






Análisis de los compuestos volátiles de cacao nativo fino de aroma de granos tostados y sin tostar

Analysis of volatile compounds of fine flavored native cocoa from roasted and unroasted beans

Diner Mori-Mestanza¹ , Verónica Zuta-Chamoli¹ , Miguel Ángel Barrena Gurbillón² , Manuel Oliva Cruz² , Segundo Grimaldo Chávez Quintana^{1,2} 

RESUMEN

El aroma del cacao criollo (*Theobroma cacao*) fino de aroma se define por compuestos volátiles como las pirazinas, cetonas y los aldehídos, que se forman durante el tostado del grano, a partir de los precursores del aroma (azúcares reductores y aminoácidos libres) que se generan en el interior del grano a través de reacciones enzimáticas durante la fermentación; por esta razón la fermentación es el proceso más importante de la cadena de valor. Esta investigación analizó la producción de precursores del aroma y los compuestos aromáticos volátiles del cacao en muestras fermentadas secas y tostadas comparadas con muestras fermentadas, secas y sin tostar, utilizando la tecnología de cromatografía de gases acoplada a un detector de masas con micro extracción en fase sólida (GC-MS-SPME-HS), se identificaron 80 compuestos volátiles de las familias de aldehídos, cetonas, alcoholes, ésteres, ácidos y pirazinas. En conclusión, se logró identificar los compuestos volátiles del cacao criollo fino de aroma de la provincia de Utcubamba-Cajamaruro; los cuales se generan con el proceso de fermentación y tostado del cacao que caracterizan a las muestras de la región por contener elevadas propiedades especiales, funcionales y sensoriales agradables.

Palabras clave: Compuestos volátiles, cacao nativo, pirazinas, sabor.

ABSTRACT

The aroma of criollo cocoa (*Theobroma cacao*) fine aroma is defined by volatile compounds such as pyrazines, ketones and aldehydes, which are formed during bean roasting, from aroma precursors (reducing sugars and free amino acids) that are generated inside the bean through enzymatic reactions during fermentation; for this reason fermentation is the most important process in the value chain. This research analyzed the production of aroma precursors and volatile aromatic compounds of cocoa in dry and roasted fermented samples compared with fermented, dry and unroasted samples, using gas chromatography technology coupled to a mass detector with solid phase microextraction (GC-MS-SPME-HS), 80 volatile compounds from the families of aldehydes, ketones, alcohols, esters, acids and pyrazines were identified. In conclusion, it was possible to identify the volatile compounds of fine aroma criollo cocoa from the province of Utcubamba-Cajamaruro; these compounds are generated during the fermentation and roasting process of the cacao and characterize the samples from the region as having high special, functional and pleasant sensory properties.

Keywords: Volatile compounds, native cocoa, pyrazines, flavour.

DOI: <https://doi.org/10.37787/pakamuros-unj.v9i4.243>

Recibido: 30/09/2020. Aceptado: 08/11/2021

* Autor para correspondencia

1. Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, Instituto de Innovación y Desarrollo para el Sector Agrario y Agroindustrial de la Región Amazonas, Calle Higos Urco 350, Chachapoyas, Perú. Email: diner.mori@untrm.edu.pe; veronica.zuta@untrm.edu.pe
2. Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, Instituto de Investigación para el Desarrollo de Ceja de Selva. Calle Higos Urco 350, Chachapoyas, Perú. Email: miguel.barrena@untrm.edu.pe, manuel.oliva@untrm.edu.pe, segundo.quintana@untrm.edu.pe

INTRODUCCIÓN

Los granos de cacao (*Theobroma cacao*) que pasan por los procesos de fermentación, secado y tostado son el principal ingrediente para la fabricación del chocolate. En particular, el chocolate funcional de alta calidad representa una industria de rápido crecimiento y de gran importancia financiera en diferentes partes del mundo (Le Gresley & Peron, 2019). Como existe un gran potencial genético biodiverso de cacao (*Theobroma cacao*); se han logrado identificar alrededor de 600 compuestos volátiles que son responsables del sabor y el aroma de los productos de chocolate y cacao (Engeseth & Pangan, 2018). Estos han sido identificados como pirazinas, aminas, amidas, ácidos carboxílicos, ésteres e hidrocarburos. La cantidad y el tipo de compuestos volátiles en los granos se consideran los aspectos más importantes de la calidad. Estos definen el valor comercial del cacao, y dan lugar a los sabores y aromas únicos y complejos del chocolate (Braga et al., 2018; Kongor et al., 2016; Lima et al., 2011; Magagna et al., 2017). El sabor y el aroma se encuentran entre los principales atributos de los perfiles sensoriales. Son un factor clave para la obtención de productos y subproductos, que se adaptan a las demandas de alta calidad de los consumidores (Engeseth & Pangan, 2018).

