultrasonido puede definirse como las ondas acústicas inaudibles de una frecuencia generalmente superior a los 20 kHz (Ulloa y otros, 2013). Para el procesamiento de emulsiones se utiliza el ultrasonido de alta intensidad, también conocido como ultrasonido de baja frecuencia (Suslick, 1998). Cuando un líquido es sometido a sonicación mediante altas intensidades, las ondas sonoras que se propagan en el

medio líquido resultan alternando ciclos de altas presiones (compresión) y bajas presiones (rarefacción), con tasas en función de la frecuencia. Durante el ciclo de baja presión, las ondas ultrasónicas de alta intensidad crean pequeñas burbujas de vacío o huecos en el líquido. Cuando las burbujas alcanzan un volumen en el que ya no pueden absorber más energía, se colapsan violentamente durante un ciclo de alta presión. Este fenómeno se denomina cavitación. La cavitación, se define como la formación, crecimiento y colapso de una burbuja hasta la implosión en un líquido (Hielscher, 2005). El colapso supone la liberación de toda la energía acumulada (Ulloa y otros, 2013), generándose intensos gradientes de presión, temperatura y corte dentro del material sobre el cual actúan y por lo tanto alteran su estructura y reactividad química (Suslick, 1998). Si una burbuja de cavitación implosiona cerca del límite de la fase de dos líquidos inmiscibles, la onda de choque resultante puede proporcionar una mezcla muy eficiente. En todos los sistemas, la energía de entrada se transforma en fricción, turbulencias, olas y cavitación. La fracción de la energía de entrada que se transforma en cavitación depende de varios factores que describen el movimiento del equipo de generación de cavitación en el líquido. La intensidad de la aceleración es uno de los factores más importantes que influyen en la transformación eficiente de la energía en la cavitación. Una mayor aceleración crea diferencias de mayor presión. Esto a su vez aumenta la probabilidad de la creación de burbujas de vacío en lugar de la creación de ondas que se propagan a través del líquido. Por lo tanto, cuanto mayor es la aceleración, más alta es la fracción de la energía que se transforma en la cavitación. Y por otra parte, amplitudes más altas producen una creación más efectiva de la cavitación (Hielscher, 2005).

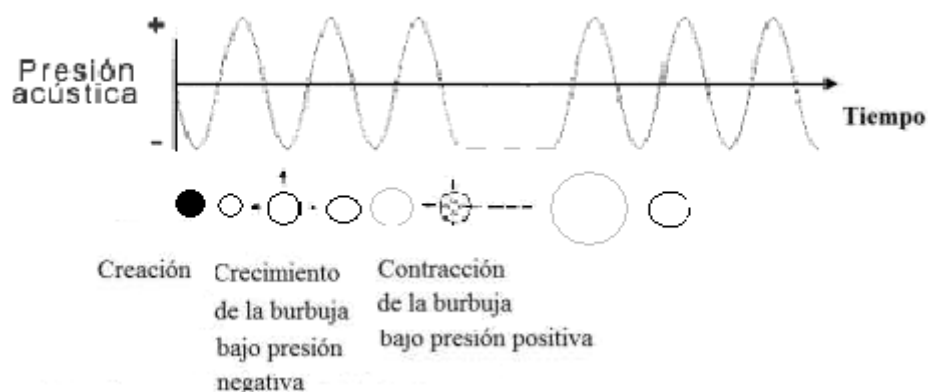


Figura 2. Comportamiento de las burbujas durante la cavitación

4.2.3.1 Método

Una vez obtenidos la macroemulsión, se utilizó el UP400S Ultrasonic Processor (400 W, 24 kHz; Hielscher, Alemania) para conseguir la microemulsión mediante sonicación durante 10 minutos, al 50% de intensidad y un ciclo de 0,5.

4.2.4. Proceso de secado de la microemulsión

Una vez obtenida la microemulsión, se tomaron de ella 30 g., y se mezcló junto con 900 ml. de agua desionizada, 100 ml. de alcohol y para obtener partículas sólidas, se utilizó maltodextrina como soporte físico.

El equipo empleado fue Mobile Minor de Gea Niro; un tipo de secador por pulverización que utiliza atomizadores rotativos. Consiste en bombear la suspensión formada a través de un inyector que gira a alta velocidad por la entrada de aire previamente calentado. El flujo de bombeo empleado fue de 8,8 ml/minuto, la temperatura de entrada de aire fue de 90° C y 60-61 °C la de salida. La presión del atomizador fue de 2.8 bar.



Figura 3. Secadero en spray

4.3. Materias primas para la elaboración de los panes

Para la elaboración de los panes de chapata se empleó harina blanca, suministrada gratuitamente por la harinera Emilio Esteban S.A. (Renedo de Esgueva, España). Es una harina de fuerza 1, de trigo americano y canadienses, cuya W es de 400 y la relación P/L≈1. El salvado de trigo fue suministrado gratuitamente por Emilio Esteban S.A. (Renedo de Esgueva, España). Se define salvado de trigo tratado aquel cuyo aceite/grasa ha sido extraído, mediante extracción supercrítica con CO₂, y en consecuencia también una muy pequeña cantidad del AF original libre. Se disponían de unos 7 Kg. de salvado tratado por extracción.

Tabla 2. Caracterización del salvado

| | | | | | | |
|------------------------------------|---------------------------------|-------|-------|-------|------------|----------|
| Granulometría (μm) | 1480 | 11496 | 670 | 500 | 212 | PASA 212 |
| % Peso | 8,60 | 19,20 | 34,30 | 16,86 | 19,29 | 1,54 |
| Humedad | 12,48 % | | | | Método NIR | |
| Proteína | 16.,32 % sss | | | | Método NIR | |
| Grasa | 5,51 % ssh/con hidrólisis ácida | | | | Método NIR | |
| Fibra | 45,89 % ssh | | | | Método NIR | |

Otros

Otros ingredientes con los que se ha trabajado para la elaboración de los panes han sido: levadura de panadería seca instantánea “European” (Estambul, Turquía), sal vacuum refinada centrifugada alimenticia “Disal” (Madrid, España), agua y mejorante panario precodido ACTI-PLUS de Puratos (Girona, España).

