



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



INSTITUTO DE INGENIERÍA DE
ALIMENTOS PARA EL DESARROLLO

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

ESTUDIO DE LA CAPACIDAD DE LA NARIZ Y LENGUA ELECTRÓNICA PARA LA CARACTERIZACIÓN Y CLASIFICACIÓN DE CAFÉS

TRABAJO FIN DE MÁSTER UNIVERSITARIO EN CIENCIA E
INGENIERÍA DE ALIMENTOS

ALUMNO/A:

OSCAR MAURICIO BARRERA BERMEO

TUTOR/A ACADEMICO:

JOSÉ MANUEL BARAT BAVIERA

COTUTOR/A:

RAÚL GRAU MELÓ

DIRECTOR EXPERIMENTAL:

SAMUEL VERDÉ AMAT

Curso Académico: 2015-1026

VALENCIA

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo es evaluar la capacidad de la nariz y lengua electrónica para caracterizar y clasificar cafés, con la finalidad de que puedan utilizarse como instrumento de medida para una primera clasificación y así reducir el número de cafés evaluados por el panel de catadores. Para ello se han utilizado 6 muestras de cafés procedentes de Colombia las cuales fueron evaluadas mediante la nariz y lengua electrónica, así como por un panel de catadores expertos y mediante análisis fisicoquímicos. A partir del análisis multivalente PLS se han obtenido modelos de predicción los cuales han mostrado como la lengua electrónica podría ser utilizada como herramienta en una primera clasificación de cafés dado que todos los parámetros evaluados por los catadores han tenido un modelo capaz de predecirlos. En cambio la nariz electrónica solo ha sido capaz de predecir las variables sabor, sabor residual y puntuación de la cata, por lo que mejoras en ésta serían interesantes a fin de poder incrementar su capacidad de discriminación

Palabras claves: café, lengua electrónica, nariz electrónica, análisis sensorial.

Resum

L'objectiu del present treball és avaluar la capacitat del nas i llengua electrònica per a caracteritzar i classificar cafés, amb la finalitat que puguin utilitzar-se com a instrument de mesura per a una primera classificació i així reduir el nombre de cafés que hagen de ser avaluats un panell de tastadors entrenat. Per a això s'han utilitzat 6 mostres de cafés procedents de Colòmbia les quals van ser avaluades per mitjà del nas i llengua electrònica, així com per un panell de tastadors experts i per mitjà d'anàlisi fisicoquímiques. A partir de l'anàlisi multivalente PLS s'han obtingut models de predicció els quals han mostrat com la llengua electrònica podria ser utilitzada com a ferramenta en una primera classificació de cafés doncs tots els paràmetres avaluats pels tastadors han tingut un model capaç de predir-los. En canvi el nas electrònic només ha sigut capaç de predir les variables sabor, sabor residual i puntuació del tast, però millores en esta serien interessants a fi de poder incrementar la seua capacitat de discriminació.

Paraules claus: café, llengua electrònica, nas electrònic, anàlisi sensorial.

Abstract

The aim of this study is to evaluate the ability of the nose and electronic tongue to characterize and classify coffees, in order to be used as a measuring instrument for a first classification with the aim to reduce the number of coffees that a panel trained tasters have to test. Six samples of coffees from Colombia were evaluated by the nose and electronic tongue, as well as by expert tasters and physicochemical analysis. Multivalent PLS

analyses were used to obtain prediction models. Results shown as the electronic tongue could be used as a tool in a first classification of coffees since all parameters evaluated by tasters were predicted by the models developed. Instead, the electronic nose only was able to predict the variables flavor, aftertaste and score tasting. So improvements in it would be interesting in order to increase its discrimination capacity

Keywords: coffee, electronic tongue, electronic nose, sensory analysis.

INTRODUCCIÓN

El café es una de las bebidas más populares y consumidas en el mundo debido a sus características organolépticas y efectos estimulantes (Alves y col. 2010; Di Bella y col. 2014). Gracias a estas propiedades a partir de los años 90 se ha venido utilizando el término “café especial” y “café gourmet” como referente de calidad, entendiéndose como café especial aquel que presente un sabor excelente y único (Piccino y col. 2014). En la actualidad el café es cultivado en más de 70 países de los cuatro continentes, siendo Brasil el mayor productor, seguido por Vietnam y Colombia (Bicho y col. 2013; Di Bella y col. 2014).

Por otro lado el café pertenece al género *Coffea* de la familia Rubiaceae con más de 70 especies, de las cuales tres son las utilizadas en la preparación de la bebida *C. arabica* (café arabica), *C. canephora* (café robusta) y *C. liberica* (café liberiano o Libérica, o café excelsa), pero son los arábigos los preferidos por los consumidores y se consideran como los de mejor calidad en los mercados internacionales (Naranjo y col. 2011; Vignoli y col. 2014). En ese sentido la Organización Internacional del Café (OIC) declaró que para el 2012, alrededor de 1,4 mil millones de tazas de café son consumidas todos los días, principalmente en América del Norte y en Europa convirtiéndose en una bebida esencial de la vida diaria (Di Bella y col. 2014).

El proceso de obtención de la bebida es un proceso que consta de varias etapas en la cual una vez cosechado el grano este es despulpado pasando por un proceso de fermentación el cual tiene una duración de 12 horas máximo 30, dependiendo de las condiciones de altitud y clima. Una vez terminada la fermentación se realiza el lavado para su posterior paso al secado que puede ser solar (natural) o mecánico, siendo el primero el más utilizado en Colombia. Finalmente el café es comercializado con un porcentaje de humedad del 10-12% (Fischersworing & Roßkamp, 2001), a las trilladoras en donde se somete a un proceso de trilla el cual se realiza la limpieza, trillado y clasificado del café, esta clasificación se hace por tamaño (Excelso UGQ, Excelso Caracol, Excelso Premium, Excelso Supremo, Excelso Extra y Excelso Maragogipe), densidad y color; obteniéndose el café excelso (verde) el cual es empacado en sacos de 60 kg para exportación. Pero, para que las trilladoras puedan exportar el café estas deben cumplir con los requisitos exigidos por la Federación Nacional de Cafeteros (FNC) mediante la resolución 2 del 25 de abril de 2016. De este modo el café llega al mercado europeo y estadounidense, en donde se encargan de transformar el producto sometiéndolo a un proceso de tostado a temperaturas de entre 200 y 250°C, según el grado de tostado (claro, medio u oscuro). Esto provoca cambios fisicoquímicos significativos que implican la degradación térmica de antioxidantes fenólicos naturales, la generación de sabores y compuestos de color marrón (melanoidinas) producto de la reacción de Maillard (Liu & Kitts, 2011; Wang y col. 2011).