El perfil de los compuestos volátiles puede mostrar grandes variaciones, dependiendo del genotipo y origen geográfico de los granos de cacao (Menezes et al., 2016). Además, el perfil puede variar con las prácticas agrícolas y el procesamiento (fermentación, secado y tostado), ambos determinan su calidad aromática final (Ascrizzi et al., 2017; Cevallos-Cevallos et al., 2018).

Los granos de Cacao frescos y sin procesar están inmersos en una pulpa dulce y mucilaginosa, que también puede ser ácida y aromática. Sin embargo, no contienen suficientes precursores de aroma para el desarrollo de compuestos volátiles para obtener un producto final de alta calidad aromática (Aprotosoai, Luca, & Miron, 2016; De Vuyst & Weckx, 2016; Kadow et al, 2013; Koné et al., 2016). La fermentación del cacao en grano es un proceso fundamental en el que se producen una serie de reacciones bioquímicas, enzimáticas y microbiológicas. Esto da lugar al desarrollo de fracciones volátiles clave, que son alcoholes y ésteres, y a la de precursores del sabor y el aroma, como aminoácidos, péptidos libres y azúcares reductores (Castro-Alayo et al., 2019). Los polifenoles y alcaloides (de sabor astringente y amargo respectivamente) que desprenden del grano de cacao (De Vuyst & Weckx, 2016). El desarrollo del sabor continúa durante el secado, por lo que aparece el típico color rojizo (del grano), y los niveles de acidez y astringencia disminuyen al reducirse los niveles de ácidos volátiles y polifenoles totales (Afoakwa et al., 2008; Frauendorfer & Schieberle, 2008; Mirković et al., 2018; Schwan & Wheals, 2004). Según Crafac et al. (2014), la presencia de péptidos y azúcares reductores en la producción de chocolate

promueve la reacción de Maillard y los compuestos intermedios producidos a partir de esta reacción, como furanos, aldehídos, cetonas, pirroles y otros compuestos volátiles. Éstos influyen en gran medida en el perfil aromático del cacao y el chocolate. Con el objetivo de identificar los compuestos volátiles del cacao nativos finos de aroma se procedió a analizar en el cromatógrafo de gases muestras fermentadas, secadas y tostadas, comparados con muestras fermentadas, secas y sin tostar.

MATERIALES Y MÉTODOS

Las muestras de cacao, fueron adquiridas en baba del sector La Cruz del distrito de Cajaruro, provincia de Utcubamba, Amazonas, Perú, zona productora de cacao criollo de los denominados finos de aroma (común en el nororiente peruano), caracterizada por presentar altitud media de 490 msnm, temperatura media 29 °C, humedad 61%.

Las muestras se transportaron en sacos de polipropileno hasta las instalaciones de la Cooperativa Central de Productores Agropecuarios de Amazonas (CEPROAA), lugar donde se ejecutó el proceso de fermentación en cajas cúbicas de madera de laurel (*Cordia alliodora*). Después de la fermentación, el cacao fermentado fue secado al sol hasta obtener un contenido de humedad menor a 7%, luego fueron envasados en bolsas de polietileno herméticas (densidad 0.925g/cm³) y se trasladaron al Laboratorio de Control de Calidad de Cacao de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, para su análisis inmediatamente recibido en laboratorio, todas las muestras fueron conservadas en condiciones de refrigeración.

Preparación de muestras para análisis compuestos volátiles

Los granos enteros, fermentados y secos obtenidos según los tratamientos, fueron tostados en un equipo de laboratorio (IMSA, Perú) de un (1) kg de capacidad a 120 °C durante 15 min. Luego se procedió a descascarillar en un equipo (IMSA, Perú). Los nibs obtenidos fueron sometidos a un proceso de trituración en un mortero y colocados en los viales. Similar procedimiento se realizó para las muestras sin tostar.

