

10 y 11 de noviembre de 2020

CENTRO UNIVERSITARIO SANTA ANA

XLII JORNADAS DE VITICULTURA Y ENOLOGÍA TIERRA DE BARROS

II Congreso Agroalimentario de Extremadura



**XLII JORNADAS DE VITICULTURA Y ENOLOGÍA
DE LA TIERRA DE BARROS**
II Congreso agroalimentario de Extremadura

Edita:

Centro Universitario Santa Ana
C/ IX Marqués de la Encomienda, nº 2
Almendralejo
Tel. 924 661 689
<http://www.univsantana.com>

Colabora: Cajalmendralejo

Ilustración de portada:

© Jaime Fenollera
Viñedos en Tierra de Barros

Diseño original:

Tecnigraf S.A.

Maquetación: Virginia Pedrero

ISBN: 978-84-7930-110-4

D.L.:

Imprime: Impresal

Componentes volátiles del pan y desarrollo de un panel de cata específico

ARAGÓN GARCÍA, F.

RUIZ RODRÍGUEZ, A.

PALMA LOVILLO, M.

Instituto de Investigaciones Vitivinícola y Agroalimentaria. IVAGRO.
Departamento de Química Analítica. Universidad de Cádiz. Campus de Puerto
Real, 11510 Puerto Real, Cádiz. Tel: 956 0167755.

RESUMEN

El pan es considerado uno de los alimentos básicos en la dieta mediterráneas y, por tanto, de elevado consumo tanto en España como a nivel mundial. Actualmente, debido a intolerancias y a la búsqueda de un estilo saludable, el consumidor exige una mayor calidad en las elaboraciones buscando ciertos atributos característicos del pan, relacionados con el tacto, esponjosidad, color o el aroma.

En relación a la evaluación de los atributos, en este trabajo se plantea el desarrollo y la programación detallada, temporalmente y con ejercicios concretos, para la formación de un panel de cata especializado en pan ya que, hasta la fecha, no se ha podido encontrar unas normas o recomendaciones específicas que permitan la formación de un panel de cata, como en el caso del vino o el aceite de oliva.

Por otro lado, en relación con el panel de cata y con vistas a la correlación de sus resultados con los resultados obtenidos en

técnicas de análisis instrumentales, es necesario disponer de una revisión de los componentes que participan en los aromas del pan, siendo éste el segundo apartado de este trabajo. Mediante una investigación sobre datos bibliográficos se pretende caracterizar los componentes aromáticos del pan.

Palabras claves: pan, aromas, análisis sensorial, cata, compuestos volátiles.

ABSTRACT

Bread is considered one of the basic foods in the Mediterranean diet and, therefore, highly consumed both in Spain and worldwide. Nowadays, due to intolerances and the search for a healthy style, the consumer demands a higher quality in the elaborations looking for certain characteristic attributes of the bread, related to the touch, sponginess, colour or aroma.

In relation to the evaluation of the attributes, in this work the development and the detailed programming, temporarily and with concrete exercises, for the formation of a tasting panel specialised in bread is proposed, since, until now, it has not been possible to find some specific norms or recommendations that allow the formation of a tasting panel, as in the case of wine or olive oil.

On the other hand, in relation to the tasting panel and with a view to the correlation of its results with the results obtained in instrumental analysis techniques, it is necessary to have a review of the components that participate in the aromas of bread, this being the second section of this work. By means of a research on bibliographic data, we intend to characterize the aromatic components of bread.

Keywords: bread, aromas, sensory análisis, tasting, volatile compounds.

1. INTRODUCCIÓN

Desde la antigüedad, el pan es un alimento que siempre ha estado presente en la alimentación debido a que su elaboración está ligada a la producción de cereales, concretamente, a la producción del trigo. Por este motivo, no existe un origen claro de cómo y cuándo se comenzó a elaborar el pan, aun-

que existían estudios que datan las primeras elaboraciones en el Neolítico (6.000-9.000 años) [1]. En 2018 un estudio realizado por la universidad de Copenhague, afirma haber hallado restos de pan carbonizado en una estructura de piedra, similar a una hoguera, que data de unos 14.400 años [2]. Si nos situamos en España, la elaboración del pan se estima que se inició en el siglo III a.C, siendo introducida por los celtíberos como consecuencia al buen desarrollo del cultivo de trigo, que a pesar de su bajo rendimiento, era el cereal que más producción aportaba en comparación con el centeno, avena o cebada [3-4]. Paralelamente, aparece los primeros panes en Egipto como consecuencia de un cervecero-panadero que olvidó guardar la masa, observando al día siguiente una masa fermentada [5].

El proceso de elaboración conocido como “masa madre” se asocia a los estudios llevado a cabo por Louis Pasteur (s.XIX), donde se comienzan a crearse las industrias que producen las levaduras siendo, en el 1920, donde Soren Sak desarrolla el “Método Zero” mediante el cual surgen las levadura de panificación, unas levaduras que fermentaban pero no generaban alcohol [6]. A principios del siglo XXI se redescubre el término masa madre donde se inician estudios, no solo referentes a levaduras, sino también a bacterias lácticas [7].

Debido a la demanda de los consumidores de, las diferentes tipologías de panes así como, al interés de conocer “lo que comen”, el Gobierno aprobó el 26 de abril de 2019 la nueva Norma de Calidad del Pan [8], donde se define nuevamente el pan común así como los diferentes tipos de éste, especificando cómo han de estar elaborados y apareciendo la definición de masa madre, renovando la definición de pan artesanal [9].

Por otro lado, el análisis sensorial se define como un método científico empleado para medir, analizar e interpretar respuestas a la percepción de los productos a través de los sentidos [10]. A diferencia de los métodos instrumentales, se requiere un panel de jueces o catadores entrenados para evaluar las muestras pudiendo ser de forma cualitativa o descriptiva, o bien, de forma cuantitativa, cuando existe un entrenamiento y especialización en los atributos del alimento [11]. Antes de formar un panel de cata, necesitamos establecer el perfil sensorial de nuestro alimento (ISO 13299:2019), ya que, a diferencia del aceite de oliva o el vino, el análisis sensorial del pan no posee un método estandarizado que permita realizar y formalizar el panel de cata. Sin embargo, se han descrito diferentes atributos del pan que sirven de guía para su análisis.

2. COMPOSICIÓN DEL PAN

El pan, como su propia definición explica, está compuesto principalmente por harina de trigo (de fuerza), agua, sal y levadura, pudiendo incluir otros ingredientes (otros cereales). La harina, está compuesta principalmente por hidratos de carbono lo que representa entre el 50-80% de la composición final del pan y se clasifican según su absorción y digestión, es decir, en carbohidratos solubles (azúcares y almidón) y no solubles (fibra dietética) [12]. Las proteínas insolubles: gliadinas y glutaminas, conocidas como gluten, junto al almidón juegan un papel fundamental ya que, en presencia del agua, se hidratan y forman una malla o red de gluten que proporcionan propiedades plásticas a la masa, capacidad de retención de anhídrido carbónico (CO₂), estabilidad a la masa o estructura de la miga [5,12,13].

El agua, después de la harina, es el segundo compuesto mayoritario, siendo necesaria para realizar el amasado [5] así como humedecer la harina haciendo que las proteínas que forman el gluten se hidraten que, junto a la acción mecánica del amasado, ayuda a que los azúcares fermentables del trigo se espongan y puedan ser consumido por las levaduras [13].

La sal es el tercer elemento fundamental en la elaboración del pan que ayuda, no solo a aumentar el sabor del pan y estructura de la miga, sino también a disminuir la acción de las levaduras retrasando la fermentación y ayudando a la que la producción de gas sea lenta y quede retenida en la masa [14].

Finalmente, las cepas de levaduras (*Saccharomyces cerevisiae*) son el último elemento que intervienen en la composición del pan, cuya función es llevar a cabo el proceso de fermentación, es decir, la transformación de azúcares que se encuentran en la harina para la obtención de anhídrido carbónico y etanol. El primero de estos permanecerá en la masa mientras que el etanol desaparece durante el proceso de cocción y horneado [15]. Estas levaduras se pueden comercializar de forma química y biológica: levadura fresca o prensada, levadura seca activa (LSA) o levadura natural (obtenida de la propia harina, conocida como masa madre) [16,17].

3. ELABORACION DEL PAN

A modo general, el proceso de elaboración de pan se lleva a cabo por medio de 6 etapas. La primera de ellas, el *amasado*, consiste en la mezcla y

homogenización de los ingredientes en orden: agua, sal, harina y levadura. La acción mecánica de este amasado ayudará a que las proteínas insolubles formen la red de gluten que se verá influenciada según el modo de amasado: manual o mecánico [18]. Ésta va seguida de una fase de reposo donde se realizará la primera fermentación por medio de la respiración de las levaduras. Seguidamente, se realiza la etapa de división y boleado buscando repartir la masa en partes iguales y recuperando su estructura [19]. Tras ella, se lleva a cabo el proceso de formado, que como su propio nombre indica consiste en dar la forma al pan por medio de moldes o de forma manual.

La penúltima etapa, etapa de fermentación, las levaduras iniciarán el proceso mediante el cual el CO₂ quedará retenido en la masa provocando la “hinchazón del pan”, asimismo, en esta etapa se producirán los aromas del pan [20].