El tostado es quizás el parámetro más importante en el resultado en la elaboración del café (Santos y col. 2016; Wei & Tanokura, 2015) del cual dependerá el desarrollo de componentes volátiles, como el aroma atributo

característico del café que se forma durante este proceso, que se compone de una mezcla compleja de compuestos volátiles en la que se destacan los principales compuestos en el café tostado como el azufre, triazinas, pirroles, fenoles, furanos entre otros. Por otro lado los granos de café tostado se componen de carbohidratos, fragmentos de proteínas, ácidos de bajo peso molecular, cafeína, trigonellina, lípidos, muchas moléculas desconocidas generalmente llamados melanoidinas, y más de 900 compuestos volátiles formados principalmente durante el proceso de tostado. Aunque las composiciones varían para los granos de café de diferentes especies, orígenes, grados de tostado, o métodos analíticos, se observa con frecuencia la degradación de los polisacáridos, oligosacáridos (especialmente sacarosa), ácidos clorogénicos y trigonellina. Se puede considerar que la formación del aroma característico, sabor y color de resulta primero de la disminución drástica de los componentes del café verde, como sacarosa, aminoácidos libres, ácidos clorogénicos, y trigonelina, así como de la descomposición de polisacáridos y proteínas. (Wei & Tanokura, 2015).

Debido a la transformación que el grano sufre es importante garantizar la calidad de este sensorialmente en el país de origen, además de los aspectos mencionados anteriormente. En ese sentido muchos países productores han adoptado la metodología de la asociación americana de cafés especiales (SCAA por sus siglas en ingles), la cual es la encargada de discutir temas y establecer normas de calidad para el comercio de café de especialidad, como también la de formar y certificar a los catadores expertos encargados de realizar esta evaluación. Los cafés especiales implican una serie de componentes y sistemas de producción destinadas a producir café de alta calidad para los mercados internacionales, el cual crea nuevas formas de consumo centrado en la calidad, diferenciación y características del café (Sepúlveda y col. 2016). Debido a que un catador puede llegar a evaluar más de 40 muestras por día en una exportadora, de acuerdo a la producción, que en Colombia se produce en dos periodos de cosecha, lo que supone una producción durante todo el año. En ese sentido la exposición de catadores a grandes jornadas de trabajo conlleva al cansancio, estado anímico bajo, estrés, entre otros; factores que llevan a una valoración subjetiva o errónea de los cafés (Rodríguez y col., 2010). Es por ello que el uso de herramientas que puedan reducir el volumen de muestras a analizar sería una mejora para el sector. Así la existencia de herramientas tecnológicas como la nariz (NE) y lengua electrónica (LE) pueden ser de gran ayuda evitando saturación de los sentidos, permitiendo realizar medidas objetivas e incluso aumentar en número de muestras analizadas.

Los orígenes de la nariz electrónica se remontan a los años 60, cuando la compañía Bacharac Inc., construyó un dispositivo compuesto de un solo sensor de gas y por lo tanto, no se consideró como NE. Fue en los 80 que se realizó la primera NE por Persaud y Dodd quienes realizaron estudios para entender los procesos del olfato biológico, utilizando un conjunto de sensores semiconductores de óxidos metálicos. Desde ese momento se conoce el concepto de NE como "Instrumento que comprende una

agrupación de sensores químicos con sensibilidades parcialmente solapadas junto a un sistema de reconocimiento de patrones, capaz de analizar y reconocer aromas simples o complejos” (Gardner y Barlett citados por Moreno y col. 2009).

Las narices electrónicas fueron desarrolladas en un comienzo para reemplazar a los paneles de expertos en la clasificación de aromas, debido a que estos se consideran costosos, y algunas veces subjetivos, debido a que sus valoraciones se pueden ver afectadas por factores como cansancio, estado anímico, clima entre otros. En la actualidad se consideran sistemas olfativos artificiales como instrumentos que realizan una serie de análisis de mezclas complejas de gases cuyo objetivo es analizar cualitativamente aromas difíciles de percibir, reconociendo sus huellas olfativas, valorando los componentes de la muestra a analizar en todo su conjunto y no de una manera cuantitativa. (Lozano citado por Ordoñez, 2014). El uso de NE se ha ido extendiendo en diferentes ámbitos dentro de los cuales encontramos la agroindustria, medio ambiente, seguridad y la medicina (Moreno y col. 2009).

La lengua electrónica (LE) al igual que NE ha sido desarrollada para sustituir o imitar los órganos de los sentidos sustituyendo así un panel sensorial. Las lenguas electrónicas se pueden definir como sistemas basados en múltiples sensores de baja selectividad o sensibilidad cruzada que, conjugados con herramientas de reconocimiento de patrones o de análisis multivariante, permiten la clasificación de muestras o la cuantificación de alguno de sus parámetros fisicoquímicos. La principal diferencia entre las lenguas electrónicas y otras técnicas de análisis es el uso de sensores de sensibilidad cruzada y baja selectividad, es decir, sensores que no están diseñados para detectar una especie en concreto (Alcañiz, 2011).

El objetivo del presente trabajo es evaluar la capacidad de la nariz y lengua electrónica para caracterizar y clasificar cafés, con la finalidad de que puedan utilizarse como herramienta para una primera clasificación y así reducir el número de cafés que tengan que ser evaluados por un panel de catadores entrenado.

MATERIALES Y MÉTODOS

Muestras.

El número de cafés evaluados en el presente estudio es de 6, todos ellos procedentes de Colombia. De ellos 4 (códigos A, F, R y V), de la especie arábica, fueron proporcionados por una trilladora exportadora de café, los cuales son mezclas en diferentes proporciones de la clasificación UGQ y Supremo. Los 2 restantes (códigos L y P) fueron suministrados por el Centro Surcolombiano de Investigación en Café “Cesurcafe” de la Universidad Surcolombiana. Estos fueron de la misma especie, arábica, y de variedad caturra, si bien cada uno de ellos de diferente origen. Todos ellos fueron

tostados individualmente en una tostadora de café en el laboratorio a una temperatura inicial de 160°C durante 7 minutos para posteriormente realizar el análisis sensorial de acuerdo al protocolo de Asociación Americana de Cafés Especiales “SCAA” (2015). Finalmente las muestras fueron envasadas en grano y enviadas a la Universidad Politécnica de Valencia “UPV” donde fueron almacenadas a temperatura ambiente hasta el inicio de los análisis.

