

Diferenciación del café de Guatemala por medio de la composición química del aroma

Ana Luisa Mendizábal de Montenegro¹, Carmen Samayo² & Carlos Rolz¹,

¹Centro de Ingeniería Bioquímica, Instituto de Investigaciones, Universidad del Valle de Guatemala

²Investigador Asociado Proyecto FD039-2012

RESUMEN: Se determinó la concentración relativa de 18 compuestos orgánicos volátiles constituyentes del aroma en muestras representativas de las ocho regiones de café del país. Por medio del análisis de la matriz de datos experimentales y empleando una agrupación jerárquica y componentes principales, fue posible diferenciar cuatro grupos: Cobán por separado, Atitlán por separado, el grupo formado por Antigua, Huehuetenango y Nuevo Oriente, y el grupo formado por Fraijanes, Acatenango y San Marcos. Dicha agrupación podría representar la primera versión de un aromagrama del café producido en Guatemala.

PALABRAS CLAVE: Aroma de café, Grupos de aroma diferenciado.

Coffee clustering employing aroma chemical components.

ABSTRACT: The relative concentration in the aroma of 18 organic volatile compounds was determined in representative coffee samples from the eight different coffee producing regions of the country. The experimental data matrix was analyzed by hierarchical clustering and principal components resulting in four different clusters: Cobán as unique, Atitlán as unique, a cluster consisting of Antigua, Huehuetenango and Nuevo Oriente, and the cluster formed by Fraijanes, Acatenango and San Marcos. Such clustering could represent the first version of an aromagram of Guatemalan coffee.

KEY WORDS: Coffee aroma, Different aroma clusters.

Introducción

La estimación de la calidad del café implica un análisis sensorial, olor y sabor, de la bebida obtenida al agregar agua hirviendo a los granos de café tostados y molidos luego de unos pocos minutos después de haberse preparado. Los expertos diferencian variedades, país de origen, calidades de diferentes regiones y detectan defectos empleando esta metodología y la opinión resultante, incide en la demanda, o preferencia de los consumidores, y en el precio de compra correspondiente.

Ha sido un objetivo generalizado correlacionar la calidad así estimada con la composición química del grano de café, tanto del grano verde como del grano tostado. Es importante recordar que el aroma, olor y sabor, *sui generis*, se obtiene al tostar el grano verde. El aroma proviene entonces de la transformación química, a su vez causada por la alta temperatura del tueste, de los compuestos que originalmente conforman el grano.

Un ejemplo en esta dirección que puede comentarse es la correlación de una calidad superior de la bebida con los contenidos de trigonelina y del ácido 3,4-dicaffeoilquinico en granos Arábigos de Brasil (Farah et al, 2006). Sin embargo, la mayoría de contribuciones recientes sobre el tema se han centrado en buscar la correlación con la composición del aroma. Lo anterior se ha debido, posiblemente, al desarrollo en las últimas décadas de tecnología para poder captar intactos los compuestos orgánicos volátiles que conforman el aroma, la capacidad de separarlos e identificarlos con certeza.

Se han identificado alrededor de 900 compuestos volátiles, aunque menos de 20 se han señalado como los constituyentes relevantes del aroma característico (Buffo y Cardelli-Freire, 2004). En el Apéndice 1 se listan 22 de estos constituyentes relevantes. En la primera columna se encuentra la fórmula química; en la segunda columna, el tipo de reacción química que los precursores presentes en el grano verde sufren para