El proceso finaliza con las fases de cocción y horneado donde, la primera fase se produce la transformación de masa fermentada en pan a una temperatura de 220-260°C en la cual el etanol producido por las levaduras junto a una parte de agua se evapora[5]. Por otro lado, en la fase de horneado, junto con la caramelización de los azúcares, se produce las reacciones de Maillard que serán las responsables de las características sensoriales del pan [21,22].

4. EL ANÁLISIS SENSORIAL DE LOS ALIMENTOS

El análisis sensorial (AS) se define como un método empleado para medir, analizar e interpretar respuestas a la percepción de los productos a través de los sentidos[10,23]. A diferencia de los métodos instrumentales, se requiere un panel de jueces o catadores entrenados para evaluar los productos, pudiendo ser de forma cualitativa o descriptiva, o bien, de forma cuantitativa cuando existe un entrenamiento y especialización en los atributos del alimento [11].

Por otro lado, antes de formar un panel de cata, necesitamos establecer el perfil sensorial de nuestro alimento (ISO 13299:2016), a diferencia del aceite de oliva o el vino, el análisis sensorial del pan no posee un método estandarizado que permita realizar y formalizar el panel de cata pero si, se han considerado y descrito ciertos atributos del pan que se consideran de mayor interés y calidad [11].

De igual forma, el desarrollo de un panel de catadores mediante entrenamientos es fundamental para poder realizar un análisis descriptivo y cuantitativo. En la normativa UNE-EN ISO 8586 (2014) se establece que, para poder realizar un panel de cata especializado, es necesario que esté formado por jueces/catadores expertos, para ello se realizan tres fases: fase reclutamiento, fase de familiarización y selección de jueces y formación de catador experto.

En el pan, se han evaluado la influencia de diferentes materias en el pan, como por ejemplo el empleo de harinas multicereales, integral o bien harinas sin gluten [25-27]. Por otro lado, otras evaluaciones que se realizan es el efecto de las condiciones durante la elaboración [28] o bien los cambios que se producen durante el almacenamiento del pan [20]. Todos estos estudios emplean el AS, como catas de preferencias (hedónicas), las más utilizadas, o catas discriminativas para apoyar a los métodos instrumentales. Sin embargo, no suelen explicar el entrenamiento de los jueces ni la metodología empleada debido a que, actualmente, no existe unas directrices claras de como se ha de realizar el AS del pan. Este hecho hace que cada grupo de trabajo elabore sesiones de cata de forma diferentes no pudiendo ser comparables entre un estudio y otro.

5. COMPUESTOS VOLÁTILES DEL PAN (VOCs)

A pesar de que son 6 las etapas a seguir para la elaboración de pan, solo tres procesos intervienen en la formación de compuestos volátiles: el amasado, la fermentación y la etapa de cocción/horneado (Figura 1 pág. 11).

A fecha de hoy, existen numerosos estudios que analizan los VOCs que se originan en la miga del pan, es decir, aquellos que provienen del proceso de fermentación y de amasado, destacando el realizado por Birch et al., en 2013, [29] que identificó 46 compuestos en 9 panes con diferentes tiempos de fermentación. De la misma manera, en 2010 Cho & Peterson [30], realizan una revisión bibliográfica, hasta esa fecha, sobre los VOCs que se originan, tanto en la miga como en la corteza, identificando 540 compuestos volátiles, siendo los grupos principales los recogidos en la Figura 2 (pág.11), e incluyendo lactonas, hidrocarburos y ácidos.

Por contra, según Pico et al., [31], no existe una revisión completa de todos los compuestos que intervienen en el proceso de elaboración del pan, pero

logran realizar un estudio exhaustivo, categorizando 326 compuestos que aportan aromas al pan, tanto positivos como negativos, de los cuales un 40% procede del proceso de fermentación, un 33% de las reacciones de Maillard y un 27% de la oxidación lipídica. En el Apéndice I (pág.15) se recogen los compuestos volátiles identificados, hasta la fecha, agrupados por las diferentes familias que intervienen en el aroma del pan.

Por otro lado, a pesar de los numerosos compuestos que existen en el pan, solo una pequeña parte son los que proporcionan el aroma característico. Esto se ha evaluado incorporando a las investigaciones un análisis del Valor de Actividad de Aroma (OAV), definido como la relación entre la concentración de un compuesto y el umbral de percepción, de forma que, si ese valor es superior a 1 el compuesto es activo y, por tanto, puede ser percibido [32,33]. En la Tabla 1 (pág.13), se recogen los VOCs que más influencia tiene en los aromas del pan, donde los alcoholes, aldehídos, cetonas, ácidos y ésteres se encuentran en mayor medida en la miga del pan, mientras que los tioles, furanos, pirazina, piridinas y otros como los compuestos sulfúricos, se encuentran en mayor medida en la corteza, es decir, aquellos resultantes de las reacciones de Maillard [30- 32, 34].

De igual forma, se ha estudiado la percepción de estos compuestos volátiles durante la masticación; Pu et al., (2019) realizan un estudio de 71 compuestos volátiles (alcoholes, aldehídos, cetonas, ácidos, ésteres, lactonas y furanos) mediante las técnicas conjuntas de microextracción en fase sólida (SPME), Cromatografía de Gases (GC) acoplada a un espectrofotómetro de masas (MS), SPME-GC-MS, determinando 32 de ellos como los que más influyen en los aromas del pan blanco. A partir de este estudio, en 2019 Pu et al., identifican 30 VOCs con la técnica conjunta de GC y espectrometría de movilidad iónica (IMS), GC-IMS, donde determinan que los aromas generados principalmente durante la fermentación y el amasado se percibían al tragar el pan, mientras que , tras la masticación se perciben con mayor intensidad aquellos que se generan durante la cocción y el horneado. No obstante concluyen que el butanoato de etilo, el acetato de butilo, el hexanal, el 3-(metilo)-propanal, el 3-metilbutanal y la 2,3-butanodiona, eran los principales VOCs que contribuían a la percepción del aroma al masticar el pan [36].

Igualmente, otro estudio realizado también por Pu et al., [37] analiza mediante el Análisis de Dilución y Extracción del Aroma (ADEA) de cuatro marcas de pan blanco (con diferentes elaboración) los VOCs, que influyen

de forma directa el aroma del pan blanco, determinando como compuestos claves (E,E)-2,4-decadienal, el 2-feniletanol, furaneol, δ -decalactona, 4-metil-5-tiazol y 5-metil-2-furanmetanol. Asimismo, mediante la aplicación de pruebas de omisión, se determina, por primera vez la importancia de los compuestos como la decalactona, el 4-metil-5-tiazoletanol y el 5-metil-2-furanmetanol y su involucración en el aroma del pan (Tabla 2 pág. 14).

6. EL ANÁLISIS SENSORIAL DEL PAN

Como se ha comentado, actualmente, no existe unas directrices claras de como se ha de realizar el análisis sensorial del pan a pesar de que se han descrito los atributos más interesantes. Este hecho, hace que cada grupo de trabajo elabore las sesiones de cata de forma diferentes no pudiendo ser comparables entre un estudio y otro.

Debido al interés que tiene el estudio del pan, derivados y sus modificaciones, al igual que con el vino o el aceite, se propone estudiar las pautas para el análisis sensorial del pan con el fin de conseguir una homogeneidad y normalización. Este panel consta de tres etapas fundamentales (Figura 3, pág. 12):

1. Fase olfativa – gustativa donde se evalúan los aromas de la miga y la corteza, así como aquellos que se desprende al romper el pan. Además, el flavor de la miga, de la corteza y de ambos a la vez. En esta evaluación hay que tener en cuenta la temperatura a la que se encuentra el pan, siendo recomendable que sean temperaturas cálidas evitando la pérdida de compuestos volátiles. Por tanto, se plantea el siguiente procedimiento:
 - Sin romper la muestra, se evaluará el aroma del pan.
 - Se procederá a separar la miga de la corteza, evaluando a conciencia, los aromas que se desprenden durante la separación. Una vez separados, se evalúa nuevamente los aromas del pan, analizando corteza y miga.

Al igual que los aromas, el flavor del pan se evalúa por separado y por conjunto, esto se debe a que, como hemos podido comprobar, la generación de compuestos en la corteza y en la miga varía siendo, normalmente, la corteza más sabrosa que la miga.

- Evaluar el sabor de la miga del pan: salado, dulce y ácido. Por vía retronasal se evaluarán aromas como fruto seco, levadura, mantequilla, fruto de cáscara, cereal, vinagre...
 - Evaluar el sabor de la corteza, concretamente tostado, dulce, amargo, astringente.
 - Coger un trozo que contenga, aproximadamente el 75% miga y el 25% corteza, para evitar el enmascaramiento del sabor de la corteza sobre la miga, y evaluar de forma conjunta.
2. Fase visual donde se evalúa en primer lugar el color y brillo de la miga y la corteza, así como el número y tamaño de los alveolos (atributos de apariencia). Por otro lado, para evaluará elasticidad de la miga y la corteza, la esponjosidad y grado de comprensión de la miga y la fragilidad de la corteza (Atributos de textura), empleando las escalas según la norma ISO 87025:1996.
3. Fase en boca donde se evalúan los atributos de textura:
- Dureza de la miga y de la corteza, mediante la comprensión de la muestra entre los molares.
 - Cohesividad de la miga, a través de un bocado, se coloca la muestra entre los molares y se analiza el grado de deformación antes de su rotura.
 - Adherencia de la miga y la corteza, para esto, se coloca la muestra de miga en la lengua y se presiona contra el paladar, observando la fuerza necesaria para separarlo de él.
 - Masticabilidad, en conjunto, de la corteza y miga. Esto se realiza realizando una masticación por segundo empleando la fuerza necesaria para romper una pastilla de goma.