Identificación de los compuestos volátiles del cacao tostado y sin tostar

Se identificaron los compuestos volátiles empleando cromatografía de gases acoplada a un detector de masas y headspace-micro extracción en fase sólida (GC-MS-SPME-HS) (Rodriguez-Campos et al., 2012), empleando una fibra de divinilbenceno/carboxen/polidimetilsiloxano (DVB/CAR/PDMS), 50/30 μm de espesor y helio como gas de arrastre. En viales de 20 mL se colocó 5.7 g de pasta de cacao, se adicionó seis (6) mL de agua ultrapura y se selló herméticamente con tapa metálica y septa de silicón

blanco 20 mm. Las condiciones de extracción por SPME fueron: 15 minutos de equilibrio a 50 °C, con una exposición de la fibra durante 30 min a la misma temperatura. Transcurrido el tiempo de extracción se retrajo la fibra y se insertó inmediatamente en el puerto de inyección del cromatógrafo de gases – espectrómetro de masas (GC-MS) (Agilent technologies, 6890N, Estados Unidos), donde se mantuvo durante cinco (5) min a una temperatura 250 °C. Entre cada extracción se realizó una corrida del blanco de fibra (limpieza) por un tiempo de 55 min. Para la identificación de los compuestos se empleó la librería NIST 14.L.

RESULTADOS

En la Tabla 1, se muestra la identificación de los precursores y compuestos volátiles que se generan por la presencia de péptidos y azúcares reductores, los cuales al someterse al proceso de tostado promueve la reacción de Maillard, generando compuestos como furanos, aldehídos, cetonas, pirroles, pirazinas y otros compuestos volátiles. Éstos influyen en gran medida en el perfil aromático y caracterizan al Cacao y el chocolate.

Tabla 1. Identificación de los compuestos volátiles de los granos de cacao nativo fino de aroma

Nombre compuesto	Descripción del aroma del compuesto	Granos tostados	Granos sin tostar
Aldehídos			
2-metilpropanal	Quemado, caramelo, cacao, verde, malta y chocolate [a]	+	-
2-metilbutanal	Chocolate [a]	+	+
3-metilbutanal	Chocolate (baja intensidad) [a]	+	-
Pentanal	Almendra, malta, picante [a]	+	+
3-Furaldehído	Caramelo, café [a]	+	-
Benzeneacetaldehído	Bayas, geranio, miel, nuez, picante [a]	+	-
2-Furancarboxaldehído, 5-metil	Caramelo, pan, café [a]	+	-
Benzaldehído	Caramelo, almendra, azúcar quemado [a]	+	+
Benzeneacetaldehído, .alpha.-etilideno	Verde [a]	+	+
Nonanal	Graso, ceroso, picante [a]	+	+
Metional		-	+
5-Metil-2-fenil-2-hexenal	Cacao, Dulce [a] , cacao tostado [a]	+	-
Cetonas			

2-Butanona	Fragante, frutal, agradable [a]	+	-
Acetona		+	-
2,3-Butanediona		+	-
2,3-Pentanediona	Dulce, afrutado, con queso [a]	+	-
Acetoin	Mantequilla, cremosa, pimienta verde [a]	+	+
Butanimidamida		+	-
2-Heptanona	Pera, uva, brandy, afrutado, floral [b]	+	+
Acetofenona	Almendra, flor, carne, mosto [a]	+	+
Etanona, 1-(1H-pirrol-2-yl)	Cacao, chocolate, avellana, tostado [a]	+	-
Etanona, 1-(2-furanyl)	Cacao, avellana, café, tostado [a]	+	-
2-Nonanona, 3-hidroximetil	Afrutado [a]	-	+
Alcoholes			
Ciclobutanol, 2-etilo		+	-
2,3-Butanediol	Dulce, floral Afrutado, cremoso, caramelo [b]	+	+
3-Furanmetanol		+	-
2-Heptanol	Cítrico, fresco, limón, hierba [a]	+	+
Alcohol Benzil	Dulce, florido [a]	+	-
2-Nonanol	Pepino, Grasa, verde [a]	+	-
Alcohol feniletílico	Fruta, miel, lila, rosa, vino [a]	+	+
1-Butanol, 3-metil-, benzoato	Aromatizantes [c]	+	-
Esteres			
2-Heptanol, acetato	Aromatizantes [a]	+	+
2-Butanol, 3- metil, acetato	Manzana, plátano, cola, pera [a]	-	+
1-Butanol, 3- metil, acetato	Manzana, plátano, pera [a]	-	+
Ácidos			
Ácido acético	Ácido, frutal, picante, agrio, vinagre [a]	-	+
Ácido propanoico, 2-metilo	Picante, rancio, soja [a]	+	+
Ácido butanoico, 2-metilo	Mantequilla, queso, fermentado, agrio [a]	+	+
Ácido pentanoico, 4-metilo	Picante, rancio, soja [a]	+	-
Ácido benzoico, éster etílico		+	-
Ácido octanoico, éster etílico	Graso [a]	+	-
Ácido bencenoacético, éster etílico	Agrio [a]	+	+