4.4. Elaboración y caracterización de los panes**4.4.1. Caracterización de las harinas mediante ensayo farinográfico**

Tanto la capacidad de absorción de agua, como el comportamiento de las masas (harina blanca y harina blanca más salvado) durante el amasado, fueron determinadas mediante ensayos farinográficos. Se llevó a cabo en el Centro Tecnológico de Cereales (CETECE) de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agrarias de Palencia, mediante el método ICC-CETECE.

La información obtenida mediante el análisis fue la siguiente:

- Absorción de agua (%): Cantidad de agua añadida para conseguir una consistencia de 500 FU. El resultado se ha emitido referido a una humedad de referencia del 14 %.
- Tiempo de desarrollo de la masa (mm:ss): Tiempo desde la adición del agua hasta alcanzar la máxima consistencia antes de la primera indicación de debilitamiento.
- Estabilidad de la masa (mm:ss): El intervalo de tiempo entre el primer y segundo punto de intersección del trazo superior de la curva del farinógrafo con la línea de consistencia 500 FU.
- Decaimiento a 10 minutos (FU): Decaimiento tras 10 minutos de ensayo.
- Decaimiento a 12 máxima (FU): Decaimiento tras 12 minutos de ensayo tras alcanzar el valor máximo.

La diferencia entre la capacidad de absorción de agua de la harina con salvado y la harina blanca es de 5.8% (69.9% - 64.1% respectivamente).

4.4.2. Formulación y elaboración de los panes

Se siguió un proceso de aprendizaje para la realización de las panificaciones a las llevadas a cabo en un obrado convencional, siguiendo sus mismas formulaciones, técnicas, instrumental y maquinaria. Para ello, se llevaron a cabo unas elaboraciones iniciales de pan control 1 y 2 para perfeccionar la técnica y así minimizar los errores que podrían cometerse durante el proceso. A esto, se estableció un óptimo tiempo de amasado, fermentación y horneado para las condiciones de fuerza de la harina, del salvado, contenido en agua, contenido en levadura, el tipo de pan y el tipo de amasadora, fermentador y horno utilizado. Una vez establecidas, se realizaron y evaluaron un total de 9 elaboraciones (5 panes por cada una de las elaboraciones) con harina blanca, dos tipos de salvado (original y extraído), tres concentraciones diferentes de encapsulado de AF (al 0.1, 0.2 y 0.3 %) y el extracto de AF.

Tabla 3. Formulación de panes de chapata.

| Identificación (Elaboración) | Harina blanca 400 w (g) | Salvado (g) | Salvado (tipo) | Agua (g) | Extracto o encapsulado | Ferúlico añadido | Aceite salvado u otro |
|------------------------------|-------------------------|-------------|----------------|----------|------------------------|------------------|-----------------------|
| Control 1 | 560 | 0 | - | 481.6 | 0 | - | - |
| Control 2 | 476 | 84 | Original | 481.6 | 0 | - | - |
| 3 | 476 | 84 | Extraído | 481.6 | 0 | - | - |
| 4 | 476 | 84 | Extraído | 481.6 | 3,58 | Extracto | - |
| 5 | 476 | 84 | Extraído | 481.6 | 14,34 | Encap.1 | - |
| 6 | 476 | 84 | Extraído | 481.6 | 14,34 | Encap.2 | - |
| 7 | 476 | 84 | Extraído | 481.6 | 14,34 | Encap.3 | - |
| 8 | 560 | 0 | - | 476 | 3,58 | Extracto | - |
| 9 | 560 | 0 | - | 476 | 14,34 | Encap.3 | - |

4.4.3. Proceso de elaboración de panes de chapata precocidos de harina blanca

Se pesaron todos los ingredientes (harina, levadura, sal, mejorante panario y agua). Se amasaron los ingredientes en la Kitchen Aid modelo 5kpm5 a una velocidad inicial de 4, pasados 5 minutos se subió la velocidad a 6 durante 2-3 minutos y seguidamente se volvió a bajar a 4 durante 12-13 minutos (en total 20 minutos amasando). La temperatura del agua utilizada se seleccionó para que la de la masa tras el amasado fuese de 24 y 26 °C. Para ello se controló la temperatura de la harina y la del obrador y

se empleó la relación: $T_{\text{obrador}} + T_{\text{harina}} + T_{\text{agua}} = 56-58 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Posteriormente se colocaron 200 g. de masa en moldes rectangulares (espolvoreados con harina para evitar que la masa se pegara al recipiente) y se introdujeron en el fermentador durante 40 minutos en las siguientes condiciones: 28 °C, 75 % HRA. Transcurrido este tiempo, se hornearon durante 12 minutos a 185 °C en el horno de convección. Se dejaron enfriar aproximadamente durante 60 minutos, se metieron en bolsas de plástico y se congelaron a -32,-35 °C. Para su elaboración final, se dejaron descongelar durante 90 minutos aproximadamente y se terminan de hornear durante 28 minutos a 185 °C.

El proceso de elaboración de los panes de chapata precocidos de harina blanca con salvado original o extraído, fue similar al anterior; únicamente se modificó el tiempo de horneado final que fue de 18 minutos.

4.4.4. Proceso de elaboración de panes de chapata precocidos de harina blanca más salvado extraído y encapsulado

Se procedió de la misma manera que en la elaboración de los panes precocidos de harina blanca más salvado original o extraído, salvo que en la etapa de adicción de ingredientes se incluyeron los gramos correspondientes al encapsulado.