7. CONCLUSIONES

Durante del desarrollo de este estudio bibliográfico se han podido conocer y actualizar los compuestos volátiles que actúan en el aroma del pan, así como, mediante las normas relativas al análisis sensorial, establecer las pautas para el desarrollo de un panel de catadores de pan. Podemos concluir que:

- El aroma del pan está determinado fundamentalmente por los procesos de amasado, fermentación y cocción.
- Las principales familias aromáticas son los alcoholes, aldehídos, cetonas, ácidos y ésteres.
- Nuevas técnicas como la espectrometría de movilidad iónica acoplada a un cromatógrafo de gases son de interés para el estudio de compuestos aromáticos de un alimento.
- Actualmente no existe un panel de cata específico para el pan, sin embargo, la mayoría de los estudios emplean un análisis sensorial para apoyar los métodos instrumentales.
- Las pautas que se han descrito permiten el desarrollo de un panel de cata especializado de pan.

Figura 1 Esquema resumen de las etapas que intervienen en el aroma del pan, así como los procesos que generan los compuestos aromáticos.



Figura 2. Principales compuestos aromáticos que se forman en el pan.

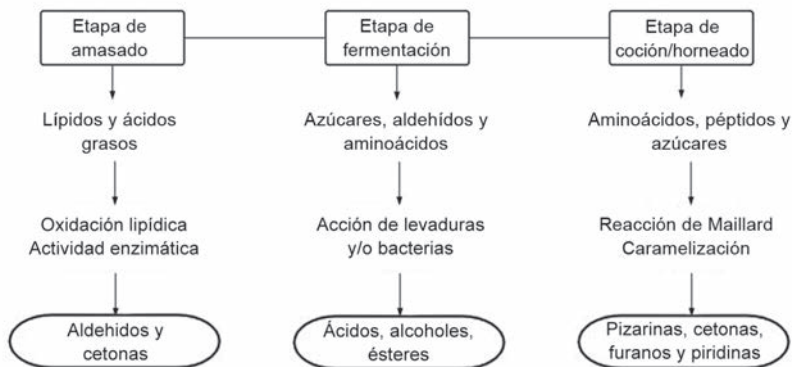


Figura 3. Desarrollo propuesto para el análisis sensorial del pan.

PANEL DE CATA ESPECÍFICO PARA PAN		
ESPECIALIZACIÓN Entrenamiento específico en atributos del pan: técnica de análisis sensorial 1. Apariencia: corteza y miga. 2. Textura: corteza y miga (por medio de tacto y boca) 3. Olor y flavor: pruebas discriminativas y descriptivas	Las pruebas discriminativas que se emplean son: triangular, dúo-dúo y tetrada. Las pruebas descriptivas se realizan con ayuda de las escalas que vienen en la normativa 87028:1996	
FASES DE LA CATA DE PAN		
OLFATIVA-GUSTATIVA Sin romper muestra: 1. Evaluar aroma de la miga 2. Evaluar el aroma de la corteza 3. Separar miga de corteza. evaluar aromas que se desprenden 4. Evaluar el sabor de la miga 5. Evaluar el sabor de la corteza 6. Evaluar el sabor conjunto de corteza y miga (25:75)	VISUAL 1. Color de la miga 2. Color de la corteza 3. Estructura de la miga 4. Tamaño de alveolos, regularidad 5. Fragilidad de corteza 6. Elasticidad de la miga y corteza 7. Esponjosidad de la miga	EN BOCA 1. Dureza de la miga y corteza 2. Cohesividad de la miga 3. Adherencia de miga y corteza 4. Masticabilidad en conjunto
NOTAS: La cata se realizará en una sala normalizada (UNE-EN ISO 8589), con jueces ya entrenados y especializados en el análisis sensorial del pan. Los catadores NO deberán fumar ni comer, al menos una hora antes de la sesión. Asimismo evitaran utilizar perfumes que pudieran alterar el resultado.		

Tabla 1. Principales compuestos aromáticos que intervienen en el aroma del pan según Birch et al., así como la localización de éstos según Pico et al., [31], [32].

GRUPO	COMPUESTO VOLÁTIL	AROMA	ORIGEN	ZONA
Alcoholes	3-metil-1-butanol	Balsámico. Alcohólico	F	C, M
	1-octen-3-ol	Hongos	OL	C, M
	1-heptanol	Hierva	OL	M
	2-metil-1-propanol	Alcohol, pegamento	F	C, M
	2-metil-1-butanol	Malta, chocolate, cafe	F	C, M
	2-feniletanol	Flores, miel, levadura	F	C, M
	1-Propanol	Afrutado, madera	F	M
Aldehídos	(E)-2- nonenal	Verde, papel	OL	C
	2-metilbutanal	Malta, Almendra	F; MR	C, M
	Nonanal	Cítrico	OL	C, M
	Hexanal	Verde	OL	C, M
	Fenilacetaldehído	Miel	F; MR	C, M1
	Heptanal	Fresco, graso, rancio	OL	C, M
	Octanal	Cítrico, flores	OL	C, M
	Decanal	Cítrico, dulce	OL	M
	Benzaldehído	Almendra, caramelo	OL; F	C, M
	(E,E)-2,4-decadienal	Graso, cera	OL	C, M
	Trans-4,5-epoxy-(E)-decenal	Metálico	OL	C, M
	(Z)- 2 - nonenal	Verde	OL	C, M
	4,5-epoxy -(E)-decanal	Metálico	OL	C, M
	5-metil-2-furfural	Almendra, amargo	F; MR	C
	(Z) 4-heptenal	Galleta	OL	C
	Vainillina	Vainilla	F	C, M
Cetonas	2,3-butadieno	Caramelo, mantequilla	F, MR	C, M1
	3-hidroxy-2-butanona	Caramelo, mantequilla	F	M
	1-Octen-3-ona	Champiñón	OL	C, M
	(Z)-1,5-octadien-3-ona	Geranio	nd	C
Ácidos	Ác. 3-metilbutanoico	Rancio, sudor	F; MR; OL	C, M
	Ác. Acético	Ácido, pungente	F; MR	C, M
	Ác. Butanoico	Rancio, sudor	F; OL	C, M

Ésteres	3-metilbutanoato de etilo	Fruta, manzana	F	M
	Hexanoato de etilo	Fruta, zumo	F	C1, M
	Octanoato de etilo	Dulce, fresco	F	C, M
	Acetato de etilo	Dulce, fruta, piña	F	C, M
	2-metil propanoato de etilo	Fruta	F	M
	Nonoato de etilo	Fruta	F	M1
Furanos	2-pentilfurano	Mantequilla, nueces, fruta	F; MR; OL	C, M
	4-hidroxy-2,5-dimetil-3(2H)- furanona	Caramelo, fresas	MR	C, M
Fenoles	4-vinil-2-metoxifenol	Espicias	MR	M
Pirrolina	2-acetil-1-pirrolina	Tostado	MR	C
Pirazina	2-metoxi-3-ispropilpirazina	Tostado	MR	M

Donde: F (Fermentación); MR (Reacción de Maillard); OL (oxidación lipídica); M (miga); C (corteza); 1(trazas); nf(no encontrado).

Tabla 2. Compuestos identificados, mediante pruebas de omisión, por GC-MS-O-AEDA, como compuestos claves en el sabor y aroma del pan [37].

AROMA	COMPUESTO VOLÁTIL
Agrio, amargo	Ácido butanoico
	Ácido 3-metilbutanoico
	Ácido hexanoico
	Ácido octanoico
	1-Propanol
Dulce, fruta, crema	2(5H)-Furanona
	γ -decalactona
	δ -decalactona
	γ -nonanolactona
	γ -lactona octanoica
	Furaneol
Dulce	2,3-butanodiol
	2-feniletanol
Caramelo	Furaneol
Coco, fruta, crema	δ -decalactona
Miel, flores	2-feniletanol
Tostado, asado	4-metil-5-tiazoletanol
Hierba, tostado	5-metil-2-furmentanol

APÉNDICE I. COMPUESTOS VOLÁTILES IDENTIFICADOS EN EL PAN HASTA LA FECHA

Tabla 3. Aldehídos que intervienen en el aroma del pan identificados hasta la fecha (basados en Pico et al., (2015) y ampliado).