Ácido acético, éster de 2-feniletilo		+	+
Ácido acético etenil ester		-	+
Ácido hexanoico, etil ester		-	+
Ácido butanoico, 3-metil		-	+
Pirazinas			
Pirazina, 2,5-dimetil	Cacao, Palomitas de maíz, nuez asada [a]	+	-
Pirazina, 2,3-dimetil	Caramelo, cacao, avellana, mantequilla de cacahuete, tostado [a]	+	-
Pirazina, 2-etil-6-metil	Cacao, tostado, verde [d]	+	-
Pirazina, trimetil	Cacao, nueces oxidadas, cacahuetes [a]	+	+
Pirazina, 2-etenil-6-metil	Cacao tostado, ahumado, praliné, ron [a]	+	-
Pirazina, 3-etil-2,5-dimetil	Chocolate, nuez [a]	+	-
Tetramelpirazina	café con leche, moca, tostado, verde [a]	+	-
2,3,5- Trimetil-6-etilpirazina	Cacao, caramelo, dulce [a]	+	-
Terpenoides y terpenos			
Myrcene	Balsámico, fruta, geranio, hierba, mosto [a]	+	-
Beta-Myrcene	Balsámico, mosto, especias	+	+
Ciclohexeno, 1-metil-5-(1-metiletileno)		+	-
Linalool	Cilantro, floral, lavanda, limón, rosa [a]	+	-
Óxido de trans-linalol (furanoide)	Floral [e]	+	+
Furanos, furanonas, piranos, pironas			
Furan, 2-etil-5-metil	Agentes aromáticos [a]	-	+
4H-Pyran-4-one, 2,3-dihydro-3,5-dihydroxy-6-methyl	caramelo, dulce [a]	+	-
(3R,6S)-2,2,6- Trimethyl-6-vinyltetrahydro-2H-pyran-3-ol		+	-
Compuestos de sulfuro			
Disulfuro de dimetilo		+	-
Hidrocarburos			
Estireno	Agentes aromatizantes [a]	+	+
Otros			

Carbonato de etilo 2-(5-metil-5-viniltetrahidrofurano-2-il)propan-2-il	Especia [a]	+	-
Biciclo (3.1.1)hept-2-eno, 3,6,6-trimetil	Menta, Cool [a]	+	+
Éter dimetílico	Fruta [a]	+	-
Oxetano, 3-(1-metiletil)		+	-
Ciclotrisiloxano, hexametil		+	-
Ciclotetrasiloxano, octametil		+	+
Benzonitrilo	Almendra [a]	+	+
Triciclo[2.2.1.0(2,6)]heptano, 1,3,3-trimetil		+	-
2-Ciclohexen-1-ona, 3-metil		+	+
Fenol, 2-metoxi	Fenol [a]	+	+
Ciclopentasiloxano, decametil-		+	+
2,4,6-Octatrieno, 2,3-dimetil		+	+
Undecano, 4,7-dimetil-	Floral [a]	+	-
Dodecane		+	-
Ciclotetradecano		+	-
Dimetil silanediol		-	+
1,6-Octadien-3-ol, 3,7-dimetil-, formate	Floral [a]	-	+

[a] (FEMA, 2018); [b] (Tran *et al.*, 2015); [c] (Aprotosoiaie *et al.*, 2016); [d] (Hinne *et al.*, 2019); [e] (Ascrizzi *et al.*, 2017).

El proceso del tostado de las almendras de cacao genera compuestos volátiles que acentúan y afinan los aromas característicos de chocolate, siendo los precursores principales (Figura 1). Mientras que los péptidos y azúcares reductores, al ser sometidos a altas temperaturas causan la reacción de Maillard, generando compuestos como furanos, aldehídos, cetonas, pirroles, pirazinas y otros compuestos volátiles que se puede evidenciar en la Figura 2.