Preparación de las muestras.

Los análisis se realizaron sobre el café molido y sobre el extracto una vez realizada la infusión. El molido se realizó en un molino en el que se introdujeron 20 gramos de café durante 50 segundos. Para la preparación de la infusión se pesaron 12 gramos del café molido y se introdujeron en una cafetera tipo tialina a la que se le incorporó 150 mL de agua, manteniendo constante para todas las experiencias la potencia de la vitrocerámica en la que se realizó las infusiones, cuyo tiempo de preparación fue de 12 minutos. El establecimiento de protocolo de picado y de extracción del café se basó en experiencias repetidas hasta alcanzar la mayor homogeneidad posible (los datos no se incluyen en el presente trabajo).

Análisis realizados sobre el café en grano.

Análisis sensorial

Las muestras fueron evaluadas por un panel experto de cata usando el protocolo de la asociación americana de cafés especiales (SCAA por sus siglas en inglés, 2015). Este análisis fue realizado en origen (Colombia).

Análisis realizados sobre el café molido.

Determinación del tamaño de partícula

Con la finalidad de evaluar cuál es el tamaño de partícula del café molido, esta se evaluó mediante un Laser Scattering (Mastersizer 2000, Malvern, Instruments, UK), equipado con una unidad Scirocco (Dry Powder Unit) (Villarino y col. 2015). El equipo *tiene un rango de medida de 0.02-2000 µm*.

Determinación de color.

La determinación del color se realizó mediante un colorímetro Konica minolta CM-700d, con iluminante D₆₅ y una apertura de 8mm, obteniéndose las coordenadas de color del sistema Ciel*a*b* (luminosidad L*, tono h* y pureza C*). Para ello se llenaron unos discos los cuales se enrasaron con espátula, presionándose posteriormente con una pesa de 2 kg la cual se situó nivelada sobre la superficie.

Análisis con nariz electrónica

Tanto la nariz como la lengua electrónica han sido desarrolladas por el instituto de reconocimiento molecular y desarrollo tecnológico (IDM) de la Universidad Politécnica de Valencia (UPV). La nariz consta de 12 sensores y dado que el equipo no cuenta con un protocolo estándar de medida, fue imprescindible la realización de pruebas preliminares para determinar los

tiempos de medida (valores no mostrados en el presente trabajo), definiéndose este de 15 minutos. Así se establecieron dos ciclos, uno de limpieza de la cámara, en la que se sitúa la muestra, de 15 minutos y otro periodo de 15 minutos una vez introducida la muestra en la cámara de medida (tiempo de medida). Durante este tiempo los sensores desarrollaron una zona dinámica y una zona estable, esta última manteniéndose hasta el final de la medida. Para la realización de la medida 7 gramos de café molido se introdujeron en una placa de 5 cm de diámetro interno y altura de 1.5, la cual se depositó en la cámara de medida durante el tiempo establecido, recibiendo la respuesta de los sensores a través del software desarrollado.

Análisis realizados sobre la infusión de café.

pH

El pH de la bebida fue determinado con un potenciómetro modelo pH-meter BASIC 20+ de la marca CRISON mediante medición directa.

Determinación de fenoles totales (FT).

Los compuestos fenólicos fueron medidos usando el reactivo Folin-Ciocalteu de acuerdo al método descrito por Bravo et al (2013) y Ludwing et al (2012). Para cada muestra se preparó una disolución 1:10 con agua destilada, se adicionaron 500 μ L del reactivo Folin-Ciocalteu a la mezcla de 100 μ L de muestra con 7,9 mL de agua destilada. Después se agregaron 1,5 mL de carbonato de sodio al 7,5%. Seguidamente fueron incubadas en un lugar oscuro a temperatura ambiente por 90 minutos. La absorbancia de la muestras fue medida a 765 nm en un espectrofotómetro Helios Zeta UV-VIS, los análisis se realizaron por triplicado. El ácido gálico (AG) fue usado como referencia para la elaboración de la curva de calibración.

Determinación de sólidos solubles. Índice de refracción (IR).

Los sólidos en suspensión presentes en la bebida se midieron con un refractómetro de mesa (RFM 330+ Automatic Digital Refractometer), calibrado a 20°C, ajustando a cero con agua destilada. Las medidas se realizaron directamente, limpiándose entre muestras con agua destilada.

Análisis con la lengua electrónica

La lengua está constituida por un sistema de 8 electrodos divididos en dos grupos de metales, nobles (platino, oro, iridio y rutenio) y no nobles (plata, cobalto, níquel y cobre) y basada en la voltametría de pulsos. Para las mediciones de la bebida se utilizó una solución (Buffer) ajustada a pH 4,8 con HCL y NaOH, mediante la cual se realizaron diluciones de la bebida de café al 50%. El tren de pulsos utilizado fue uno genérico comprendido entre -1000 y 1000 mV, siendo el tiempo para cada pulso de 20 ms.

Análisis estadístico

Con el objetivo de comprobar la existencia de diferencias significativas entre los cafés para los diferentes análisis fisicoquímicos y parámetros

sensoriales evaluados, se realizaron análisis de la varianza (ANOVA simple) utilizando el programa Statgraphics Centurion XVI. I

Con la finalidad evaluar la capacidad de la nariz y lengua electrónica para la caracterización y clasificación de cafés se hicieron análisis de mínimos cuadrados parciales (PLS) que maximizan la correlación entre variables independientes (señal de corriente) y dependientes (variables fisicoquímicas y sensoriales). El objetivo es generar modelos matemáticos que permitan expresar relación en los cambios observados en las medidas electrónicas y los obtenidos mediante los análisis fisicoquímicos y sensoriales. Para tal fin dos tercios de las muestras se utilizaron para el desarrollo y cross-validación de los modelos matemáticos y el tercio restante para la validación de este (predicción).

RESULTADOS.