4.4.5. Proceso de elaboración de panes de chapata precocidos de harina blanca más salvado extraído y extracto

Se procedió de la misma manera que en la elaboración de los panes precocidos de harina blanca salvo que durante la mezcla de ingredientes, se retiró una parte de harina y salvado (antes de añadir los demás ingredientes) para mezclarla en una picadora junto con el extracto para que de esta manera quedara una mezcla uniforme de los ingredientes. Seguidamente se procedió a la adicción del resto.

4.4.6. Análisis físico

Los parámetros físicos analizados fueron: el volumen, la pérdida de peso tras el horneado inicial y final, la textura, el alveolado de la miga y el color de la corteza y de la miga.

4.4.6.1. Volumen

Para medir el volumen del pan se utilizó el analizador de volumen BVM-L 370 (TextVol Instruments, Viken, Sweden). Dicha medida se realizó por duplicado a dos panes de cada elaboración.

4.4.6.2. Pérdida de peso inicial y final

La medida de la pérdida de peso de los panes se llevó a cabo en dos tandas. La primera tras un horneado inicial, que se obtuvo pesando los cinco panes de cada elaboración y restando este peso al peso de la masa antes del horneado. La segunda medida fue realizada tras el horneado final de los panes; que de nuevo fueron pesados y se restó el peso al peso obtenido tras el horneado inicial.

4.4.6.3. Textura

La textura de la miga fue medida con el texturómetro TA-TX2 texture analyzer (Stable Microsystems, Surrey, UK), mediante el software "Texture Expert". Se empleó para ello una sonda cilíndrica de 20 mm de diámetro en un ensayo de doble compresión "Texture Profile Analysis" (TPA), penetrando al 50% de profundidad, a 2 mm/s de velocidad con un retardo de 30 segundos entre la primera y la segunda compresión. Con ello se permitió calcular la dureza, elasticidad, cohesividad, masticabilidad y resiliencia. El análisis se realizó en la zona central de dos rebanada de dos panes por cada elaboración.

4.4.6.4. Color

El color de la corteza y de la miga se midió a través del espectrofotómetro Minolta CN-508i (Minolta, Co. LTD, Tokio, Japón). Los resultados se obtuvieron usando un iluminador estándar D65 y un observador estándar 2º, y se expresaron en el espacio de color CIE L*a*b*. Posteriormente, a través de L*, a* y b* se obtuvieron el croma o saturación (C*) y el tono (h). El color de la corteza fue medido en cuatro puntos diferentes en dos panes por cada elaboración. El de la miga fue analizado en otros cuatro puntos de dos rebanadas de dos panes por cada muestra, dos por una cara y las otras dos mediciones en la otra cara de la rebanada.

4.4.6.5. Alveolado

El alveolado de la miga se determinó mediante técnicas de análisis de imagen. Se escaneó en blanco y negro cuatro rebanadas de dos panes de cada elaboración, por ambas caras, a través de un escáner HP Scanjet G3110. Las imágenes fueron tratadas con el programa "WCIF ImageJ" tomando secciones de miga de 25x40 mm. En algunas ocasiones, se tuvo que reducir esta medida a 23x40 mm o incluso a 20x40 mm, ya que el cuadrado en donde quedaba enmarcada la imagen de la miga era demasiado grande para alguna de las rebanadas analizadas.

4.4.7. Evaluación sensorial de los panes

Para la realización del análisis sensorial del producto, se ha llevado a cabo una prueba de comparaciones múltiples con la ayuda de un panel semientrenado de 16 jueces. Esta metodología propuesta se basa en un test descriptivo comparativo que permite efectuar la comparación simultánea de varias muestras, refiriéndolas a un estándar, patrón o muestra de referencia.

Las muestras fueron analizadas en dos sesiones diferentes para evitar la saturación del panelista. Los panes fueron previamente congelados a (-34 ± 1) °C, hasta el momento de la cata en el que fueron atemperados para la misma.

Se pidió comparar 2 muestras de pan blanco enriquecidas con AF que se analizaron frente a una muestra de pan blanco (control 1), que fue adoptada como pan de referencia (R). Las 5 muestras con salvado extraído y enriquecido con AF o no, se analizaron frente al pan integral elaborado con el salvado original no tratado (control 2) (R). Fueron presentadas en forma de rebanada, codificadas con un número de 4 cifras aleatorias y colocadas de modo aleatorio para una menor sugestión de los catadores.

Se les entregó un cuestionario (Figura X Y X) donde los parámetros a evaluar fueron: la intensidad de olor y del sabor, la pegajosidad y aspereza de la miga, y la aceptación global, con un apartado final para que expusieran de manera redactada, sus opiniones e impresiones personales acerca de los panes; y debían indicar si existían diferencias entre las muestras presentadas y la referencia R para cada parámetro, así como la intensidad de la diferencia.

Se puntuó de la siguiente manera a las muestras: aquellas similares a R recibían una puntuación de 5, las que presentaban mayor intensidad, se puntuaba a partir de 5, siendo 6 para ligera, 7 para moderada, 8 para mucha y 9 para muchísima la diferencia con respecto a R, mientras que si presentaba una menor intensidad del atributo frente a R, las puntuaciones se encontraban por debajo de 5, siendo 4 puntos para ligera, 3 para moderada, 2 para mucha y 1 para muchísima.

Catador: _____

Fecha: _____

Una de las muestras está marcada con **R** y las otras están codificadas. Pruebe cada una de las muestras y compárela con **R**, e indique su respuesta a continuación, marcando con una **X** donde corresponda.