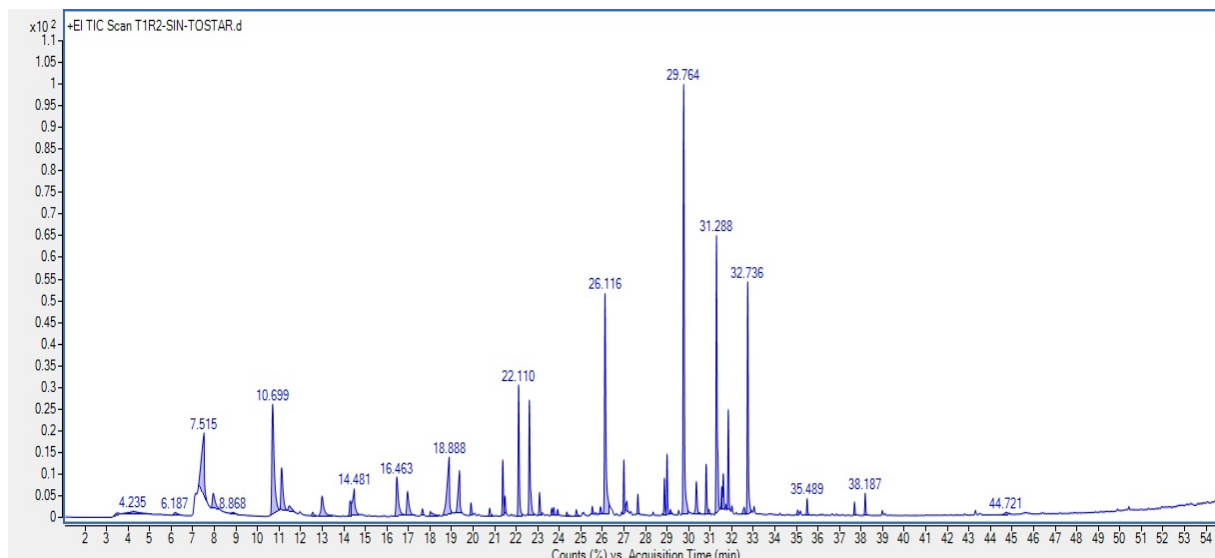


Figura 1. Cromatograma de los compuestos orgánicos volátiles precursores del aroma de los granos de cacao sin tostar

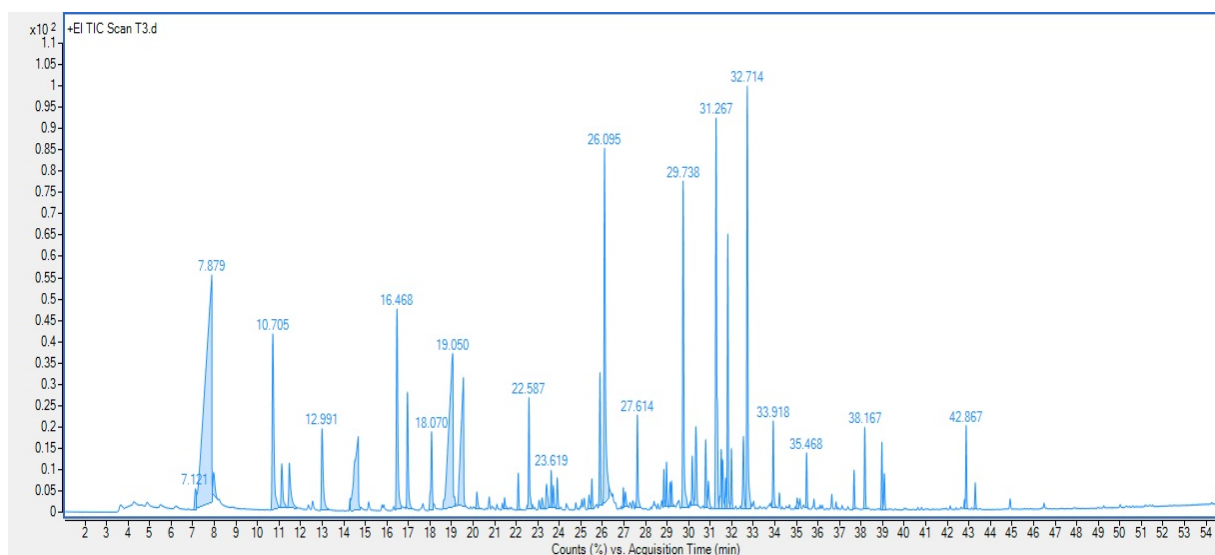


Figura 2. Cromatograma de los compuestos orgánicos volátiles de los granos de cacao tostado

DISCUSIÓN

Los grupos químicos presentes en mayor proporción en las muestras tostadas fueron: aldehídos (12), cetonas (10), alcoholes y pirazinas (8), ácidos (7). En menor proporción, terpenoides y terpenos (5), furanos (2), ésteres (1), compuestos de sulfuro (1), hidrocarburos (1) y otros compuestos, en comparación con las muestras sin tostar identificamos a ácidos (8), aldehídos (6), cetonas (4), alcoholes y ésteres (3).