ALDEHÍDOS			
Compuesto volátil	Aroma	Localización	Referencias
Hexanal	Verde, graso, afrutado, sudor	M,C	a, b, c, d, e, f, j, k, m, n, o, p, q, r, t, v, w, x, y, z, ae, ah, ai, aj, ak, al, am, ao, ap, aq
3-metilbutanal	Mala, pepino, chocolate negro	M,C	a, c, d, f, j, k, l, m, n, r, t, u, w, x, aa, ae, af, ai, aj, ak, al, am, ap
(E)-2-nonenal	Graso, verde	M,C	c, d, h, i, k, l, m, n, q, r, t, u, v, w, y, aa, ae, ag, ai, aj, al, ap
(Z)-2-nonenal	Graso	C	c, d, h, i, k, l, m, n, q, r, t, u, v, w, y, aa, ae, ag, ai, aj, al, ap, aq
Benzaldehido	Almendra, caramelo, cereza	M,C	a, b, d, f, g, j, k, m, n, s, t, v, w, x, y, z, ac, af, aj, ao, ap, aq
2,4-(E,E)-decadineal	Cera	M,C	c, h, k, l, n, q, s, t, v, w, y, aa, ae, ai, aj, al, ao, aq
2,4 -(E,Z) -decadineal	Graso, desagradable	M,C	c, h, k, l, n, q, s, t, v, y, aa, ae, ai, aj, al, ap
Fenilacetaldhido	Cítrico, miel	M,C *	a, c, d, i, l, n, r, t, aa, ae, ag, ai, aj, aq
Nonanal	Cítrico, rosa, flores	M,C	a, d, j, k, n, r, s, t, v, w, x, z, ae, a, am, ao, ap, aq
2- metilbutanal	Almendra, mantequilla	M,C	a, f, j, k, n, t, u, x, z, ae, ai, ak, am, aq
Heptanal	Graso, rancio, fresco	M,C	a, d, j, k, m, n, t, w, x, z, am, ap, aq
2- (E)-heptenal	Graso, hierba	M,C	b, e, n, r, t, v, w, x, aj, aq
3-(metiltio)-propanal	Patata, malta	M,C	a, h, i, l, q, aa, ae, ag, al

Acetaldehido	Fruta	M,C	k, m, n, o, p, t, z, ai, ap
4 -(Z) - heptenal	Galleta, dulce	C	a, l, n, q, r, ae, ai, aj, ao
2 - (E) - octenal	Tostado, nuez	M,C	n, q, r, t, v, ai, aj, ap
5 - metil -2 -furfural	Almendra, dulce	C	f, g, n, r, t, x, aj, ak, ap
2 -metilpropanal	Malta	M,C	f, h, n, t, x, ae, ai, ak
Octanal	Cítrico, flores, melón, naranja,	M,C	a, d, n, t, v, x, z, ao, ap, aq
2.4 - (E,E)- nonadienal	Fritura	M,C	c, l, q, t, ae, ai
2,6 - (E,Z)- nonadienal	Frito	M,C	c, l, n, r, ae, aj
Vainillina	Vainilla	M,C	a, i, t, ae, ag, ai, ap
4,5 - epoxy - 2- decenal	Metálico	M,C	i, q, ae, ag, ai, ap
Decanal	Citrico, dulce	M	a, d, t, u, x, ap, aq
Pentanal	Agrio, fermentado, pan, nuez cruda	M*	n, t, v, x, am, ap
2 - hexenal	Graso	M,C	n, t, aj
3 - furfural	Almendra	M*	f, g, n
2 - butenal	Pungente, asfixiante	C	n, t

2 - metil - 2 - butenal	Verde	C	t, u
2 - decenal	Metálico	C	t
Butanal	Acre, cacao,	M	n, ap
Propanal	Malta, whisky, chocolate, vino	M	n, ap
2-undecenal	Fruta	C	t, ap
2-metil-2-propenal	Nf	M	u
Formaldehído	Pungente	M	n
2-Oxopropanal	Pungente	M	n
2-fenilpropenal	Canela	M	n
2-propenal	Galleta, almendra,	M	n, ap
2-metilpentanal	Fruta verde, dulce	M	n
2-Etilhexanal	fuerte	M	N, ap

2-isooctenal	Verde	M,C	ac
Dodecanal	Cítrico, flores, jabón	M,C	ac, ap
2-hidroxibenzaldehído	Medicina	M,C	s
4-hidroxibenzaldehído	Medicina	M	n
Feniletanal	Flores verdes	M,C	s
Hexadecanal	Plástico	M,C	m
2-metilbenzaldehído	Fruta	P	ap
2-metil-2-butenal	Pungente, anís, verde	P	ap
(E,Z)-2,6-nonadienal	Verde, grasa, violeta	P	ap
3-metilbutanal	Almendra, nuez	C	am,an,ap, aq

Tabla 4. Alcoholes que intervienen en el aroma del pan identificados hasta la fecha (basados en Pico et al., (2015) y ampliado).

ALCOHOLES			
Compuesto	Aroma	Localización	Referencia
3-metil-1-butanol	Balsámico, alcohólico, malteado	M,C	a, b, d, e, f, g, j, k, m, n, o, p, q, r, t, u, v, x, y, z, aa, ac, af, ag, aj, ak, al, am
Etanol	Alcohólico	M,C	b, e, f, g, j, k, m, n, o, p, r, t, u, v, w, x, y, z, af, ah, ak, am, an, ao, ap
2-metil-1-propanol	Pegamento, alcohol, vino	M,C	a, b, d, e, f, g, j, k, m, n, o, p, t, v, x, y, z, ac, af, an, ao, ap
1-Hexanol	Hierba verde,leñosa, suave, dulce	M,C	a, b, d, e, g, j, k, m, n, r, t, v, w, x, y, z, af, aj, ak, ao
1-Pentanol	Balsámico, afrutado, dulce	M	a, b, d, e, f, j, k, n, o, t, v, w, x, z, af, ak, am, ao, ap
1-Propanol	Afrutado, alcohólico, plástico	M	a, b, d, e, f, g, j, n, o, p, x, z, af, ak, an, ap, aq
2-Feniletanol	Flor, levadura, miel.	M,C	a, d, h, k, n, v, x, y, aa, ae, af, ag, al, ap, aq
2-Metil-1-butanol	Malta, café, chocolate, nuez	M,C	b, e, f, j, n, t, w, x, z, af, ag, al, am, ap
1-Butanol	Afrutado, solvente	M	a, b, d, e, k, n, o, w, x, af, ap, aq
1-Octanol	Terrestre, mohoverde vegetal	M,C	a, b, d, e, k, m, t, v, z, am, ao, ap, aq
1-Heptanol	Verde	M	a, b, d, e, k, t, v, w, z, al, ap, aq
Benzilalcohol	Agradable	M	k, m, n, s, t, v, y, af, ah, ap
1-Octen-3-ol	Hongo	M,C	d, f, j, k, t, v, x, aq
3-Nonen-1-ol	Cera	M	d, m, s, t, v, ao
2-Metoxi-4vinilfenol	Picante, especiado	M	i, s, t, ae, ai, ao
Fenil etil alcohol	Rosa	M,C	f, g, s, t, am, ao
Fenil etanol	Florece	M,C	m, t, ah
2-Etil-1-hexanol	Verde, vegetal	M,C	a, d, t, w, ao
2,3-Butanediol	Olor neutral	P	f, n, x, ao, ap
1-Nonanol	Cítricos	M,C	t, v, ac, ap
Fenol	Dulce, alquitrán	M,C	t, v, ac

1-Penten-3-ol	Quemado, mantequilla, hierba, verde	M	d, x, al, aq
2-Octen-1-ol	Verde, parecido a un vegetal	M	a, t, ap
2-Penten-1-ol	Verde	M	a, d, aq
3-Metil-3-buten-1-ol	Afrutado, verde	M	a, d, ap
2-Butanol	Alcohólico	M	b, e
2-Hexanol	Vino	M	b, e
2-Hexenol	Verde	M	b, e
Decanol	Tipo grasa	M,C	s, w, ac
3-Hexenol	Verde, grasa	M	d, u, ap, aq
3-Pentanol	Herbario	M	N, ap
2-Etil-1-decanol	Cítrico	P	m, ah
3-(Metiltio)-1-propanol	Patata	M1	ag, am, an
2-Etil-1-etanol	Verde, vegetal	M,C	v
Guaiacol	Jabonosa, dulce, quemada	M,C	ai
3-Etoxi-1-propanol	Fruta	M,C	j, ao
Geosmina	Mohoso	P	ad

4-Decen-1-ol	hierba	M	t
5-Metil-2-furanmetanol	Miel, dulce.	C	t, ao
2-furanmentanol	Chocolate	nf	am
3-Decen-1-ol	nd	M	v
2-Propanol	pungente	M	n
2-Pentanol	Tipo fermentado	M	n
2-Ciclohexenol	nd	P	s, aq
2-Heptanol	Cítrico	P	k
4-metil-4-nonenol	nd	P	k
2-Nonen-1-ol	Melón, ceroso	P	m
1-Metoxi-2-propanol	Suave	P	x
2-Undecanol	Tipo de fruta	P	m
2,4-Bis(1,1-dimetiletil)fenol	Poco aromático	P	s
1-Dodecanol	ceroso	M	d
Nitrobenzol	Almendra amarga	M,C	ac

Tabla 5. Ésteres que intervienen en el aroma del pan identificados hasta la fecha (basados en Pico et al., (2015) y ampliado).