Intensidad de olor

| Muestra | 8952 | 7412 | 4723 | 1283 | 5232 |
|---------------------------------------|------|------|------|------|------|
| MÁS intensidad de olor que R | ___ | ___ | ___ | ___ | ___ |
| Igual que R | ___ | ___ | ___ | ___ | ___ |
| MENOS intensidad de olor que R | ___ | ___ | ___ | ___ | ___ |
| Indique cual es la diferencia: | | | | | |
| Ligera | ___ | ___ | ___ | ___ | ___ |
| Moderada | ___ | ___ | ___ | ___ | ___ |
| Mucha | ___ | ___ | ___ | ___ | ___ |
| Muchísima | ___ | ___ | ___ | ___ | ___ |

Intensidad de sabor

| Muestra | 8952 | 7412 | 4723 | 1283 | 5232 |
|--|------|------|------|------|------|
| MÁS intensidad de sabor que R | ___ | ___ | ___ | ___ | ___ |
| Igual que R | ___ | ___ | ___ | ___ | ___ |
| MENOS intensidad de sabor que R | ___ | ___ | ___ | ___ | ___ |
| Indique cual es la diferencia: | | | | | |
| Ligera | ___ | ___ | ___ | ___ | ___ |
| Moderada | ___ | ___ | ___ | ___ | ___ |
| Mucha | ___ | ___ | ___ | ___ | ___ |
| Muchísima | ___ | ___ | ___ | ___ | ___ |

Pegajosidad (de la MIGA)

| Muestra | 8952 | 7412 | 4723 | 1283 | 5232 |
|--------------------------------|------|------|------|------|------|
| MÁS pegajoso que R | ___ | ___ | ___ | ___ | ___ |
| Igual que R | ___ | ___ | ___ | ___ | ___ |
| MENOS pegajoso que R | ___ | ___ | ___ | ___ | ___ |
| Indique cual es la diferencia: | | | | | |
| Ligera | ___ | ___ | ___ | ___ | ___ |
| Moderada | ___ | ___ | ___ | ___ | ___ |
| Mucha | ___ | ___ | ___ | ___ | ___ |
| Muchísima | ___ | ___ | ___ | ___ | ___ |

Figura 4. Ejemplo de hoja de cata (1).

| Aspereza (de la MIGA) | | | | | |
|--|------|------|------|------|------|
| Muestra | 8952 | 7412 | 4723 | 1283 | 5232 |
| MÁS aspereza que R | — | — | — | — | — |
| Igual que R | — | — | — | — | — |
| MENOS aspereza que R | — | — | — | — | — |
| Indique cual es la diferencia: | | | | | |
| Ligera | — | — | — | — | — |
| Moderada | — | — | — | — | — |
| Mucha | — | — | — | — | — |
| Muchísima | — | — | — | — | — |
| Aceptación global (Hedónico) | | | | | |
| Muestra | 8952 | 7412 | 4723 | 1283 | 5232 |
| MEJOR que R | — | — | — | — | — |
| Igual que R | — | — | — | — | — |
| PEOR que R | — | — | — | — | — |
| Indique cual es la diferencia: | | | | | |
| Ligera | — | — | — | — | — |
| Moderada | — | — | — | — | — |
| Mucha | — | — | — | — | — |
| Muchísima | — | — | — | — | — |
| <p>POR FAVOR, INDIQUE SI ENCUENTRA ALGUNA DIFERENCIA ENTRE LAS MUESTRAS Y LA REFERENCIA, Y EXPLIQUE EL MOTIVO (olor, sabor, textura, color...)</p> <p>Comentarios: _____</p> <p>8952 _____</p> <p>7412 _____</p> <p>4723 _____</p> <p>1283 _____</p> <p>5232 _____</p> | | | | | |
| MUCHAS GRACIAS | | | | | |

Figura 5. Ejemplo de hoja de cata (2)

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Volumen específico de los panes

La adición de AF en los panes blancos disminuyó su volumen específico, aunque no de manera significativa ($p < 0,05$) como se muestra la tabla 4. Por otro lado, en los panes con salvado extraído y a los adicionados con el extracto de AF se apreció una disminución significativa del volumen específico. La adición del encapsulado de AF no tuvo un efecto significativo en el volumen de los panes de salvado.

Tabla 4. Efecto de la adición de AF sobre el volumen específico y la pérdida de peso tras el horneado.

| Tipo de pan | Salvado | Tipo de salvado | Dosis de extracto | Dosis de encapsulado | Volumen específico (ml/g) | Pérdida de peso tras horneado (g) |
|-----------------------|---------|-----------------|-------------------|----------------------|---------------------------|-----------------------------------|
| Chapata (Control 1) | 0 | - | - | - | 3,00 ^d | 40,51 ^c |
| Chapata | 0 | - | 1 | - | 2,85 ^{cd} | 39,45 ^c |
| Chapata | 0 | - | - | 3 | 2,9 ^{cd} | 36,43 ^{bc} |
| Chapata (Control 2) | 1 | Original | - | - | 2,75 ^{bc} | 32,82 ^{ab} |
| Chapata | 1 | Extraído | - | - | 2,55 ^a | 34,15 ^{ab} |
| Chapata | 1 | Extraído | 1 | - | 2,45 ^a | 30,57 ^a |
| Chapata | 1 | Extraído | - | 1 | 2,73 ^c | 29,79 ^a |
| Chapata | 1 | Extraído | - | 2 | 2,65 ^b | 30,90 ^a |
| Chapata | 1 | Extraído | - | 3 | 2,85 ^{cd} | 33,70 ^{ab} |
| Error estándar | | | | | 0,0250 | 2,6460 |

- Salvado: concentración 0 (ausencia), 1 (15%). Dosis extracto: concentración 1 (0,64%). Dosis encapsulado: 1(0,1%), 2 (0,2%), 3(0,3%).

- El superíndice que aparece en los promedios de cada parámetro indica la diferencia significativa ($p < 0,05$).