En menor proporción, pirazinas, terpenoides y terpenos (2), furanos (1), compuestos de sulfuro (0), hidrocarburos (1) y otros compuestos como se muestra en la Tabla 1. Siendo estos grupos de compuestos volátiles los responsables de producir notas de sabor y aromas especiales deseables en los granos de cacao que se van generando durante los procesos de fermentación, secado y tostado (Rodríguez-Campos et al., 2011). El complejo perfil volátil de los granos de cacao, responsable de su aroma único, se deriva de una mezcla de más de 600 compuestos de diferentes clases químicas, a saber, alcoholes aldehídos, cetonas, ácidos, ésteres y pirazinas (Ziegleder, 2009; Frauendorfer & Schieberle, 2006). Siendo las pirazinas y los monoterpenos, como el linalool moléculas responsables del aroma fino y especial en el cacao.

El atractivo aroma del cacao tostado es el resultado de un sofisticado proceso tecnológico aplicado a los granos secos del cacao. Entre los procesos de fabricación, tanto la fermentación como el tostado se consideran los más importantes con respecto a la formación del sabor y aroma (Frauendorfer & Schieberle, 2008). En particular, el tostado es esencial para desarrollar el sabor a partir de los precursores formados durante la fermentación y el secado: los compuestos formados dependen principalmente de la temperatura y la duración del proceso de tostado (Di Carro et al., 2015). El tostado contribuye a la eliminación de compuestos volátiles indeseables, proporciona un aroma y un sabor deseables y hace que los granos de cacao sean más frágiles (Taş & Gökmen, 2016; Ioannone et al., 2015). El tostado induce alteraciones químicas y físicas de valor añadido, de las cuales las más importantes son el color, el aroma, sabor y la textura únicos (Van Durme et al., 2016). Como se aprecia en la Tabla 1, durante el tostado, algunos compuestos aumentan su concentración, la fracción volátil disminuye y se forman nuevos compuestos (Djikeng et al., 2018; García-Alamilla et al., 2017). Otros compuestos que se forman durante el proceso del tostado encontramos en mayores concentraciones y cantidades a las pirazinas, aldehídos, cetonas, alcoholes, terpenoides, furanos y piranos que se generan por la degradación de los monosacáridos (Frauendorfer & Schieberle, 2008; Braga et al., 2018).

La temperatura moderada que se alcanza durante la fermentación y el secado puede contribuir a los niveles finales de pirazina. Sin embargo, encontramos en la investigación la formación de pirazinas está directamente relacionada con el proceso de tostado de los granos de cacao, en el que las pirazinas se forman por reacciones de condensación entre la acetoína y el 2,3-butanediol con aminoácidos (Crafack et al., 2014; Lima et al., 2011). Complementándose con las reacciones de Maillard que son de suma importancia durante el tostado, e inician reacciones entre los azúcares reductores y los aminoácidos. Entre los productos de la reacción de Maillard tenemos a los dicarbonilos, los compuestos heterocíclicos,

los aldehídos formados por la degradación de Strecker, las cetonas, los alcoholes y los compuestos fenólicos. Además, el tostado también afecta a la liberación de ácidos volátiles (como el ácido acético) (Van Durme et al., 2016).

CONCLUSIONES

Este estudio demuestra la importancia del proceso de fermentación, secado y tostado de los granos de cacao, expresados en la composición química de los compuestos volátiles del cacao criollo, encontrando una gran cantidad de compuestos volátiles presentes en las muestras fermentadas, secas y tostadas predominando los aldehídos (2-metilpropanal, 3-metilbutanal, 3-Furaldehído, Benzeneacetaldehído, 2-Furancarboxaldehído y 5-Metil-2-fenil-2-hexenal) cetonas (2-Butanona, Acetona, 2,3-Butanediona, 2,3-Pentanediona, Etanona, 1-(1H-pirrol-2-yl), Etanona y 1-(2-furanyl)) y pirazinas (Pirazina, 2,5-dimetil, Pirazina, 2,3-dimetil, Pirazina, 2-etil-6-metil, Pirazina, 2-etenil-6-metil, Pirazina, 3-etil-2,5-dimetil, Tetramelpirazina y 2,3,5- Trimetil-6-etilpirazina), que confieren las notas especiales a los cacaos criollos. Las muestras que fueron sometidas al proceso del tostado lograron la eliminación de algunos compuestos indeseables con bajo punto de ebullición, como el ácido acético, y la formación del sabor típico de los granos tostados por la formación de las pirazinas y otros compuestos que se generaron durante este proceso, los cuales intensifican los aromas y sabores de las muestras de cacao y chocolates especiales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Afoakwa, E. O., Paterson, A., Fowler, M., Ryan, A., Fowler, M., & Ryan, A. (2008). Flavor Formation and Character in Cocoa and Chocolate : A Critical Review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 48(1040–8398), 840–857. <https://doi.org/10.1080/10408390701719272>
- Aprotosoaie, A. C., Luca, S. V., & Miron, A. (2016). Flavor Chemistry of Cocoa and Cocoa Products- An Overview. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 15(1), 73–91. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12180>
- Ascrizzi, R., Flamini, G., Tessieri, C., & Pistelli, L. (2017). From the raw seed to chocolate: Volatile profile of Blanco de Criollo in different phases of the processing chain. *Microchemical Journal*, 133, 474–479. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2017.04.024>
- Braga, S. C. G. N., Oliveira, L. F., Hashimoto, J. C., Gama, M. R., Efraim, P., Poppi, R. J., & Augusto, F. (2018). Study of volatile profile in cocoa nibs, cocoa liquor and chocolate on production