Análisis sensorial

Dado que los cafés tenían que ser evaluados por un panel de expertos, pues la finalidad del estudio es evaluar los equipos electrónicos como herramientas para una primera clasificación de los cafés en aras a reducir el número de cafés a evaluar por el panel de catadores, estos análisis se realizaron en origen, previo envío del grano para su análisis en la Universidad Politécnica de Valencia. En la tabla 1 se muestran los resultados obtenidos según los parámetros evaluados por la SCAA. En ellos se observa como los parámetros fragancia/aroma (F/A), sabor (S), sabor residual (SR) y dulzor (D) no presentan diferencias significativas entre los diferentes cafés. En cambio la acidez (A), cuerpo (C), uniformidad (U), balance (B), taza limpia (TL) y puntaje del catador (PC), sí las presentan, siendo principalmente producidas por las bajas puntuaciones obtenidas por el café P, el cual fue el peor valorado.

TABLA 1. Resultados de los atributos evaluados sensorialmente en el café por un panel experto.

| Atributo | A | F | L | P | R | V |
|------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------|---------------------------|---------------------------|
| F/A | 7,63 ± 0,48 ^a | 7,81 ± 0,55 ^a | 8,13 ± 0,60 ^a | 8,38 ± 0,48 ^a | 7,81 ± 0,55 ^a | 7,69 ± 0,38 ^a |
| S | 7,13 ± 0,63 ^a | 7,56 ± 0,52 ^a | 7,69 ± 0,38 ^a | 7,50 ± 0,20 ^a | 7,56 ± 0,52 ^a | 7,25 ± 0,29 ^a |
| SR | 7,13 ± 0,75 ^a | 7,31 ± 0,69 ^a | 7,69 ± 0,69 ^a | 7,8 ± 0,14 ^a | 7,44 ± 0,43 ^a | 7,25 ± 0,50 ^a |
| A | 7,06 ± 0,31 ^{ab} | 7,25 ± 0,20 ^{bc} | 7,69 ± 0,38 ^c | 6,56 ± 0,43 ^a | 7,25 ± 0,29 ^{bc} | 7,38 ± 0,48 ^{bc} |
| C | 6,88 ± 0,25 ^b | 7,06 ± 0,13 ^{bc} | 7,38 ± 0,25 ^c | 6,38 ± 0,43 ^a | 7,06 ± 0,13 ^{bc} | 6,88 ± 0,25 ^b |
| U | 10,00 ± 0,00 ^b | 10,00 ± 0,00 ^b | 10,00 ± 0,00 ^b | 8,00 ± 0,00 ^a | 10,00 ± 0,00 ^b | 10,00 ± 0,00 ^b |
| B | 10,00 ± 0,00 ^b | 10,00 ± 0,00 ^b | 10,00 ± 0,00 ^b | 8,00 ± 0,00 ^a | 10,00 ± 0,00 ^b | 10,00 ± 0,00 ^b |
| TL | 9,75 ± 0,50 ^b | 10,00 ± 0,00 ^b | 10,00 ± 0,00 ^b | 8,00 ± 0,00 ^a | 10,00 ± 0,00 ^b | 10,00 ± 0,00 ^b |
| D | 10,00 ± 0,00 ^a | 10,00 ± 0,00 ^a | 10,00 ± 0,00 ^a | 9,50 ± 1,00 ^a | 10,00 ± 0,00 ^a | 10,00 ± 0,00 ^a |

| | | | | | | |
|--------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| PC | 6,25 ± 0,29 ^a | 6,19 ± 0,38 ^a | 7,06 ± 0,31 ^b | 6,13 ± 0,14 ^a | 6,50 ± 0,58 ^a | 6,31 ± 0,38 ^a |
| Total | 81,81 ± 1,43 ^b | 83,19 ± 1,39 ^b | 85,62 ± 1,16 ^c | 75,81 ± 0,99 ^a | 83,63 ± 1,30 ^b | 82,75 ± 1,50 ^b |

Diferente letra en la misma fila expresa diferencias estadísticas p-value<0.05.

Análisis fisicoquímicos

En la tabla 2 se muestran los valores promedio, desviación estándar y análisis estadísticos de los resultados fisicoquímicos de color (L^* , a^* , b^* , C y h), fenoles totales (FT), pH, índice de refracción (RI) y densidad (D).

Todos los parámetros de color mostraron valores estadísticamente diferentes entre las muestras. Con base a la clasificación de Ludwig y col. (2013) las muestras, con base a los valores de L^* , se pueden clasificar como oscuras ($L^* < 23$), medias ($L^* 23-26$) y claras ($L^* > 26$), por lo que las muestras analizadas se clasifican dentro de las oscuras. Cabe destacar que estos valores difieren entre autores como se evidencia por lo reportado por Wei & Tanokura (2015) los cuales los clasifican como media 15,5 - 21,5; oscura 15,5 y clara 21,5-30,2. Los parámetros a^* y b^* muestran valores mayores a los de L^* . Esta relación difiere de lo observado por Contreras y col. (2016) en donde observó que a^* y b^* presentan valores inferiores a L^* . Según Summa y col. (2007) y Wei & Tanokura (2015) cuanto mayor sea el nivel de tostado menores serán estos valores, si bien estas medidas son medidas independientes según el tipo de procesado (Ludwig y col. 2013).

Los resultados para FT muestran que existen diferencias estadísticamente significativas encontrándose valores entre 44 – 53 miligramos de ácido gálico por gramo de café molido (mgAG/g). Estos valores fueron superiores a los reportados por Caporasso y col. (2014) de 29,74 mgAG/g para el mismo tipo de preparación (cafetera italiana - moka). Del mismo modo el pH determinado (rango 4,68 – 4,94) presenta diferencias estadísticamente significativas que no son acorde a lo que encontrado por el mismo autor de 5,71. En ese sentido se destaca que el pH es directamente proporcional al grado de tostado, en el cual a mayor nivel de este, mayor es su valor. Caporasso y col. (2014) también establecen que el pH podría afectar a la capacidad antioxidante cuando la acidez es ligeramente alta, así mismo depende de la técnica utilizada para la extracción. Por otro lado las muestras L y P pertenecientes a la variedad caturra no muestran diferencias en FT pero si respecto a las demás, las cuales son mezclas entre tipo UGQ y supremo (blend) en el que se desconoce los porcentajes de mezcla siendo estas ligeramente diferentes.