En la tabla 4 se representan las medidas de la pérdida de peso durante el horneado final, que da una idea acerca de la capacidad de retención de agua de los ingredientes que constituyen las masas. La presencia de AF en los panes blancos favoreció la pérdida de peso, aunque no de manera significativa ($p < 0,05$). La mayor variación se produjo en aquellos a los que se les adicionó el encapsulado 3. En los panes de salvado esta variable no se vio modificada significativamente con la adición de AF.

5.2. Textura

La tabla 5 muestra el efecto de la adición de AF sobre los parámetros texturales de la miga de pan blanco y pan de salvado. En términos generales se puede decir que la presencia de AF en forma de encapsulado hizo disminuir de manera significativa los parámetros texturales de ambos tipos de panes. Sin embargo, la adición del extracto de AF ejerció un aumento de estos parámetros en los panes de salvado, aunque no de manera significativa.

Tabla 5. Parámetros texturales correspondientes a los panes de chapata con adición o no de salvado y de AF en forma de extracto y encapsulado.

| Tipo de pan | Salvado | Tipo de salvado | Dosis de extracto | Dosis de encapsulado | Dureza (N) | Elasticidad | Cohesividad | Masticabilidad (N) | Resiliencia |
|-----------------------|---------|-----------------|-------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|---------------------|----------------------|
| Chapata (Control 1) | 0 | - | - | - | 4,4830 ^{bc} | 0,9570 ^d | 0,6620 ^d | 2,8385 ^c | 0,4445 ^f |
| Chapata | 0 | - | 1 | - | 4,1223 ^b | 0,9563 ^d | 0,6630 ^d | 2,6080 ^c | 0,4548 ^f |
| Chapata | 0 | - | - | 3 | 4,2710 ^{bc} | 0,8323 ^b | 0,5510 ^a | 1,9643 ^b | 0,2585 ^b |
| Chapata (Control 2) | 1 | Original | - | - | 4,6825 ^{bc} | 0,9303 ^{cd} | 0,6388 ^{cd} | 2,7818 ^c | 0,3905 ^e |
| Chapata | 1 | Extraído | - | - | 7,9210 ^d | 0,9158 ^c | 0,6163 ^{bc} | 4,4533 ^d | 0,3505 ^d |
| Chapata | 1 | Extraído | 1 | - | 8,9460 ^e | 0,9403 ^{cd} | 0,6388 ^{cd} | 5,3783 ^e | 0,3890 ^{de} |
| Chapata | 1 | Extraído | - | 1 | 4,1650 ^b | 0,8243 ^b | 0,6080 ^b | 2,0833 ^b | 0,3080 ^c |
| Chapata | 1 | Extraído | - | 2 | 5,0393 ^c | 0,6933 ^a | 0,5373 ^a | 1,8765 ^b | 0,2123 ^a |
| Chapata | 1 | Extraído | - | 3 | 3,0725 ^a | 0,6825 ^a | 0,5458 ^a | 1,1450 ^a | 0,2103 ^a |
| Error estándar | | | | | 0,2979 | 0,0110 | 0,0095 | 0,1791 | 0,0134 |

- Salvado: concentración 0 (ausencia) (pan blanco), 1 (15%). Dosis extracto: concentración 1 (0,64%). Dosis encapsulado: 1 (0,1%), 2 (0,2%), 3 (0,3%).
 - El superíndice que aparece en los promedios de cada parámetro indica la diferencia significativa ($p < 0.05$).

5.2.1. Dureza

La presencia de AF no ejerció un incremento significativo en la dureza de los panes blancos. Si embargo, los panes elaborados con salvado extraído y los adicionados con el extracto de AF sufrieron un aumento significativo de su dureza ($p < 0,005$). Todo lo contrario con la presencia del encapsulado 3 en estos panes que disminuyó de manera significativa su dureza. Del encapsulado 1 y 2 no se aprecian diferencias significativas. Se sabe que la firmeza de los panes está íntimamente relacionada con el volumen de los panes (Gómez y otros, 2007) por lo que la explicación a las diferencias de firmeza podría encontrarse en las diferencias de volumen específico. El AF libre contribuye a la estabilidad mecánica del pan mediante la absorción del agua, por tanto, es lógico que los panes en cuya composición se encuentra el AF contengan una mayor cantidad de agua que les hace ser más elásticos y menos duros.

5.2.2. Cohesividad

La adición de los encapsulados de AF provocó una disminución significativa de la cohesividad de la miga en ambos tipos de panes. Por el contrario, no se han encontrado diferencias estadísticamente significativas con la adición del extracto de AF en ninguno de los panes.

5.2.3. Resilencia y elasticidad

Al igual que pasaba con la cohesividad, los encapsulados disminuyeron significativamente la resilencia de la miga en ambos panes, lo que implica que el AF disminuyó la capacidad de recuperación instantánea del pan. No se encontraron diferencias entre los panes blancos y de salvados adicionados con el extracto de AF. La elasticidad también se vio disminuida con los encapsulados de AF tanto en los panes blancos como los de salvado. Mientras que los extractos no provocaron cambios significativos en la elasticidad de la miga de ambos panes. Esto puede explicarse a que el AF encapsulado no puede participar en el proceso de captación de agua y estabilización del gluten al no encontrarse de manera libre, afectando a estos parámetros texturales.

5.2.4. Masticabilidad

La masticabilidad es un parámetro directamente proporcional a la dureza, puesto que a mayor dureza de un alimento mayor va a ser la energía necesaria para masticarlo. Se observó una disminución significativa de la masticabilidad en los dos tipos de panes a los que se les había adicionado los encapsulados de AF. La dosis de extracto presente en los panes sólo produjo diferencias significativas en los panes de salvado. La masticabilidad también aumentó en los panes elaborados con salvado extraído.

5.3. Color de la corteza y de la miga

La tabla 6 muestra el efecto de la adición de AF sobre los parámetros que definen el color de la corteza y la miga del pan blanco y del pan con salvado. Se han encontrado diferencias significativas ($p < 0,05$) en ellos con la incorporación de AF.