- process using GC × GC-QMS. *Microchemical Journal*, 141(May), 353–361. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2018.05.042>
- Castro-Alayo, E. M., Idrogo-Vásquez, G., Siche, R., & Cardenas-Toro, F. P. (2019). Formation of aromatic compounds precursors during fermentation of Criollo and Forastero cocoa. *Heliyon*, 5(1), e01157. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e01157>
- Cevallos-Cevallos, J. M., Gysel, L., Maridueña-Zavala, M. G., & Molina-Miranda, M. J. (2018). Time-Related Changes in Volatile Compounds during Fermentation of Bulk and Fine-Flavor Cocoa (*Theobroma cacao*) Beans. *Journal of Food Quality*, 2018, 1–14. <https://doi.org/10.1155/2018/1758381>
- Crafack, M., Keul, H., Eskildsen, C. E., Petersen, M. A., Saerens, S., Blennow, A., ... Nielsen, D. S. (2014). Impact of starter cultures and fermentation techniques on the volatile aroma and sensory profile of chocolate. *Food Research International*, 63, 306–316. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.04.032>
- De Vuyst, L., & Weckx, S. (2016). The cocoa bean fermentation process: from ecosystem analysis to starter culture development. *Journal of Applied Microbiology*, 121(1), 5–17. <https://doi.org/10.1111/jam.13045>
- Di Carro, M., Ardini, F., & Magi, E. (2015). Multivariate optimization of headspace solid-phase micro-extraction followed by gas chromatography–mass spectrometry for the determination of methyl-pyrazines in cocoa liquors. *Microchemical Journal*. 121: 172- 177.
- Djikeng, F.T., Teyomnou, W.T., Tenyang, N., Tiencheu, B., Morfor, A. T., Touko, A. H., Houketchang, S. N., Boungo, G. T., Karuna, S. L., Ngoufack, F. Z., & Womeni, H. M. (2018). Effect of traditional and oven roasting on the physicochemical properties of fermented cocoa beans. *Heliyon* 4: e00533.
- Engeseth, N. J., & Pangan, M. F. (2018). Current context on chocolate flavor development — a review. *Current Opinion in Food Science*, 21, 84–91. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2018.07.002>
- FEMA, (2018). Flavor Ingredient Library. Disponible en <https://www.femaflavor.org/flavor-library/octyl-formate> (Acceso 15 Setiembre 2021).
- Frauentorfer, F., & Schieberle, P. (2006). Identification of the key aroma compounds in cocoa powder based on molecular sensory correlations. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54(15), 5521–5529.