generar el compuesto volátil debido a la temperatura del tueste; en la tercera columna presenta el rango de concentraciones en base a un kg de café tostado; en la cuarta columna, el rendimiento de extracción que se logra al hacer la bebida; y en la última columna, el valor de la actividad del olor, el cual es un indicador que se obtiene al dividir la concentración del compuesto en la bebida entre la mínima concentración en solución que permite detectar al compuesto por el olfato. (Semmelroch et al, 1995; Semmelroch y Grosch, 1996; Mayer et al, 1999; 2000; Ribeiro et al, 2009). Mientras más elevado sea este indicador, mayor relevancia juega el compuesto en el aroma. En el cuadro se nota la diversidad de compuestos químicos generados de los diferentes constituyentes del grano verde durante el tueste. También puede verse que en las diferentes clases de compuestos existen compuestos químicamente parecidos. Además, los compuestos están presentes en el orden de los mg, o menos, por kg de café tostado y su extracción con agua no es completa, de hecho, en tres de los compuestos es menor del 50 %. Por último debe decirse que el valor de la actividad del olor de los compuestos listados varía en dos órdenes de magnitud, lo que indica que algunos inciden en mayor grado en la percepción humana del aroma característico del café.

En los países consumidores de café se ha aplicado esta metodología, acoplada por lo general a un análisis de variables múltiples de la matriz de datos experimentales, para: a) diferenciar variedades de café, arábigo vs robusta, b) diferenciar cafés de una variedad pero de diferente origen, es decir del país productor, c) estudiar el efecto de la temperatura y tiempo de tueste en el aroma, y d) estudiar el efecto de la preparación de los diferentes tipos de bebida de café sobre el aroma.

Por ejemplo, Mondello et al (2005) emplearon la concentración de 42 compuestos aromáticos volátiles para diferenciar cafés arábigos de Brasil, El Salvador y Costa Rica de cafés robusta de India, Vietnam y Togo. Por otro lado, Mayer et al (1999) utilizaron 23 compuestos para diferenciar mezclas de arábigos de Colombia, Brasil, El Salvador, Kenia y Ecuador. En el Apéndice 2 se presentan los dendrogramas obtenidos por nosotros al analizar por agrupación jerárquica la matriz transformada de los datos experimentales de las referencias citadas. En los datos de Mondello et al (2005) se observa una primera división de dos grupos, los cafés arábigos de El Salvador, Costa Rica y Brasil, y los cafés robustas de India, Vietnam y Togo. En los datos de Mayer et al (1999) se observan tres grupos, Kenia, Brasil y Colombia; El Salvador por aparte, y las variedades Típica de Colombia y Caturra de Ecuador. Los grupos anteriores son diferentes entre sí, según la composición química del aroma. Los cafés integrantes en un grupo dado, por el contrario, son semejantes.

A continuación se presentarán y discutirán los resultados obtenidos con el análisis del aroma de muestras representativas de ocho cafés regionales de Guatemala.

Métodos

Metodología analítica

Se pesaron aproximadamente 0.5 g de cada una de las muestras de café tostado y molido según las especificaciones

de la Asociación Nacional del Café (ANACAFE) y contenidas en bolsa laminadas cerradas y debidamente identificadas en viales de 5 ml con tapón de rosca provisto de un septa PTFA/Silicona. La información detallada del origen de las muestras se encuentra en el Cuadro 1.

Cada vial se colocó en un calentador de bloque (*Talboys dry block heather*) regulado a 50 °C por 30 min. Para adsorber los aromas se empleó la fibra de extracción en fase sólida DVB/CAR/PDMS stableflex 2cm (Supelco) la cual está contenida en una jeringa que se inserta a través de la septa del vial y se expone durante 5 minutos. Antes de extraer la jeringa del vial se guardaba dentro de la aguja. El sistema se encuentra ilustrado en la Gráfica 1.

Para desorber los aromas captados en la fibra, se introdujo la jeringa en el puerto de inyección del cromatógrafo de gases, se expuso nuevamente la fibra durante tres minutos al flujo del gas, luego se extrajo la jeringa. Se utilizó un cromatógrafo de gases marca Agilent 6850, con detector de masas Agilent 5975C acoplado y provisto de una columna HP-5MS de 30 m de largo con 0.25 µm de diámetro interno. Las condiciones de trabajo fueron las siguientes: temperatura inicial de 40 °C por 1.5 min seguida de una rampa de temperatura de 2 °C /min hasta alcanzar los 100 °C. Un flujo constante de 1 mL/min de gas acarreador, la temperatura del inyector e interfase de 270 °C en modo de barrido (scan) para el detector de masas. En el cromatograma obtenido, se identificaron los compuestos haciendo una búsqueda en la base de datos NIST (versión 2.0d), seleccionando todos aquellos compuestos con una concordancia de 80 a 99% y los reportados en la literatura. Un chromatograma típico se muestra en la Gráfica 2.