En cuanto a la densidad e IR se observan diferencias estadísticamente significativas con valores de 1,012 g/mL y 1,34 respectivamente. Estos valores son acorde a los resultados obtenidos por Parenti y col., (2014), quien comparó diferentes métodos de preparación de bebida expreso.

TABLA 2. Resultados análisis fisicoquímicos realizados a las muestras. Todos los valores son mostrados como medias \pm desviación estándar.

| | A | F | L | P | R | V |
|-----------|---------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|
| L* | 15,73 \pm 0,67 ^{bc} | 17,22 \pm 0,96 ^c | 13,51 \pm 1,02 ^a | 12,61 \pm 1,34 ^a | 15,61 \pm 0,31 ^b | 13,91 \pm 0,30 ^a |
| a* | 23,96 \pm 0,87 ^b | 23,00 \pm 0,12 ^a | 25,73 \pm 0,45 ^c | 25,53 \pm 0,57 ^c | 23,83 \pm 0,19 ^{ab} | 25,74 \pm 0,30 ^c |
| b* | 27,06 \pm 1,12 ^{bc} | 29,37 \pm 1,26 ^c | 23,27 \pm 1,74 ^a | 21,73 \pm 2,29 ^a | 26,85 \pm 0,54 ^b | 23,97 \pm 0,53 ^a |
| C* | 36,18 \pm 0,33 ^{cd} | 37,35 \pm 0,98 ^d | 34,75 \pm 0,86 ^{ab} | 33,60 \pm 1,07 ^a | 35,92 \pm 0,41 ^{bc} | 35,20 \pm 0,17 ^{bc} |
| h* | 48,45 \pm 2,18 ^b | 51,90 \pm 1,34 ^b | 42,03 \pm 2,62 ^a | 40,29 \pm 3,58 ^a | 48,38 \pm 0,66 ^b | 42,94 \pm 0,95 ^a |
| FT | 53,89 \pm 3,14 ^b | 51,57 \pm 3,26 ^c | 47,39 \pm 1,78 ^{ab} | 47,93 \pm 1,75 ^{ab} | 48,93 \pm 1,89 ^{bc} | 44,21 \pm 1,54 ^a |
| pH | 4,94 \pm 0,01 ^d | 4,77 \pm 0,03 ^b | 4,79 \pm 0,05 ^b | 4,78 \pm 0,02 ^b | 4,68 \pm 0,02 ^a | 4,85 \pm 0,02 ^c |
| IR | 1,34 \pm 0,00 ^b | 1,34 \pm 0,00 ^a | 1,34 \pm 0,00 ^a | 1,34 \pm 0,00 ^a | 1,34 \pm 0,00 ^a | 1,34 \pm 0,00 ^a |
| D | 1,012 \pm 0,001 ^{ab} | 1,012 \pm 0,001 ^{ab} | 1,011 \pm 0,000 ^a | 1,014 \pm 0,001 ^b | 1,014 \pm 0,002 ^b | 1,012 \pm 0,000 ^{ab} |

C*: pureza, h*: tono, L*a*b* corresponde al sistema cieL*a*b*; FT fenoles totales mg ácido gálico / g de café molido, IR índice de refracción; D densidad de la bebida (g/mL). Diferente letra en la misma fila expresa diferencias estadísticas p-value<0.05.

El análisis de la distribución del tamaño de partícula (tabla 3) mostró la existencia de diferencias estadísticamente significativas con base al D_{0,9} y al D_{0,1}, el cual indica que el 90% de la distribución en promedio se encuentra por debajo de 639 μ m y el 10% en promedio por debajo de 20 μ m., tamaño que según Kocadagli & Gokmen (2016) es usado para la preparación de café expreso (abertura de 600 μ m) con un molino profesional. En la figura 1 se muestra de manera gráfica la distribución de tamaño de partícula el cual presenta un comportamiento bimodal, para el procedimiento realizado con un molino convencional.

TABLA 3. Resultados de distribución de tamaño de partícula. Mostrados como medias \pm desviación estándar con base al D_{0,9} y D_{0,1}

| Muestras | D_{0,1} μm | D_{0,9} μm |
|-----------------|--|--|
| A | 21,670 \pm 1,281 ^c | 696,475 \pm 56,24 ^c |
| F | 19,573 \pm 0,806 ^b | 608,59 \pm 62,408 ^{ab} |
| L | 21,908 \pm 1,283 ^c | 584,87 \pm 42,084 ^a |
| P | 22,293 \pm 0,924 ^c | 636,547 \pm 45,317 ^{abc} |
| R | 19,014 \pm 0,556 ^b | 645,573 \pm 64,969 ^{abc} |
| V | 15,536 \pm 0,682 ^a | 667,923 \pm 130,711 ^{bc} |
| Promedio | 20,004 \pm 2,533 | 639,996 \pm 79,200 |

Diferente letra en la misma fila expresa diferencias estadísticas p-value<0.05.

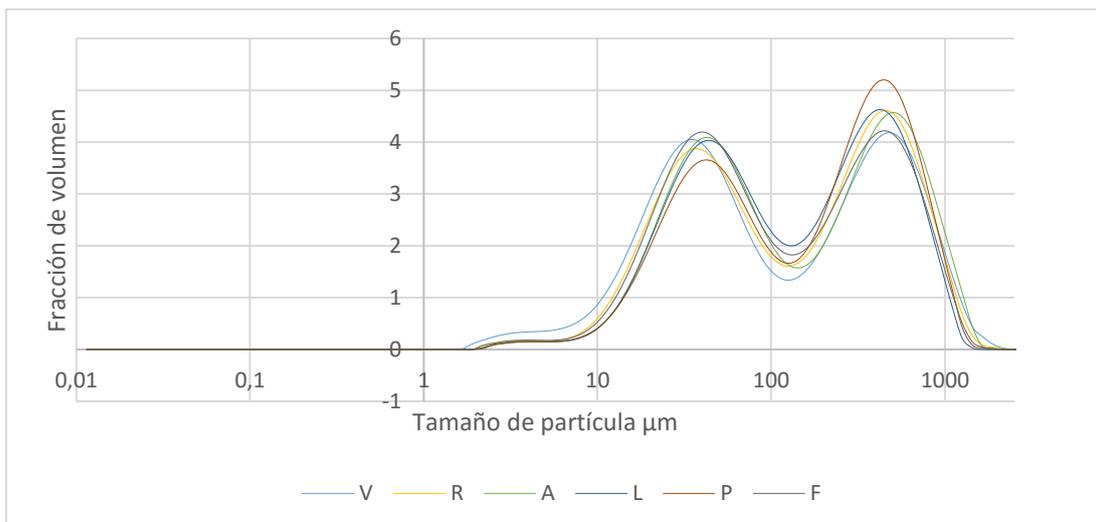


FIGURA 1. Distribución de tamaño de partícula para el protocolo desarrollado con un molino convencional.