Tabla 6. Parámetros que definen el color de los panes blancos y de salvado con adición de AF en forma de extracto y encapsulado.

| Tipo de pan | Salvado | Tipo de salvado | Dosis de extracto | Dosis de encapsulado | Corteza | | | Miga | | |
|-----------------------|---------|-----------------|-------------------|----------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|---------------------|--------------------|
| | | | | | L* | C* | h | L* | C* | h |
| Chapata (Control 1) | 0 | - | - | - | 59,871 ^{ac} | 28,945 ^c | 68,005 ^{abc} | 77,631 ^g | 9,378 ^a | 87,35 ^d |
| Chapata | 0 | - | 1 | - | 59,521 ^{ac} | 30,444 ^c | 66,953 ^a | 66,683 ^d | 13,090 ^c | 86,19 ^d |
| Chapata | 0 | - | - | 3 | 65,815 ^d | 28,860 ^c | 69,738 ^c | 54,823 ^{ab} | 17,935 ^e | 86,16 ^d |
| Chapata (Control 2) | 1 | Original | - | - | 58,024 ^a | 25,289 ^b | 67,260 ^{ab} | 53,961 ^a | 17,056 ^e | 89,21 ^e |
| Chapata | 1 | Extraído | - | - | 59,131 ^{ab} | 24,055 ^{ab} | 67,426 ^{ab} | 56,729 ^b | 16,005 ^d | 72,71 ^c |
| Chapata | 1 | Extraído | 1 | - | 59,801 ^{ab} | 22,713 ^{ab} | 69,260 ^{ac} | 60,415 ^c | 17,228 ^e | 68,74 ^b |
| Chapata | 1 | Extraído | - | 1 | 61,364 ^{bc} | 21,899 ^a | 68,384 ^{abc} | 59,448 ^{bc} | 16,025 ^d | 66,32 ^a |
| Chapata | 1 | Extraído | - | 2 | 64,220 ^d | 23,585 ^{ab} | 68,249 ^{abc} | 73,699 ^f | 11,884 ^b | 71,25 ^c |
| Chapata | 1 | Extraído | - | 3 | 62,375 ^{cd} | 24,814 ^b | 69,063 ^{abc} | 68,656 ^{de} | 11,939 ^b | 68,14 ^b |
| Error estándar | | | | | 0,7518 | 1,4407 | 0,7609 | 0,5340 | 0,3355 | 0,5291 |

- Salvado: concentración 0 (ausencia) (pan blanco), 1 (15%). Dosis extracto: concentración 1 (0,64%), 2 (0,2%), 3(0,3%).

- L*: luminosidad; C*: saturación; h: tono.

- El superíndice que aparece en los promedios de cada parámetro indica la diferencia significativa (p<0.05).

5.3.1. Luminosidad de la corteza y de la miga

Se apreció un aumento significativo de la luminosidad de la corteza con la adicción de AF en forma de encapsulado, principalmente con la dosis 2. Se observaron efectos similares para el pan blanco y el pan de salvado. Aparentemente la adicción del extracto de AF no afectó a la corteza en ambos panes. En cuanto a la luminosidad de la miga se observaron efectos opuestos en el pan blanco y el pan con salvado. En el primero la adicción del encapsulado y del extracto disminuyeron significativamente su luminosidad. Por el contrario ambos compuestos aumentaron la luminosidad de la miga en los panes con salvado.

5.3.2. Saturación o croma de la corteza y de la miga

El croma de la corteza y de la miga aumentaron significativamente en los panes blancos con la adicción de AF, ejerciendo un mayor aumento el extracto sobre la corteza y el encapsulado sobre la miga. Sin embargo, la presencia de AF produjo un efecto contrario en los panes de salvado disminuyendo el croma de la miga

(especialmente con los encapsulados) mientras que el croma de la corteza se mantuvo. De este modo se puede decir que la presencia de AF aumentó la viveza del color de la corteza y la miga en el pan blanco y la disminuyó en la miga de pan de salvado.

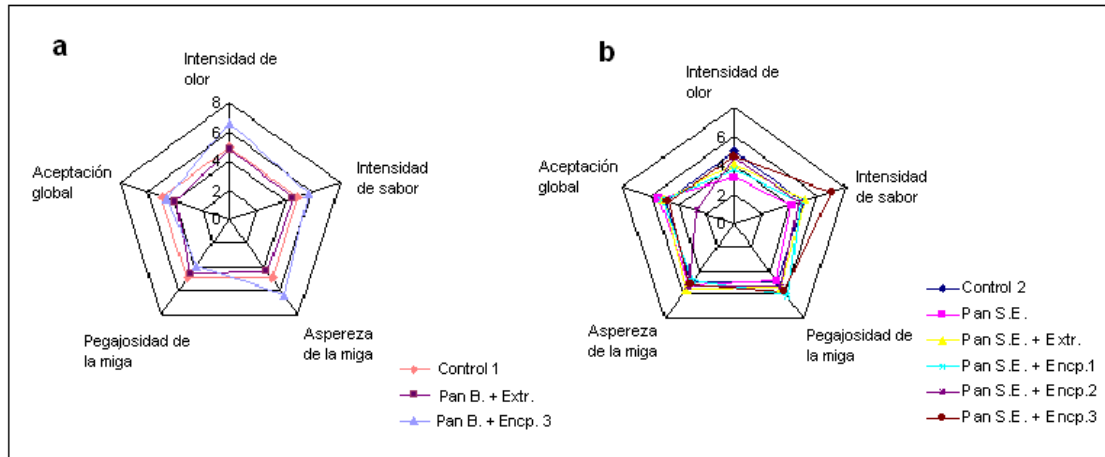
5.3.3. Tono y saturación de la corteza y de la miga

Según el diagrama cromático establecido por las coordenadas a^* y b^* , tanto el tono de la corteza como el de la miga de los panes estarían comprendidos entre los tonos amarillentos. La adición de AF aumentó el tono de la corteza en ambos tipos de pan aunque no de forma significativa, excepto con la adición de AF en forma de extracto que disminuyó el tono de la corteza en los panes blancos. El tono de la miga no varió significativamente con la adición de AF en los panes blancos pero sí en los panes de salvado.