ÉSTERES			
Compuesto volátil	Aroma	Localización	Referencia
Acetato de etilo	Dulce, afrutado, piña	M,C	a, d, e, f, g, j, k, m, n, o, s, t, u, x, z, ac, af, ah, aq
Octanoato de etilo	Dulce, jabón, fresco, afrutado	M,C	a, b, d, e, i, j, t, v, w, aa, ai, ap, aq
Hexanoato de etilo	Piel de manzana, afrutada	M,C1	b, d, e, j, k, t, w, af, ao, ap, aq
Acetato de butilo	Fruta	M	b, e, k, m, v, x, ao
Lactato de etilo	Fruta	M	b, e, j, v,
Acetato de isoamilo	Plátano	M,C	o, t, x
Propanoato de etilo	Fruta	M	b, e, j, ao, aq
Acetato de isobutilo	Afrutado, floral	M	k, m, v, x
Acetato de feniletilo	Rosa	M	d, k, t, v, ap, aq
Acetato de hexilo	Frutal, picante, herbal	M	c, k, t
Nonoato de etilo	Fruta	M1	i, t, an
Caproato de metilo	Afrutado	C	n, r, ao
Formato de etilo	Ron	P	n, s
Laurato de etilo	Fruta, floral	P	s, x
Acetato de pentilo	Plátano, fresco	M	b, e
Pentadecanoato de etilo	Dulce	P	k, m
Acetato de 2-metilbutilo	Afrutado	M	b, e, ap
Acetato de 3-metilbutilo	Afrutado	M	d, e, ap
Furfurilato	Etéreo	M	n, u
2-metilpropanoato de etilo	Afrutado	M	q
Caproato de etilo	Fruta	C	S, ao

3-metilbutanoato de etilo	Afrutado, manzana	M	d
Decanoato de etilo	Fruta	M1	t, ap
Acetato de furfurilo	Plátano	M,C	t
Piruvato de etilo	Etéreo	P	n
Levulinato de etilo	Afrutado, verde, ceroso	P	n
Palmitato de etilo	Cerosa	P	s
Formato de butilo	Fruta	P	Ac, ao
Acetato de gexilo	nd	M	b
Formato pentálico	Plátano	P	x
Acetato de octilo	Fruta	P	ac
Heptanoate de etilo	Uvas	P	k
Pentanoato de etilo	Frutal, naranja, hierba, verde	P	k, ao
Butirato de etilo	Fruta, coñac	P	x, ap
Acetato de 3-hidroxibutilo	Plátano, fruta	P	m, ap
Formato de acetonoilo	nd	P	n
Benzoato de etilo	Dulce, medicina	P	ac, ap
Acetato de propilo	Dulce, fruta, melocotón	P	an, ao, ap
Butanoato de etilo	nd	P	an, aq

Tabla 6. Cetonas que intervienen en el aroma del pan identificados hasta la fecha (basados en Pico et al., (2015) y ampliado).

CETONAS			
Compuesto	Aroma	Localización	Referencias
2,3-Butanodiona	Mantequilla, caramelo	M1,C	a, b, d, e, f, g, h, j, l, n, o, t, u, v, x, y, z, aa, ae, af, ag, ai, aj, ak, al, am,an, ao, aq
3-hidroxi-2-butanona	Caramelo, mantequilla, yogur, crema...	M	a, b, d, e, f, g, j, n, v, y, x, ak, am, aq
1-Octen-3-one	Grasa, como un hongo	M,C	i, l, n, q, r, v, ae, ai
2-Heptanona	Jabonosa, afrutada, canela	M,C	a, d, n, t, u, x, aj, ak, am, , aq
2-Octanona	Jabonosa, afrutada	M,C	d, n, r, t, u, v, aj, ap
2,3-Pentanediona	Mantequilla	C	n, t, u, ae, ai, ak, am, aq
2-Butanona	Afilado, dulce...	M,C	f, j, n, x, am, ap
1-Hidroxi-2-propanona	Pungente, dulce caramelo-etérico	M	f, g, j, x, am, ao
6-Metil-5-hepten-2-ona	Herbáceo, verde	M	1, t, v, ap
γ-Decalactona	Dulce, jabonosa	C	t, ai
3-Penitente-2-ona	nd	C	n, t, x, aq
1,5-Octadien-3-ona	Verde, como un geranio	C	l, q, ai
Acetona	Éter, uva	M,C	o, p, u, am
3-Octen-2-ona	Tipo terrestre	M	d, t, u
2-Hexanona	Sharp	M,C	n, ac
2-Pentanona	Tipo de fruta	M,C	n,x
3-Hexanona	Tipo de fruta	M,C	n
2,3-Hexanediona	Mantecoso, cursi, dulce, cremoso...	C	u
1-Hexen-3-ona	Verde	C	ae
Benzofenona	dulce, rosa	C	t
2-(5H)-furanona	nd	M,C	t, ao
Geranilacetona	Tipo floral	M1,C1	t
3,4-Heptanediona	nd	P	n
2-Nonanone	afrutado	P	ac, am
2-Propanona	Dulce, jabonosa	P	n
2-Octen-4-ona	levaduras	P	ac
2-Nonen-4-ona	Tipo de fruta	P	ac
2-Decen-4-ona	nd	P	ac

2-Decen-5-ona	nd	P	ac
1-Dodecan-3-ona	nd	P	ac
2-Dodecen-3-ona	nd	P	ac
2-Dodecen-5-ona	nd	P	ac
Pentadecan-2-ona	Picante, herbáceo	P	ac
Heptadecan-2-ona	nd	P	ac
1-(2-furil)-2-propanona	verde	P	n
1-(2-furil)-1,2-propanodiona	nd	P	n

Tabla 7. Compuestos heterocíclicos que intervienen en el aroma del pan identificados hasta la fecha (basados en Pico et al., (2015) y ampliado)

COMPUESTOS HETEROCÍCLICOS			
Compuesto	Aroma	Localización	Referencias
Furfural (2-furaldehído)	Almendras, pan, tierra, tostado, dulce	M,C	a, d, f, g, j, k, m, n, r, s, t, u, v, x, y, af, ah, aj, ak, al, am, ao, ap
2-Acetil-1-pirrolina	palomitas, asado, dulce, cereal	M,C	h, i, l, n, q, u, aa, ab, ae, ag, ai, aj, ap
Furfuril alcohol	Quemado, aceite caliente, suave	M,C	f, g, j, n, s, t, v, x, af, ak
2-Acetilfurano	ahumado, asado	M,C	f, g, n, r, t, x, ae, aj, ak, ap, aq
2-Pentilfurano	Mantequilla, floral, champiñones, nueces	M,C	a, b, d, e, f, j, t, u, ak, am, ai, ap, aq
2,5-dimetil-3-etilpirazina	patata asada, tierra, cacao	C	l, n, r, t, ae, ai, aj, ap
3-Hidroxi-2-metil-4-pirona	fruta, caramelo, dulce	M*	f, n, r, s, t, ac, ag
γ-Nonactona	Coco, dulce, afrutado	M,C	d, l, t, v, ae, ai
4-Hidroxi-2,5-dimetil-3(2H)-furanona	Caramelo, fresa	M,C	h, i, t, aa, ae, ai, ap
2-etil-3,5-dimetilpirazina	Tierra, quemado, almendra, palomitas	M,C	h, t, aa, ae, ag, ap
2,3,5-Trimetilpirazina	Patata, tierra	C	a, d, r, ae, aj
Acetilpirazina	Galleta, corteza, dulce, mai	C	n, r, ab, ae, aj, ap
2-Metilpirazina	Asado, tostado, cacao,	M,C	f, g, n, t, ak, am, ap, aq
Pirazina	Tostado	C	f, g, t, x
2-metilfurano	Chocolate	C1	f, j, n, t, am, ap
2-Etilpirazina	Palomitas de maíz, nuez, mantequilla	M/C	f, n, t, am, ap
2-etil-3-metilpirazina	asado, dulce, nuez cruda	M/C	f, n, r, t, am

2,5-Dimetilpirazina	Café, tostado, cacao	C	f, t, x, ap, ap
2-Acetilpirrol	Asado, galletas	M,C	g, s, t