Análisis electrónicos. Lengua electrónica.

En la figura 2 se muestra la media de la respuesta obtenida por los electrodos (Ir, Rh, Pt y Au) de la lengua electrónica para cada una de las muestras. Como se puede apreciar, existió un comportamiento voltamétrico diferente para cada una de las muestras. Con la finalidad de evaluar la relación entre los análisis fisicoquímicos y sensoriales existentes con la respuesta voltamétrica se procedió a la construcción de los modelos matemáticos de predicción aplicando el método estadístico de regresión PLS. En la tabla 4 se muestran los resultados de la bondad de los modelos. Como se puede observar, las variables que mejor ajuste presentaron fueron el pH ($R^2 = 0,928$) en el caso de los fisicoquímicos y todas las procedentes del análisis sensorial, siendo la de mayor valor de correlación la obtenida con el sabor ($R^2 = 0,987$), si bien es importante destacar la obtenida con la puntuación total ($R^2 = 0.955$). En la figura 3 se muestra a modo de ejemplo el ajuste de los valores observados para el sabor y puntuación de la cata frente a los predichos por el modelo generado por la respuesta voltamétrica. Como puede observarse en ambos casos la linealidad fue total, situándose sobre la recta $x=y$.

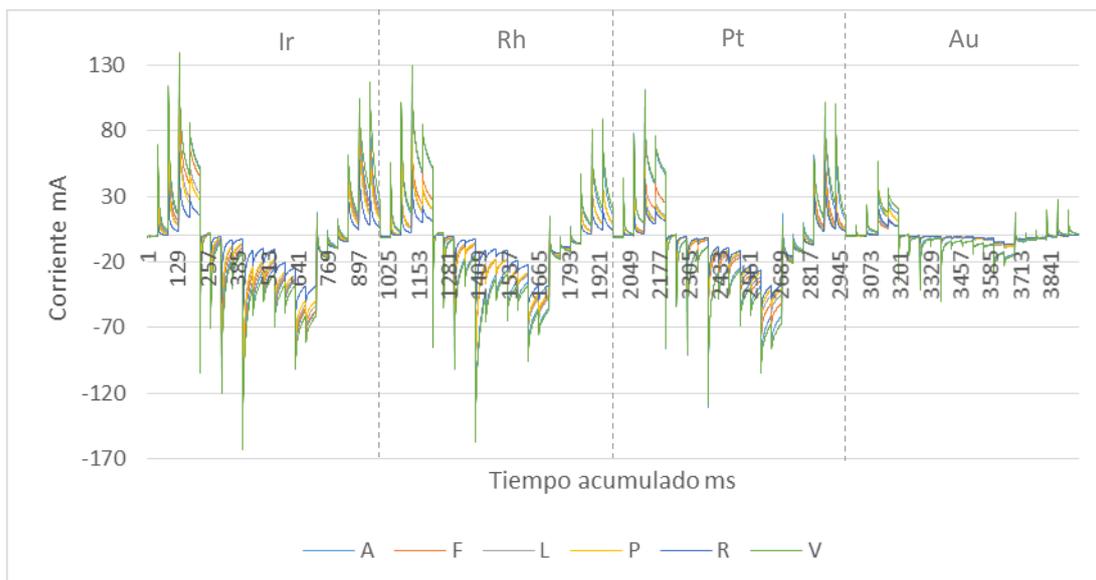


FIGURA 2. Respuesta voltamétrica de los electrodos (iridio, rodio, platino y oro cada 990 ms) de la lengua electrónica.

Tabla 4. Valores de correlación PLS obtenidos para los modelos de predicción de las variables fisicoquímicas y sensoriales a partir de la respuesta voltamétrica de la lengua electrónica.

| | RMSEP | Bias P | R ² P |
|----------------|-----------|-------------|------------------|
| pH | 0.0300846 | 0.0124046 | 0.928 |
| Abs 765 nm | 0.050664 | -0.0145491 | 0.582 |
| % Brix | 0.177444 | -0.047723 | 0.448 |
| L* | 1.27539 | -0.202324 | 0.588 |
| a* | 0.807306 | 0.284855 | 0.617 |
| b* | 2.13443 | -0.38156 | 0.589 |
| C* | 1.02124 | -0.17057 | 0.594 |
| h* | 3.39699 | -0.901647 | 0.584 |
| Frag/aroma | 0.0621072 | 0.0292037 | 0.962 |
| Sabor | 0.022355 | 0.00303166 | 0.987 |
| Sabor Residual | 0.0528391 | 0.0231341 | 0.926 |
| Acidez | 0.0701576 | 0.00695414 | 0.961 |
| Cuerpo | 0.0730004 | 0.000460414 | 0.948 |
| Uniformidad | 0.194325 | -0.0398284 | 0.951 |
| Balance | 0.194325 | -0.0398284 | 0.951 |
| Taza Limpia | 0.206736 | -0.0477615 | 0.941 |
| Dulzor | 0.0485813 | -0.00995711 | 0.951 |
| Punt. Cata. | 0.0672697 | -0.00595673 | 0.955 |