Metodología empleada para analizar los datos experimentales

Primero, se realizó una exploración gráfica de la variación de los diferentes grupos químicos del aroma en las ocho muestras de cafés, empleando Sigma Plot® (Versión 10, Systat Software Inc.) y Stata® (Versión 9 Stata Corp). Segundo, la matriz de datos experimentales se transformó por medio del inverso del seno hiperbólico, empleando Excel® con el objeto de lograr un nivel de variancia similar en las celdas de la matriz. Tercero, con la matriz transformada se empleó Systat® (Versión 11 Systat Software Inc.) para identificar grupos similares por medio de una agrupación jerárquica con una unión simple, o sea la distancia entre los dos miembros que se encuentran más cerca, y una métrica Euclidiana. Finalmente, con la matriz transformada se empleó MVSP (Versión 3.1, Kovach Computing Services) para identificar grupos similares empleando la técnica de componentes principales, en la cual no se empleó rotación alguna de los ejes.

Resultados y discusión

Compuestos identificados en las muestras

En el Cuadro 2 se han agrupado los 18 componentes de acuerdo a su estructura química en el orden siguiente: 5 cetonas

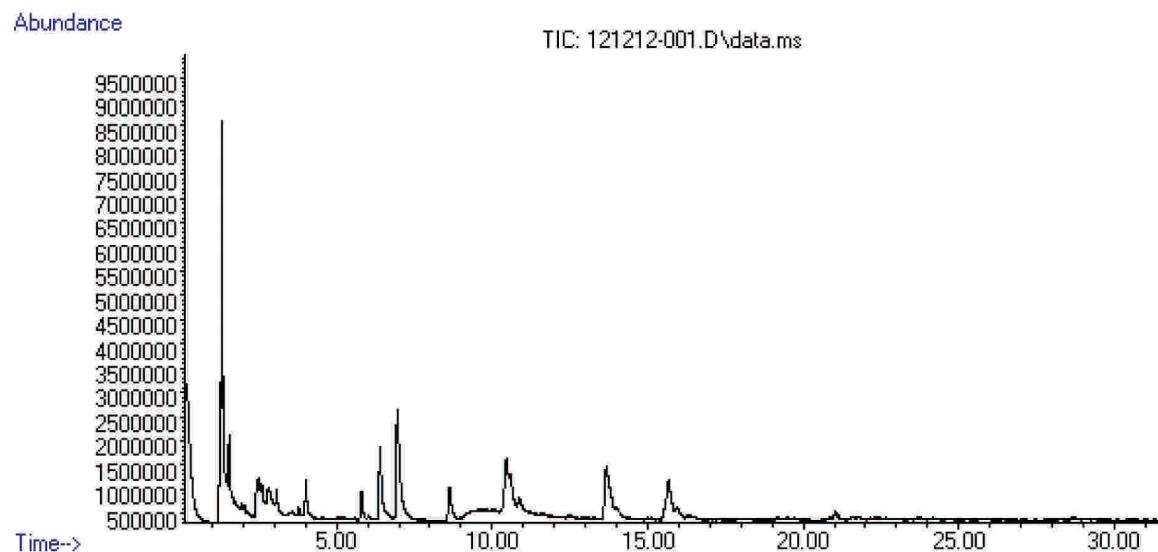
Cuadro 1. Características de origen de las muestras