5.4. Evaluación sensorial

La figura 6 representa los resultados obtenidos del análisis sensorial, en donde se ha evaluado la intensidad del olor, la intensidad del sabor, la pegajosidad de la miga, la aspereza de la miga y por último, la aceptación global en los panes blancos y en los panes de salvado.

La intensidad de olor en los panes blancos solo se vio afectada de manera significativa ($p < 0,05$) con la adición del encapsulado de AF. También la presencia del encapsulado aumentó la intensidad del sabor en los panes blancos aunque no de manera significativa. Por otra parte, no se apreció un mayor efecto sobre las variables de intensidad de olor y sabor del pan blanco con la adición del extracto de AF. La pegajosidad y la aspereza de la miga sufrieron variaciones significativas con la presencia del extracto y del encapsulado de AF; mientras que estas variables sensoriales mantuvieron valores próximos al control 1 con la adición del extracto, el encapsulado aumentó de manera significativa la pegajosidad y disminuyó la aspereza. El último parámetro analizado fue la aceptación global; los panes con extracto de AF recibieron una peor puntuación por parte de los jueces, ya que el sabor les resultaba más desagradable y con un ligero toque amargo. Los panes blancos con el encapsulado de AF presentaron valores muy similares a los del pan control 1.



- Control 1: pan blanco; Pan B. + Extr.: pan blanco + extracto de AF; Pan B. + Encp.3.: pan blanco + encapsulado 3 de AF.
- Control 2: pan de salvado original; Pan S.E.: pan de salvado extraído; Pan S.E. + Extr.: pan de salvado extraído + extracto de AF; Pan S.E. + Encp.1: pan de salvado extraído + encapsulado 1; Pan S.E. + Encp.2: pan de salvado extraído + encapsulado 2; Pan S.E. + Encp.3: pan de salvado extraído + encapsulado 3.

Figura 6. Representación mediante gráfico radial de los atributos sensoriales evaluados correspondientes a: **a:** Pan blanco. **b:** Pan de molde.

La adición de AF a los panes de salvado no ejerció un efecto significativo en la intensidad del olor, excepto en aquellos con encapsulado 1 y los panes de salvado extraído, que disminuyeron su intensidad de olor de forma significativa, y la intensidad de sabor solo se vio afectada significativamente en aquellos a los que se les añadió el encapsulado 2. La aspereza y la pegajosidad no se vieron afectados de manera significativa por la adición de AF, salvo en aquellos que presentaban en su elaboración el encapsulado 1. No hubo diferencias significativas respecto al control 2 en cuanto a la aceptación global en los panes de salvado, exceptuando a los que presentaban en su composición el encapsulado 2, que fueron los peores valorados, ya que según observaciones de los panelistas presentaban un sabor desagradable, debido seguramente a un fallo durante su elaboración. Por el contrario, los panes de salvado extraído recibieron la mejor puntuación, ya que según los panelistas no presentaban el sabor característico de los panes con fibra.

6. Conclusión

Los resultados obtenidos del análisis de las propiedades físicas de los panes demuestran que el extracto de AF adicionado a los panes blancos y de salvado provocó una disminución, aunque no significativa, del volumen específico de éstos. Por su parte, los valores de la pérdida de peso tras el horneado final no sufrieron

modificaciones importantes. La presencia del extracto de AF no ejerció un efecto significativo en los parámetros texturales de ambos panes. En cuanto a los parámetros de color la luminosidad de la miga se vio afectada por la presencia del extracto en ambos panes; la saturación y el tono mostraron valores similares al control 1. Por otra parte, los encapsulados no ejercieron cambios significativos en el volumen específico del pan blanco y de salvado, ni en la pérdida de peso de estos. Sin embargo, si ejercieron un efecto significativo en los parámetros texturales que se vieron disminuidos en ambos panes. Por otro lado, los valores de luminosidad, saturación y tono fueron muy similares a los del control 1 y 2. Los resultados sobre las características sensoriales demuestran, que el uso de AF modifica la intensidad de sabor y olor en los panes blancos y de salvado, pero con valores cercanos a los de los controles. En conclusión, es posible el enriquecimiento de los panes blancos y de salvado, aumentando su valor nutricional y antioxidante sin que empeore su calidad física y sensorial.

7. BIBLIOGRAFÍA

- AESAN. 2011. Encuesta nacional de ingesta dietética (ENIDE). Ministerio de Sanidad, Servicios Sociales e Igualdad Madrid.
- Anderson, J.W., Baird, P., Davis, R.H., Ferreri, S., Knudtson, M., Koraym, A., 2009. Health benefits of dietary fiber. *Nutrition Review* 67: 188-205.
- Anson, N.M., Berg, R.V.D., Havenaar, R., Bast, A., Haenen, G.R.M.M., 2008. Ferulic acid from aleurone determines the antioxidant potency of wheat grain (*Triticum aestivum* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 56, 5589e5594.
- Arts, I.C.W., Hollman, P.C.H., 2005. Polyphenols and disease risk in epidemiologic studies. *The American Journal of Clinical Nutrition* 81(1):317S–25S.
- Bakke, A., Vickers, Z., 2007. Consumer Liking of Refined and Whole Wheat Breads. *Journal of Food Science* 72(7) S473.
- Balasubashini, M.S., Rukkumani, R., and Menon, V.P., 2003. Protective effects of ferulic acid on hyperlipidemic diabetic rats. *Acta Diabetol* 40,118-122,.
- Bilgic, N., Ibanoglu, S., Herken, E.N., 2007. Effect of dietary fibre addition on the selected nutritional properties of cookies. *Journal of Food Engineering* 78:86–89.
- Boyer J, Liu RH. 2004. Apple phytochemicals and their health benefits. *Nutr J* 3(5):1–15
- Fulcher, R.G., 1983. Fluorescence microscopy of cereals in new frontiers in food microstructure, ed. By American Association of Cereal Chemist, pp. 167-175.
- Gordan, M.H., Pokorny, J., Yanishlieva, N., 2001. The development of oxidative rancidity in foods. *Antioxidants in food*. Woodhead Publishing p 7–70.
- Gómez, M., Ronda, F., Caballero, P.A., Blanco, C.A., Rosell, C.M., 2007. Functionality of different hydrocolloids on the quality and shelf-life of Bellow layer cakes. *Food Hydrocolloids* 21 (2),167-173.
- Graf, E., 2000. Antioxidant potential of ferulic acid. *Free Radical Biology and Medicine* 28, 1249-1256.