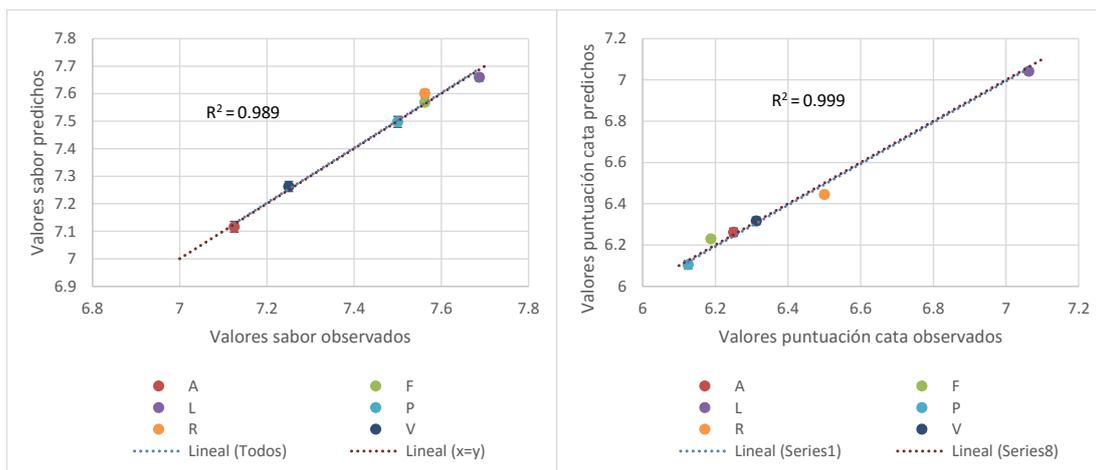


FIGURA 3. Ajuste de los valores observados de sabor y puntuación cata frente a los predichos por los modelos a partir de la información voltamétrica obtenida.

Con base a estos resultados se podría decir que la lengua electrónica podría ser utilizada como herramienta en una primera clasificación de cafés y así poder reducir el número de cafés a evaluar por el panel de cata, dado que los todos los parámetros evaluados por los catadores tuvieron un modelo que fue capaz de predecirlos.

Nariz electrónica

En el caso de la nariz electrónica se observó que al igual que en la lengua el parámetro fisicoquímico con mejor ajuste fue el pH ($R^2 = 0,923$), mientras que en el caso de las variables del análisis sensorial solo el sabor, sabor residual y puntuación de la cata presentaron buenos valores de correlación (Tabla 4). En la figura 4 se muestra el ajuste de los valores observados para el sabor y puntuación de la cata frente a los predichos por el modelo generado por la respuesta de la nariz electrónica. Como puede observarse en ambos casos la linealidad fue total, situándose sobre la recta $x=y$.

Tabla 5. Valores de correlación PLS obtenidos para los modelos de predicción de las variables fisicoquímicas y sensoriales a partir de la respuesta de la nariz electrónica.

| | RMSEP | Bias P | R2 P |
|-------------------|--------------|---------------|--------------|
| pH | 0.0288669 | -0.006967060 | 0.923 |
| Abs 765 nm | 0.0585719 | 0.00970268 | 0.559 |
| % Brix | 0.125068 | -0.0185434 | 0.637 |

| | | | |
|-----------------------|-----------|-------------|--------------|
| L* | 0.956312 | -0.383373 | 0.738 |
| a* | 0.491635 | 0.171601 | 0.847 |
| b* | 1.54775 | -0.646613 | 0.755 |
| C* | 0.801328 | -0.324663 | 0.696 |
| h* | 2.31034 | -0.973529 | 0.785 |
| Frag/aroma | 0.120984 | 0.0178771 | 0.794 |
| Sabor | 0.0356422 | 0.00158364 | 0.968 |
| Sabor Residual | 0.0362644 | -0.00562834 | 0.958 |
| Acidez | 0.132271 | -0.020908 | 0.873 |
| Cuerpo | 0.116204 | -0.0302429 | 0.889 |
| Uniformidad | 0.368689 | -0.0718319 | 0.796 |
| Balance | 0.368689 | -0.0718319 | 0.796 |
| Taza Limpia | 0.367327 | -0.0626828 | 0.798 |
| Dulzor | 0.0921721 | -0.017958 | 0.796 |
| Punt. Cata. | 0.0536202 | -0.020744 | 0.978 |

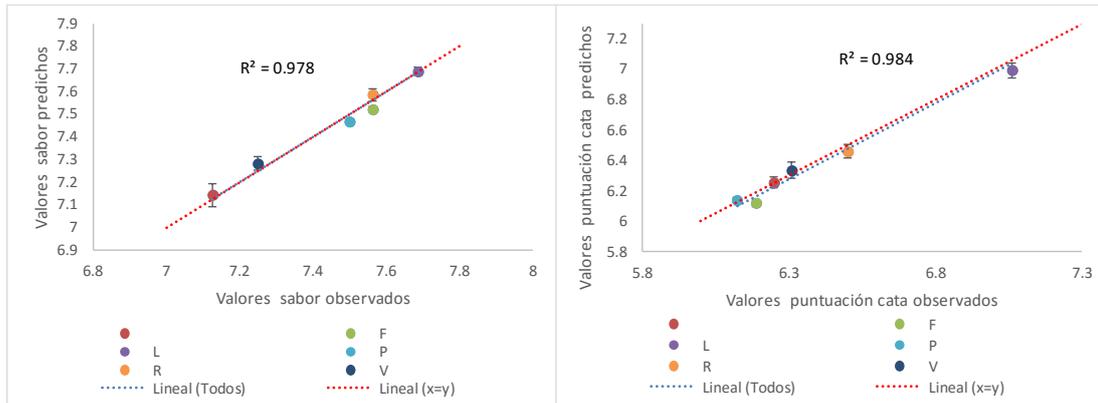


FIGURA 4. Ajuste de los valores observados de sabor y puntuación cata frente a los predichos por los modelos a partir de la información precedente de la nariz electrónica.

Con base a estos resultados, si bien se han obtenido modelos de predicción con las variables del análisis sensorial, estos han sido menores que los obtenidos con el empleo de la lengua electrónica. En la actualidad el desarrollo de la nariz electrónica se encuentra en sus estadios iniciales por lo que son muchos los cambios que se pueden introducir con la finalidad de poder incrementar la eficacia de esta en aras a poder obtener una mejor descripción de los cafés.

CONCLUSIONES.

El uso de la lengua electrónica se ha mostrado como una herramienta que podría ser utilizada en una primera clasificación de cafés y así poder reducir el número de cafés a evaluar por un panel de cata entrenado, dado

que los todos los parámetros evaluados por los catadores han tenido un modelo capaz de predecirlos.

En el caso de la nariz electrónica, si bien se han obtenido modelos de predicción con las variables del análisis sensorial, estos solo se han dado para las variables sabor, sabor residual y puntuación de la cata, por lo mejoras en ésta serían interesantes a fin de poder incrementar su capacidad de discriminación.

A partir de los resultados obtenidos, nuevos estudios pueden ser planteados en los que se incremente el número de cafés, técnicas analíticas en las que se definan los aromas, compuestos solubles de éstos, etc., que hagan más robustos los resultados obtenidos en el presente estudio.