3-etil-2-metilpirazina	Asado, quemado, cacahuete	C	ab, ae, aj, ap
3-etil-2,6-dimetilpirazina	Patata cocida	C	l, r, aj
2-Acetil-piridina	Galletas, asado	M,C	r, t, aj
Pyrrole	Quemado, dulce	C	f, n, ak
Butirolactona	Tipo cremoso	M,C	k, m, x, am
5-Etil (3H) - furano-2-ona	picante	C	n, r, aj
Dihidro-2-metil-3(2H)-furanona	Picante, rancio, mantequilla	M	f, n, ak, ao
6-Acetil-tetrahidropiridina	asado	C	aa, ai
2,6-Dimetilpirazina	Tostado	C	g, t, am, an
2-etil-6-metilpirazina	nueces	C	f, t
1-Metilpirrol	madera	C	n, t, aq
2,3-Dietil-5-metil-pirazina	Tierra, nueces	M,C	t ,ae, ap
2-etil-5-metilpirazina	cocido, humo, café, judías	M,C	f, t, ap
2-Acetil-2-tiazolina	Galletas, tostado, maiz	C	h, ae
2,3-Dimetilpirazina	Palomitas de maíz, asadas	M,C	t, x
2-Acetil-3-hidroxifurano	caramelo	C	r, t
5-Metil-5H-ciclopenta-[b]-pirazina	Tostado	C	ab, aj
2-metiltetrahidro-3-furanona	caramelo	M,C	j, x
5-Etil (5H) - furano-2-uno	picante, especiado	C	n, aj, ao
3-hidrox-4,5-dimetil-2(5H)furanona	picante, especiado	M	c, aa
3-Hidrox-2-pirano-4-uno	dulce, caramelo	C	ae, ag
2,4-Dihidrox-2,5-dimetil-3(2H)-furanona	Caramelo	M,C	h
2,5-Dimetil-4-hidrox-3(2H)-furanona	Caramelo	M,C	ag
δ-Decalactona	Caramelo	P	ag
5-Etil-3-hidrox-4-metil-2(5H)-furanona	Dulce, arce, caramelo	C	aa

2,5-Dimetil-3(2H)-furanona	nd	M,C	n, ao
2,3-dihidro-3,5-dihidroxi-6-metil-4H-pirano-4-ona	caramelo tostado	C	ag, ao
Furanona	caramelo tostado	C	ai
δ-Dodecalactona	afrutado	P	s
γ-Valerolactone	Herbal	P	s
Ethylmaltol	caramelo tostado	M,C	s
5-metil-2-(5H)-furanona	nd	C	u, ao

δ-Hexalactona	dulce, caramelo	P	s
2-Ciclohexanona	pera dulce	P	s
2-Ciclopentadieno-1-uno	nd	P	n
Furano	rosa	P	n
3-Methylfuran	Chocolate	C	u
2-Butilfurano	Verde	C	t,am , ap
2-Etil-benzofurano	nd	C	u
2-Propenil-2-furano	nd	C	u
2-Fenilfuran	nd	P	n
Piridina	Pescado podrido	P	x
2-Acetil-tetrahidropiridina	Asado, galletas	M,C	q
N-acetil-4(H)-piridina	Vegetales, asados, galletas	C	T
2,6-Dietilpirazina	Verde, picante	C	t
2-Acteil-1,4,5,6-tetrahidropiridina	Tostado	C	aj
Vinylpyrazine	Patata cocida, tierra	M,C	t
2,3-Dimetilpirazina	Palomitas de maíz, asadas	M,C	n
2,5-Dimetilpirazina	palomita maiz	C	n
2-Propilpirazina	Nueces,leche, tostado	M,C	t
2-etil-3,6-dimetilpirazina	tierra	M,C	ag
2-metil-3,5-dietilpirazina	asado, matequila, cacahuets	M*	t
2-Propionil-2-tiazol	Asado, tostado	C	ae
2-Acetil-2-Tiazol	Asado, tostado	C	ae
Dietilmetilpirazina	Carne, vegetal, fruto seco	C	aj, , ap

2-Metoxi-3-isopropilpirazina	Tierra	M	q
2-Formil-5-metil-tiofeno	rancio, graso, hierna	C	t
2-Isoamilpirazina	nd	C	t
1-(2-Furanilmetilo)-pirrol	Vegetal	C	t
2,3-Dietilpirazina	Cacahuetes, tostados, terrosos, café	C	t
2,5-Dietilpirazina	nd	M,C	t
2-Isobutil-3-metilpirazina	caramelo tostado	C	t
5-Metil-2-vinilpirazina	nd	C	t
2-Metil-6-(1-propenil)-pirazina	nd	C	t

(1-metil-etil)pirazina	nd	C	t
2-Isoamil-6-metilpirazina	Carne	C	t
Indole(benzopirrol)	Animal	M,C	t
Benzotiazol	Sulfuroso	M,C	t
2-metilpirrol	madera	P	f
1-Furfuril-pirrol	Vegetal	P	n
5-Hidroximetil-2-furaldehído	Mantequilla, caramelo, mohoso	P	n , ap
2-Furandialdehído	Pan, almendra	P	n, aq
2-metil-6-propil-pirazina	Quemado, caramelo.	P	n
3-metil-3-etil-pirazina	nf	P	n
2-Formilpirrol	moho	P	n
2-Acetilpirrol	moho	P	n
Butilhidroxianisol	Fenólico	P	s
3-Acetiltiofeno	Sulfuroso	P	n

Tabla 8. Ácidos que intervienen en el aroma del pan identificados hasta la fecha (basados en Pico et al., (2015) y ampliado).

ÁCIDOS			
Compuesto volátil	Aroma	Localización	Referencias
Ácido acético	Amargo, ácido, picante	M,C	c, f, g, i, j, k, m, n, s, t, v, x, y, z, aa, ae, af, ag, ah, ak,am, an, ao,ap
ácido butírico	Sudoroso, rancio	M,C	c, f, g, i, n, p, v, y, aa, ae, af, ag, ai, ak, ap
Ácido 3-metilbutanoico	Sudor	M,C	c, f, g, i, j, k, v, x, y, aa, ae, af, ag, ai, an, ao
Ácido hexanoico	Sudor, queso, grasa, cabra	M,C	f, g, j, k, m, n, t, ae, ah, ai, am, ao
Ácido 2-metilbutanoico	Queso, rancio, sudoroso	M,C	c, i, t, x, aa, ae, ai, am, ap
Ácido 2-metilpropanoico	Sudoroso, grasa, agrio, rancio	M1,C1	f, g, j, n, t, v, x, y, af, ag, ai, am, ao
Ácido propiónico	Rancio, picante	M,C	c, f, g, j, n, y, an, ao, ap
Ácido octanoico	Queso, grasa, sudoroso, jabonoso	M,C	k, m, n, s, t, ae, ao
Ácido pentanoico	Sudor	C	c, k, n, t, x, ap
Ácido láctico	Leche agria	M	m, n, y, z, ah
Ácido fenilacético	Miel	M,C	c, ae, ag, ai
Ácido decanoico	Rancio, cítrico, queso, sudor	M,C	n, t, ae, ao
Ácido heptanoico	Queso, sudor, grasa	M,C	s, t
Ácido fórmico	Pungente	P	n, ap
Ácido benzoico	Olor débil	P	N,ap
Ácido 2-oxopropanoico	Olor débil	P	n
Ácido 4-oxopentanoico	Carmelo	P	n
Ácido pentanoico	Sudor	C	ae
Ácido nonanoico	Queso, sudor	M,C	t
Ácido láurico	Aceite de laurel	P	n,s
Ácido mirístico	Olor débil	P	s
Ácido palmítico	Ceroso	P	S, ao
Ácido butanoico		P	an, ao

Tabla 9. Alcanos que intervienen en el aroma del pan identificados hasta la fecha (basados en Pico et al., (2015) y ampliado).

ALCANOS			
Compuesto volátil	Aroma	Localización	Referencia
Limoneno	Cítrico	C1	a, t, x, am, ap
Octano	Alcano	P	j, n
Hexano	Cítrico	M,C	n
Decano	nf	P	j
Tridecadieno	Alcano	P	ac
p-Cymeno	Cítrico	M,C	n, ap
2-metilisoborneo	Moho	P	ad
Linalol	Dulce, floral	M	t
1,1-dietoxiisopentano	nf	P	ac
α -pineno	Fresco, dulce, madera	P	ap
β -mirceno	Pimiento, especiado,	P	ap

Tabla 10. Compuestos de benceno que intervienen en el aroma del pan identificados hasta la fecha (basados en Pico et al., (2015) y ampliado).

COMPUESTOS DE BENCENO			
Compuesto volátil	Aroma	Localización	Referencia
Etilbenzeno	Gasolina	M	v
Estireno	Pungente	M	v
Tolueno	Dulce, pungente	M	x
1,2-dimetilbenceno	Dulce	M	v
1,4-dimetilbenceno	Dulce	M	v
1,2-etilmetilbenceno	nf	M	v
1,4-etilmetilbenceno	nf	M	v
Trimetilbenceno	Aceite	M	v
1,2-diclorobenceno	nf	M	v, ap
Metilbenceno	Dulce, pungente	M	a
Hidroxitolueno butírico	nf	P	s
Nitrobenceno	Almendra	P	ac, ap

Tabla 11. Derivados del sulfuroso que intervienen en el aroma del pan identificados hasta la fecha (basados en Pico et al., (2015) y ampliado).