- Hielscher, T., 2005. Ultrasonic production of nano-size dispersions and emulsions. Dans European Nano Systems Workshop.
- Jaeger, S.R., Axten, L.G., Wohlers, M.W., Sun-Waterhouse, D., 2009. Polyphenol-rich beverages: insights from sensory and consumer science. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 89(14):2356–63.
- Kanaski, J., Aksenova, M., Stoyanova, A., and Butterfield, D.A., 2002. Ferulic acid antioxidant protection against hydroxyl and peroxy radical oxidation in synaptosomal and neuronal cell culture system *in vitro*: structure activity studies. *Journal of Nutritional Biochemistry* 13, 273-281.
- Kim YR, Cornillon P. 2001. Effect of temperature and mixing time on molecular mobility in wheat dough. *Lebensm-Wissenschaften-Technol* 34:417–23.
- Liyana-Pathirana, C.M., Shahidi, F., 2007. The antioxidant potential of milling fractions from breadwheat and durum. *Journal of Cereal Science* 45:238–47.
- Miller, AL. 1996. Antioxidant flavonoids: Structure, function and clinical usage. *Alternative Medicine Review* 1:103–11.
- Moskowitz, M. R., Bin, Q., Elias, R. J., and Peterson, D. G., 2012. Influence of endogenous ferulic acid in whole wheat flour on bread crust aroma. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 60(45):11245-11252.
- Pelucchi, C., Talamini, R., Galeone, C., Negri, E., Franceschi, S., Dal Maso, L., Montella, M., Conti, E., La Vecchia C. 2004. Fibre intake and prostate cancer risk. *Int J Canc* 109:278–80.
- Price, J.A., Sanny, C.G., Shevlin, D., 2006. Application of manual assessment of oxygen radical absorbent capacity (ORAC) for use in high throughput assay of “total” antioxidant. *Journal of Pharmacological and Toxicological Methods* 54(1):56-61.
- Renard, C.M.G.C., Baron, A., Guyot S., Drilleau, J.F., 2001. Interactions between apple cell walls and native apple polyphenols: quantification and some consequences. *International Journal of Biological Macromolecules* 29:115–25.

- Scott, K.P., Duncan, S.H., Flint, H.J., 2008. Dietary fibre and the gut microbiota. *Nutrition Bulletin* 33:201– 11.
- Shahidi, F., Naczk, M., 1995. Nutritional and pharmacological effects of food phenolics. In: *Food phenolics: Sources, chemistry, effects and applications*. Technomic Publishing Company, Inc. p 171–91.
- Shahidi, F., Wanasundra, P.K.J.P.D., 1992. Phenolic antioxidants. *Critical Reviews on Food Science and Nutrition* 32, 67e103.
- Srinivasan, M., Sudheer, A. R., Menon, V.P., 2007. Ferulic Acid: Therapeutic potential through its antioxidant property. *Journal of Biochemistry and Nutrition* 40(2): 92–100.
- Suslick, K.S., 1998. *Ultrasound: Chemical, Biological and Physical Effects* pp 123-163.
- Thaipong, K., Boonprakob, U., Crosby, K., Cisneros-Zevallos, L., Hawkins Byrne, D., 2006. Comparison of ABTS, DPPH, FRAP, and ORAC assays for estimating antioxidant activity from guava fruit extracts. *Journal of Food Composition and Analysis* 19:669–75.
- Ulloa, J.A., Ulloa, P.R., Ramírez, J.C., Ulloa, B.E., 2013. Ultrasonidos: aplicación en el campo de los alimentos. *Nueva Época* 2007-0713.
- Wojdyło, A., Oszmianski, J., Czemerys, R., 2007. Antioxidant activity and phenolic compounds in 32 selected herbs. *Food Chemistry* 105:940–49.
- Yoshihara, D., Fujiwara, N., Suzuki, K., 2010. Antioxidants: Benefits and risks for long-term health. *Maturitas* 67(2):103-107.
- Zielinski, H., Kozłowska, H., 2000. Antioxidant activity and total phenolics in selected cereal grains and their different morphological fractions. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 48:2008–16.

ANEXO I: IMÁGENES DE LAS DIFERENTES ELABORACIONES DE PANES



Figura 6. Imágenes de los panes elaborados con harina blanca (1), con harina blanca más salvado de trigo original (2), con harina blanca más salvado de trigo extraído (3), con harina blanca más salvado de trigo extraído más extracto con AF (4), con harina blanca más salvado de trigo extraído más encapsulado de AF 1 (5) y con harina blanca más salvado de trigo extraído más encapsulado de AF 2 (6).



Figura 7. Imágenes de los panes elaborados con harina blanca más salvado de trigo extraído más encapsulado de AF 3 (7), con harina blanca más extracto con AF (8) y con harina blanca más encapsulado de AF (9).