REFERENCIAS

- Alcañiz, F. M. 2011. Diseño de un sistema de lengua electrónica basado en técnicas electroquímicas voltamétricas y su aplicación en el ámbito agroalimentario. Tesis doctoral. Universitat Politècnica de València.
- Alves, R. C.; Casal, S.; Oliveira, M. B. P.P. 2010. Tocopherols in coffee brews: Influence of coffee species, roast degree and brewing procedure, *Journal of Food Composition and Analysis*, (23): 802-808.
- Bicho, N. C.; Lidon, F. C.; Ramalho, J. C.; Leita, A.E. 2013. Quality assessment of Arabica and Robusta green and roasted coffees – A review. *J. Food Agric.* (12): 945-950.
- Bravo, J.; Monente, C.; Juárez, I.; Paz De Peña, M.; Cid, Concepción. 2013. Influence of extraction process on antioxidant capacity of spent coffee, *Food Research International*, (50): 610-616.
- Caporaso, N.; Genovese, A.; Canela, M. D.; Civitella, A.; Sacchi, R. 2014. Neapolitan coffee brew chemical analysis in comparison to espresso, moka and American brews, *Food Research International*, (61): 152-160.
- Di Bella, G.; Potortì, A. G.; Lo Turco, V.; Saitta, M.; Dugo, G. 2014. Plasticizer residues by HRGC-MS in espresso coffees from capsules, pods and moka pots, *Food Control*, (41): 185-192.
- Fischerswöring, B. H.; Roßkamp, R. R. 2001. Guía para la caficultura ecológica. http://www.ifoam.org/growing_organic/7_training/training_pdf/other_training_materials/soil_plant/caficultura_ecologica.pdf. Consulta: 30 mayo 2016.
- Kocadağlı, T.; Gökmen, V. 2016. Effect of roasting and brewing on the antioxidant capacity of espresso brews determined by the QUENCHER procedure, *Food Research International*, (xx): xxx-xxx. doi:10.1016/j.foodres.2016.03.004
- Liu, Y.; Kitts D. D. 2011. Confirmation that the Maillard reaction is the principle contributor to the antioxidant capacity of coffee brews, *Food Research International*, (44): 2418-2424.
- Ludwig, I. A.; Sanchez, L.; Caemmerer, Bettina; Kroh, Lothar W.; Paz De Peña, M.; Cid, C. 2012. Extraction of coffee antioxidants: Impact of brewing time and method, *Food Research International*, (48): 57-64.
- Ludwig, I. A.; Bravo, J.; Paz De Peña, M.; Cid, C. 2013. Effect of sugar addition (torrefacto) during roasting process on antioxidant capacity and phenolics of coffee, *LWT - Food Science and Technology*, (51): 553-559.

- McGrath, T. F.; Andersson, K.; Campbell, K.; Fodey, T. L.; Elliott, C. T. 2013. Development of a rapid low cost fluorescent biosensor for the detection of food contaminants, *Biosensors and Bioelectronics*, (41): 96-102.
- Moreno, I.; Caballero, R.; Galán, R.; Matía, F.; Jiménez, A. 2009. La Nariz Electrónica: Estado del Arte, *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial RIAI*, (6): 76-91.
- Naranjo, M.; Velez, L. T.; Rojano, B. A. 2011. Actividad antioxidante de café colombiano de diferentes calidades. *Rev Cubana Plant Med*, (16): 164-173.
- Ordoñez, A. R. 2014. Evaluación de un sistema de enmascaramiento de olor de muestras de ajo, mediante un sistema de nariz electrónica. [En línea]. Dirección URL < <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/57411/TFM%20ORDO%C3%91EZ%20ARAQUE.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. [Consulta: 17 mayo. 2016].
- Parenti, A.; Guerrini, L.; Masella, P.; Spinelli, S.; Calamai, L.; Spugnoli, P. 2014. Comparison of espresso coffee brewing techniques, *Journal of Food Engineering*, (121): 112-117.
- Piccino, S.; Boulanger, R.; Descroix, F.; Cheong, S. A. S. 2014. Aromatic composition and potent odorants of the “specialty coffee” brew “Bourbon Pointu” correlated to its three trade classifications, *Food Research International*, (61): 264-271.
- Rodríguez, J.; Durán, C.; Reyes, A. Electronic Nose for Quality Control of Colombian Coffee through the Detection of Defects in “Cup Tests”. *Sensors*, (10): 36-46.
- Santos, J. R.; Viegas, O.; Páscoa, R. N.M.J.; Ferreira, I. M.P.L.V.O.; Rangel, A. O.S.S.; Lopes, J. A. 2016. In-line monitoring of the coffee roasting process with near infrared spectroscopy: Measurement of sucrose and colour, *Food Chemistry*, (208): 103-110.
- Summa, C. A.; de la Calle, B.; Brohee, M.; Stadler, R. H.; Anklam, E. 2007. Impact of the roasting degree of coffee on the in vitro radical scavenging capacity and content of acrylamide, *LWT - Food Science and Technology*, (40): 1849-1854.
- Sepúlveda, W. S.; Chekmam, L., Maza, M. T.; Mancilla, N. O. 2016. Consumers' preference for the origin and quality attributes associated with production of specialty coffees: Results from a cross-cultural study, *Food Research International*, (xx): xxx-xxx. doi:10.1016/j.foodres.2016.03.039.
- Vignoli, J. A.; Viegas, M. C.; Bassoli, D. G.; Benassi M. de Toledo. 2014. Roasting process affects differently the bioactive compounds and the antioxidant activity of arabica and robusta coffees, *Food Research International*, (61): 279-285.
- Villarino, C.B.J., Jayasena, V. Coorey, R., Chakrabarti-Bell, S., Johnson, S.K. 2015. The effects of Australian sweet lupin (ASL) variety on physical properties of flours and breads. *LWT-Food Science and Technology* (60) 435-443.
- Wang, H.Y.; Qian, H.; Yao; W. R. 2011. Melanoidins produced by the Maillard reaction: Structure and biological activity, *Food Chemistry*, (128): 573-584.
- Wei, F.; Tanokura, M. 2015. Chapter 10 - Chemical Changes in the Components of Coffee Beans during Roasting, *In Coffee in Health and Disease Prevention*, edited by Victor R. Preedy,, Academic Press,, Pages 83-91