DERIVADOS DEL SULFUROSO			
Compuesto volátil	Aroma	Localización	Referencia
Dimetiltrisulfuro	Repollo	M,C	ae, ai
Trisulfuroso de metilo	nd	M	x
Disulfuroso de dimetilo	Ajo, cebolla	M,C	n , ap
Metanotiol	Podrido	C	n,ae,ai
Sulfuroso de dimetilo	Repollo, col, cebolla	P	n, am, ao, ap
3-butenil-isotiocianato	Pungente	P	x

Donde:

a: [38] h: [44] o: [49] v: [56] ac: [62] ak: [69] M: miga
b: [39] i: [45] p: [50] w: [57] ad: [63] al: [70] C: corteza
c: [40] j: [20] q: [51] x: [58] af: [64] am: [71] P: pan (corteza y miga)
d: [29] k: [46] r: [52] y: [59] ag: [65] an: [36] ¹: trazas
e: [41] l: [30] s: [53] z: [22] ah: [66] ao: [35] nd: no encontrado en bibliografía

f: [42] m: [47] t: [54] aa: [60] ai: [67] ap: [72]
g: [43] n: [48] u: [55] ab: [61] aj: [68] aq: [73]

- [1] Á.G. Hernández and L. Serra Majem, "Libro Blanco del Pan," in *Libro blanco del Pan*, Médica Pan., Madrid, 2015.
- [2] A. Forssmann, "El pan más antiguo del mundo, de 14.400 años de antigüedad, es anterior a la agricultura," 19-Jul-2018. [Online]. Available: https://historia.nationalgeographic.com.es/a/pan-mas-antiguo-mundo-14400-anos-antigüedad-es-anterior-a-agricultura_12978/1. [Accessed: 03-Jun-2020].
- [3] Capel, *El pan.pdf*. Madrid: Monserrat Matéu, 1991.
- [4] I. Tejera Osuna, *El libro del pan*. Madrid: Alianza editorial, 1993.
- [5] J. Mesas and M. Alegre, "El pan y su proceso de elaboración," *Ciencias y Tecnol. los Aliment.*, vol. 3, pp. 307–313, Jul. 2002.
- [6] C. Bourgeois and J. Larpent, *Microbiología alimentaria volumen II Fermentaciones alimentarias*, 1st ed. Zaragoza: Acribia S.A, 1995.
- [7] L. Mariani, *PAN 1: Publicación digital sobre la panadería profesional y casera*, 1st ed. Madrid: Libros con Miga y La PEPA, 2017.
- [8] *Real Decreto 308/2019, de 26 de abril, por el que se aprueba la norma de calidad para el pan*. 2019, pp. 50168–50175.
- [9] M. Ayuso, "La nueva 'ley del pan' define la 'masa madre', regula el pan integral y baja el IVA," 29-Apr-2019. [Online]. Available: <https://www.directoalpaladar.com/actualidad-1/nueva-ley-pan-define-fin-que-masa-madre-regula-pan-integral-baja-su-iva>. [Accessed: 04-Jun-2020].
- [10] H. Stone, R.N. Bleibaum, and H.A. Thomas, *Sensory evaluation practices*. Elsevier/Academic Press, 2012. [11] M. J. Callejo, "Present situation on the descriptive sensory analysis of bread," *J. Sens. Stud.*, vol. 26, no. 4, pp. 255–268, Aug. 2011.
- [12] K. Dewettinck, F. Van Bockstaele, B. Kühne, D. Van de Walle, T.M. Courtens, and X. Gellynck, "Nutritional value of bread: Influence of processing, food interaction and consumer perception," *Journal of Cereal Science*, vol. 48, no. 2. Academic Press, pp. 243–257, 01-Sep-2008.
- [13] Z. Sesma Arizcuren, "Elaboración de pan de molde con subproductos de la industria cervecera," Universidad de Navarra, 2017.

- [14] E.J. Lynch, F. Dal Bello, E.M. Sheehan, K.D. Cashman, and E.K. Arendt, "Fundamental studies on the reduction of salt on dough and bread characteristics," *Food Res. Int.*, vol. 42, no. 7, pp. 885–891, Mar. 2009.
- [15] L. Orozco Rivadeneira, "Análisis sensorial del pan elaborado a base de harina obtenida del trigo nacional que se cultiva en el Cantón Cayambe," Universidad de las Américas, 2019.
- [16] M.J. Callejo González, *Industrias de cereales y derivados*. Madrid: AMV-Mundi-Prensa, Madrid, 2002.
- [17] W. Aguirre Arias, "Determinación de los tiempos de fermentación de la masa de pan utilizando diferentes porcentajes de la levadura fresca (*Saccharomyces cerevisiae*) en la panificadora américa," Universidad técnica del Norte, 2011.
- [18] M. Flecha, "Procesos Y Tecnicas De Panificacion," Escuela de Panadería de Madrid (ASEMPAN), 2015.
- [19] "Cómo se hace el pan: proceso de fabricación - Mundopán," 12-Jun-2015. [Online]. Available: <https://mundopan.es/como-se-hace-el-pan-proceso-de-fabricacion/>. [Accessed: 27-Apr-2020].
- [20] S. Jensen, H. Oestdal, L.H. Skibsted, E. Larsen, and A.K. Thybo, "Chemical changes in wheat pan bread during storage and how it affects the sensory perception of aroma, flavour, and taste," *J. Cereal Sci.*, vol. 53, no. 2, pp. 259–268, Mar. 2011.
- [21] E. Capuano, A. Ferrigno, I. Acampa, L. Ait-Ameur, and V. Fogliano, "Characterization of the Maillard reaction in bread crisps," *Eur. Food Res. Technol.*, vol. 228, no. 2, pp. 311–319, Dec. 2008.
- [22] Salim-ur-Rehman, A. Paterson, and J. R. Piggott, "Flavour in sour-dough breads: a review," *Trends Food Sci. Technol.*, vol. 17, no. 10, pp. 557–566, 2006.
- [23] S.P. Heenan, J.P. Dufour, N. Hamid, W. Harvey, and C.M. Delahunty, "The sensory quality of fresh bread: Descriptive attributes and consumer perceptions," *Food Res. Int.*, vol. 41, no. 10, pp. 989–997, 2008.
- [24] UNE-EN ISO 8586, "Guía general para la selección, entrenamiento y control de catadores y catadores expertos", 2014.

- [25] A. Torbica, D. Škrobot, E. Janić Hajnal, M. Belović, and N. Zhang, "Sensory and physico-chemical properties of wholegrain wheat bread prepared with selected food by-products," *LWT- Food Sci. Technol.*, vol. 114, no. June, pp. 1–8, 2019.
- [26] M. Carochó *et al.*, "Comparison of different bread types: Chemical and physical parameters," *Food Chem.*, vol. 310, no. December 2019, 2020.
- [27] G. Starr, T. S. Hansen, M.A. Petersen, and W.L.P. Bredie, "Aroma of wheat porridge and bread-crumbs is influenced by the wheat variety," *LWT - Food Sci. Technol.*, vol. 63, no. 1, pp. 590–598, 2015.
- [28] I. Kihlberg, L. Johansson, A. Kohler, and E. Risvik, "Sensory qualities of whole wheat pan bread - Influence of farming system, milling and baking technique," *J. Cereal Sci.*, vol. 39, no. 1, pp. 67–84, 2004.
- [29] A.N. Birch, M.A. Petersen, and Å. S. Hansen, "The aroma profile of wheat bread crumb influenced by yeast concentration and fermentation temperature," *Food Sci. Technol.*, vol. 50, pp. 480–488, 2013.
- [30] I.H. Cho and D.G. Peterson, "Chemistry of Bread Aroma: A review," *Food Sci. Biotechnol.*, vol. 19, no. 3, pp. 575–582, Jun. 2010.
- [31] J. Pico, J. Bernal, and M. Gómez, "Wheat bread aroma compounds in crumb and crust: A review," *Food Res. Int.*, vol. 75, pp. 200–215, 2015.
- [32] A.N. Birch, M.A. Petersen, and Å.S. Hansen, "Aroma of wheat bread crumb," *Cereal Chem.*, vol. 91, no. 2, pp. 105–114, 2014.
- [33] S.S. Nielsen, *Food Analysis*. New York: Springer, 2010.
- [34] G. Zehentbauer and W. Grosch, "Crust aroma of baguettes I. Key odorants of baguettes prepared in two different ways," *J. Cereal Sci.*, vol. 28, no. 1, pp. 81–92, 1998.
- [35] D. Pu *et al.*, "Characterization of the oral breakdown, sensory properties, and volatile release during mastication of white bread," *Food Chem.*, vol. 298, 2019.
- [36] D. Pu *et al.*, "Characterization of the aroma release and perception of white bread during oral processing by gas chromatography-ion mobility spectrometry and temporal dominance of sensations analysis," *Food Res. Int.*, vol. 123, pp. 612–622, Sep. 2019.