- Fraundorfer, F., & Schieberle, P. (2008). Changes in key aroma compounds of Criollo cocoa beans during roasting. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56(21), 10244–10251. <https://doi.org/10.1021/jf802098f>
- García-Alamilla, P., Lagunes-Gálvez, L.M., Barajas- Fernández, J., et al. (2017). Physicochemical Changes of Cocoa Beans during Roasting Process. *Journal of Food Quality*. 2017. <https://doi.org/10.1155/2017/2969324>
- Hinne, M., Van de Walle, D., Tzompa-Sosa, D.A., et al. (2019). Tuning the aroma profiles of Forastero cocoa liquors by varying pod storage and bean roasting temperature. *Food Research International*. 125: doi: [10.1016/j.foodres.2019.108550](https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.108550)
- Ioannone, F., Di Mattia, C.D., De Gregorio, M., et al. (2015). Flavanols, proanthocyanidins and antioxidant activity changes during cocoa (*Theobroma cacao* L.) roasting as affected by temperature and time of processing. *Food Chemistry*. 174: 256-262. doi: [10.1016/j.foodchem.2014.11.019](https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.11.019)
- Kadow, D., Bohlmann, J., Phillips, W., & Lieberei, R. (2013). Identification of main fine or flavour components in two genotypes of the cocoa tree (*Theobroma cacao* L.). *Journal of Applied Botany and Food Quality*, 86, 90–98. <https://doi.org/10.5073/JABFQ.2013.086.013>
- Koné, M. K., Guéhi, S. T., Durand, N., Ban-Koffi, L., Berthiot, L., Tachon, A. F., ... Montet, D. (2016). Contribution of predominant yeasts to the occurrence of aroma compounds during cocoa bean fermentation. *Food Research International*, 89, 910–917. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.04.010>
- Kongor, J. E., Hinne, M., Van de Walle, D., Afoakwa, E. O., Boeckx, P., & Dewettinck, K. (2016). Factors influencing quality variation in cocoa (*Theobroma cacao*) bean flavour profile—A review. *Food Research International*, 82, 44-52. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.01.012>
- Le Gresley, A., & Peron, J. M. R. (2019). A semi-automatic approach to the characterisation of dark chocolate by Nuclear Magnetic Resonance and multivariate analysis. *Food Chemistry*, 275(September 2018), 385–389. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.09.089>
- Lima, L. J. R., Almeida, M. H., Nout, M. J. R., & Zwietering, M. H. (2011). *Theobroma cacao* L., “The food of the Gods”: quality determinants of commercial cocoa beans, with particular reference to the impact of fermentation. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 51(8), 731–761. <https://doi.org/10.1080/10408391003799913>

- Magagna, F., Guglielmetti, A., Liberto, E., Reichenbach, S. E., Allegrucci, E., Gobino, G., ... Cordero, C. (2017). Comprehensive Chemical Fingerprinting of High-Quality Cocoa at Early Stages of Processing: Effectiveness of Combined Untargeted and Targeted Approaches for Classification and Discrimination. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 65(30), 6329–6341. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.7b02167>
- Menezes, A. G. T., Batista, N. N., Ramos, C. L., de Andrade e Silva, A. R., Efraim, P., Pinheiro, A. C. M., & Schwan, R. F. (2016). Investigation of chocolate produced from four different Brazilian varieties of cocoa (*Theobroma cacao* L.) inoculated with *Saccharomyces cerevisiae*. *Food Research International*, 81, 83–90. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2015.12.036>
- Mirković, M., Seratlić, S., Kilcawley, K., Mannion, D., Mirković, N., & Radulović, Z. (2018). The sensory quality and volatile profile of dark chocolate enriched with encapsulated probiotic *Lactobacillus plantarum* bacteria. *Sensors (Switzerland)*, 18(8). <https://doi.org/10.3390/s18082570>
- Rodriguez-Campos, J., Escalona-Buendía, H. B., Contreras-Ramos, S. M., Orozco-Avila, I., Jaramillo-Flores, E., & Lugo-Cervantes, E. (2012). Effect of fermentation time and drying temperature on volatile compounds in cocoa. *Food chemistry*, 132(1), 277-288. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.10.078>
- Rodriguez-Campos, J., Escalona-Buendía, H. B., Orozco-Avila, I., Lugo-Cervantes, E., & Jaramillo-Flores, M. E. (2011). Dynamics of volatile and non-volatile compounds in cocoa (*Theobroma cacao* L.) during fermentation and drying processes using principal components analysis. *Food Research International*, 44(1), 250–258. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2010.10.028>
- Schwan, R. F., & Wheals, A. E. (2004). The microbiology of cocoa fermentation and its role in chocolate quality. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 44(4), 205–221. <https://doi.org/10.1080/10408690490464104>
- Taş, N.G., & Gökmen, V. (2016). Effect of alkalization on the Maillard reaction products formed in cocoa during roasting. *Food Research International*. 89: 930-936.
- Tran, P.D.; Van de Walle, D.; De Clercq, N., et al. (2015). Assessing cocoa aroma quality by multiple analytical approaches. *Food Research International*. 77: 657-669.
- Van Durme, J., Ingels, I., & De Winne, A. (2016). Inline roasting hyphenated with gas chromatography–mass spectrometry as an innovative approach for assessment of cocoa fermentation quality and aroma formation potential. *Food Chemistry*. 205: 66-72.

Ziegleder, G. (2009). Flavour development in cocoa and chocolate. In S. T. Beckett (Ed.), *Industrial chocolate manufacture and use* (pp. 169–191) (4th ed.). Blackwell Publishing Ltd.



Copyright© de los autores. Titular de la licencia: Revista Pakamuros. Este artículo es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos y condiciones de la licencia Creative Commons (CC BY-NC) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).