- [37] D. Pu, H. Zhang, Y. Zhang, B. Sun, F. Ren, and H. Chen, "Characterization of the key aroma compounds in white bread by aroma extract dilution analysis, quantitation, and sensory evaluation experiments," *J. Food Process. Preserv.*, vol. 43, no. 5, pp. 1-15, 2019.
- [38] A.N. Birch, M.A. Petersen, N. Arneborg, and Å.S. Hansen, "Influence of commercial baker's yeasts on bread aroma profiles," *Food Res. Int.*, vol. 52, no. 1, pp. 160-166, Jun. 2013.
- [39] A. Hansen and P. Schieberle, "Generation of aroma compounds during sourdough fermentation: Applied and fundamental aspects," *Trends Food Sci. Technol.*, vol. 16, no. 1-3, pp. 85-94, 2005.
- [40] M. Czerny and P. Schieberle, "Important aroma compounds in freshly ground wholemeal and white wheat flour - Identification and quantitative changes during sourdough fermentation," *J. Agric. Food Chem.*, vol. 50, no. 23, pp. 6835-6840, Nov. 2002.
- [41] B. Hansen and Å. Hansen, "Volatile compounds in wheat sourdoughs produced by lactic acid bacteria and sourdough yeasts," *Z. Lebensm. Unters. Forsch.*, vol. 198, no. 3, pp. 202-209, Mar. 1994.
- [42] P. Poinot *et al.*, "Influence of formulation and process on the aromatic profile and physical characteristics of bread," *J. Cereal Sci.*, vol. 48, no. 3, pp. 686-697, Nov. 2008.
- [43] P. Poinot, G. Arvisenet, J. Grua-Priol, C. Fillonneau, A. Le-Bail, and C. Prost, "Influence of inulin on bread: Kinetics and physico-chemical indicators of the formation of volatile compounds during baking," *Food Chem.*, vol. 119, no. 4, pp. 1474-1484, Apr. 2010.
- [44] M.R. Moskowicz, Q. Bin, R.J. Elias, and D.G. Peterson, "Influence of endogenous ferulic acid in whole wheat flour on bread crust aroma," *J. Agric. Food Chem.*, vol. 60, no. 45, pp. 11245-11252, Nov. 2012.
- [45] K. Gassenmeier and P. Schieberle, "Potent aromatic compounds in the crumb of wheat bread (French-type) - influence of pre-ferments and studies on the formation of key odorants during dough processing," *Z. Lebensm. Unters. Forsch.*, vol. 201, no. 3, pp. 241-248, May 1995.

- [46] S. Plessas, A. Alexopoulos, A. Bekatorou, I. Mantzourani, A.A. Koutinas, and E. Bezirtzoglou, "Examination of freshness degradation of sourdough bread made with kefir through monitoring the aroma volatile composition during storage," *Food Chem.*, vol. 124, no. 2, pp. 627-633, Jan. 2011.
- [47] S. Plessas, A. Bekatorou, J. Gallanagh, P. Nigam, A.A. Koutinas, and C. Psarianos, "Evolution of aroma volatiles during storage of sourdough breads made by mixed cultures of *Kluyveromyces marxianus* and *Lactobacillus delbrueckii* ssp. *bulgaricus* or *Lactobacillus helveticus*," *Food Chem.*, vol. 107, no. 2, pp. 883-889, Mar. 2008.
- [48] M. Martínez-Anaya, "Enzymes and bread flavour," *Am. Chem. Soc.*, vol. 44, pp. 2469-2480, 1996.
- [49] M.J. Torner, M. A. Martínez-Anaya, B. Antuña, and C. Benedito de Barber, "Headspace flavour compounds produced by yeasts and lactobacilli during fermentation of preferments and bread doughs," *Int. J. Food Microbiol.*, vol. 15, no. 1-2, pp. 145-152, Jan. 1992.
- [50] M.A. Martinez-Anaya, M. José Torner, and C.B. de Barber, "Microflora of the sour dough of wheat flour bread - XIV. Changes in volatile compounds during fermentation of doughs prepared with pure microorganisms and their mixtures," *Z. Lebensm. Unters. Forsch.*, vol. 190, no. 2, pp. 126-131, Feb. 1990.
- [51] P. Schieberle and W. Grosch, "Potent odorants of the wheat bread crumb Differences to the crust and effect of a longer dough fermentation," *Z. Lebensm. Unters. Forsch.*, vol. 192, no. 2, pp. 130-135, Feb. 1991.
- [52] P. Schieberle and W. Grosch, "Identification of the volatile flavour compounds of wheat bread crust - comparison with rye bread crust," *Z. Lebensm. Unters. Forsch.*, vol. 180, no. 6, pp. 474-478, Jun. 1985.
- [53] L.-Y. Lin, Y.-J. Hsieh, H.-M. Liu, C.-C. Lee, and J.-L. Mau, "Flavor components in buckwheat bread," *J. Food Process. Preserv.*, vol. 33, no. 6, pp. 814-826, Dec. 2009.
- [54] A. Paraskevopoulou, A. Chrysanthou, and M. Koutidou, "Characterisation of volatile compounds of lupin protein isolate-enriched wheat flour bread," *Food Res. Int.*, vol. 48, no. 2, pp. 568-577, Oct. 2012.

- [55] F. Bianchi, M. Careri, E. Chiavaro, M. Musci, and E. Vittadini, "Gas chromatographic-mass spectrometric characterisation of the Italian Protected Designation of Origin 'Altamura' bread volatile profile," *Food Chem.*, vol. 110, no. 3, pp. 787-793, Oct. 2008.
- [56] J. A. Ruiz, J. Quilez, M. Mestres, and J. Guasch, "Solid-phase micro-extraction method for headspace analysis of volatile compounds in bread crumb," *Cereal Chem.*, vol. 80, no. 3, pp. 255-259, 2003.
- [57] Y. Wang *et al.*, "GC-MS, GC-O and OAV analyses of key aroma compounds in Jiaozi Steamed Bread," *Grain Oil Sci. Technol.*, vol. 3, no. 1, pp. 9-17, Mar. 2020.
- [58] P. Luning, J. Roozen, R.A.D. Moëst, and M. Posthumus, "Volatile composition of white bread using enzyme active soya flour as improver.," *Food Chemistry*, vol. 41, pp. 81-91, 1991.
- [59] J. Quílez, J.A. Ruiz, and M.P. Romero, "Relationships between sensory flavor evaluation and volatile and nonvolatile compounds in commercial wheat bread type baguette," *J. Food Sci.*, vol. 71, no. 6, 2006.
- [60] W. Grosch and P. Schieberle, "Flavor of cereal products - A review," *Cereal Chem.*, vol. 74, no. 2, pp. 91-97, 1997.
- [61] P. Schieberle and W. Grosch, "Quantitative Analysis of Aroma Compounds in Wheat and Rye Bread Crusts Using a Stable Isotope Dilution Assay," *J. Agric. Food Chem.*, vol. 35, no. 2, pp. 252-257, Mar. 1987.
- [62] T. Obretenov and P. Hadjieva, "Gas-chromatographic-mass-spectral analysis of aroma compounds of bread," *Z. Lebensm. Unters. Forsch.*, vol. 165, no. 4, pp. 195-199, Dec. 1977.
- [63] G. Keshri, P. Voysey, and N. Magan, "Early detection of spoilage moulds in bread using volatile production patterns and quantitative enzyme assays," *J. Appl. Microbiol.*, vol. 92, no. 1, pp. 165-172, Jan. 2002.
- [64] Å. Hansen and B. Hansen, "Flavour of sourdough wheat bread crumb," *Eur. Food Res. Technol.*, vol. 202, no. 3, pp. 244-249, 1996.
- [65] M. Onishi, M. Inoue, T. Araki, H. Iwabuchi, and Y. Sagara, "Odorant transfer characteristics of white bread during baking," *Biosci. Biotechnol. Biochem.*, vol. 75, no. 2, pp. 261-267, 2011.

- [66] S. Plessas, A. Fisher, K. Koureta, C. Psarianos, P. Nigam, and A. A. Koutinas, "Application of *Kluyveromyces marxianus*, *Lactobacillus delbrueckii* ssp. *bulgaricus* and *L. helveticus* for sourdough bread making," *Food Chem.*, vol. 106, no. 3, pp. 985–990, Feb. 2008.
- [67] M. Rychlik and W. Grosch, "Identification and quantification of potent odorants formed by toasting of wheat bread," *LWT - Food Sci. Technol.*, vol. 29, no. 5–6, pp. 515–525, 1996.
- [68] P. Schieberle and W. Grosch, "Evaluation of the flavour of wheat and rye bread crusts by aroma extract dilution analysis," *Z. Lebensm. Unters. Forsch.*, vol. 185, no. 2, pp. 111–113, Aug. 1987.
- [69] P. Poinot *et al.*, "Optimisation of HS-SPME to study representativeness of partially baked bread odorant extracts," *Food Res. Int.*, vol. 40, no. 9, pp. 1170–1184, Nov. 2007.
- [70] P. Frasse, S. Lambert, D. Richard-Molard, and H. Chiron, "The influence of fermentation on volatile compounds in french bread dough," *LWT - Food Sci. Technol.*, vol. 26, no. 2, pp. 126–132, 1993.
- [71] N. O'Shea, K.N. Kilcawley, and E. Gallagher, "Influence of α -amylase and xylanase on the chemical, physical and volatile compound properties of wheat bread supplemented with wholegrain barley flour," *Eur. Food Res. Technol.*, vol. 242, no. 9, pp. 1503–1514, 2016.
- [72] C. Pétel, B. Onno, and C. Prost, "Sourdough volatile compounds and their contribution to bread: A review," *Trends Food Sci. Technol.*, vol. 59, pp. 105–123, 2017.
- [73] M.N. Nor Qhairul Izzreen, M.A. Petersen, and A.S. Hansen, "Volatile compounds in crumb of whole-meal wheat bread fermented with different yeast levels and fermentation temperatures," *Cereal Chem.*, vol. 93, no. 2, pp. 209–216, 2016.