Identificación en bolsa	Origen	Época de cosecha	Altitud m	Suelo	Influencia principal sobre el microclima	Temperatura promedio °C
Rainforest Cobán	Cobán	Diciembre-Marzo	1,300-1,500	Piedra caliza y arcilla	Océano Atlántico	15-20
Traditional Atitlán	Atitlán	Diciembre-Marzo	1,500-1,700	Volcánico	Lago grande en un cráter	20-23
Volcanic San Marcos	San Marcos	Diciembre-Marzo	1,400-1,800	Volcánico	Océano Pacífico	21-27
Antigua Coffee	Antigua	Enero-Marzo	1,500-1,700	Volcánico con piedra pómex	Valle encerrado	18-22
Frijanes Plateau	Frijanes	Diciembre-Febrero	1,400-1,800	Volcánico con piedra pómex	Planicies altas	12-26
Acatenango Valley	Acatenango	Diciembre-Marzo	1,300-2,000	Volcánico con piedra pómex	Volcanes Acatenango y Fuego	14-31
New Oriente	Nuevo Oriente	Diciembre-Marzo	1,300-1,700	Metamórfico y arcilloso	Océano Atlántico	18-25
Highland Huehue	Huehuetenango	Enero-Abril	1,500-2,000	Piedra caliza	Planicies de Tehuantepec	21-27

Identificación en bolsa	Precipitación anual mm	Humedad relativa %	Especie de sombra predominante	Tipo de sacado	Variedad
				Porte alto	Porte bajo
Rainforest Cobán	3,000-4,000	85-95	Inga	Secadora	Borbón y Maragogype
Traditional Atitlán	1,800-2,300	75-85	Gravilea e Inga	Sol	Borbón y Typica
Volcanic San Marcos	4,000-5,000	70-80	Inga	Sol y secadora	Borbón
Antigua Coffee	800-1,200	65	Gravilea	Sol	Borbón
Frijanes Plateau	1,500-3,000	70-90	Inga	Sol	Borbón
Acatenango Valley	1,200-1,800	70-80	Gravilea e Inga	Sol	Borbón
New Oriente	1,800-2,000	70-80	Inga	Sol y secadora	Borbón
Highland Huehue*	1,200-1,400	70-80	Inga	Sol y secadora	Borbón



Gráfica 1. Sistema para adsorber aromas de café de la fase gaseosa



Gráfica 2. Cromatograma de los compuestos del aroma del café

Cuadro 2. Compuestos identificados en las muestras

Compuesto	Sigla	Relevante en el aroma	Previamete reportado en el aroma
1-hidroxi-2-propanona	C1		
1-acetil-oxi-2-propanona	C2		
3-metil-2-butanona	C3		
4-metil-2-pantanona	C4		
2-metil-ciclopantanona	C5		
2-metil pirazina	P1		
2,5-dimetilpirazina	P2		
Trimetilpirazina	P3		
2-etil-3,5-dimetilpirazina	P4		
2,6-dietilpirazina	P5		
Piridina	Pr1		
4,6-dimetil pirimidina	Pr2		
5-metil-2-furancarboxaldehido	F1		
2-furanmethanol acetato	F2		
Furfural	F3		
Dihidro-2-metil-3(2H)-furanona	F4		
2-furanmetanol	F5		
1-(2-furanmetil)-1H-pirrol	F6		

(C1-C5), 5 pirazinas (P1-P5), 1 piridina y 1 derivado de la pirimidina (Pr1 y Pr2), y 6 furanos (F1-F6). Se han marcado con una celda negra los compuestos relevantes del aroma listados

en el Apéndice 1 y aquellos que previamente han sido identificados en el aroma del café por otros investigadores. Se observa que solo un compuesto relevante estuvo presente y que cuatro compuestos no habían sido citados con antelación. Lo que presupone que son característicos del aroma del café de Guatemala.

El Cuadro 3 muestra los datos experimentales de la cantidad del compuesto aromático en las muestras de café expresada como el porcentaje del área de cada compuesto en el chromatograma en relación al área total. Es de notar que varios compuestos están presentes solamente en algunas de las muestras (C3, C4, C5, P3, P4, P5, F6). En las muestras en donde no se detectaron estos compuestos se anotó el valor de 0.001.

Análisis de los datos experimentales

En las Gráficas 3-6 se ilustra, primero, la variación encontrada entre las muestras de cafés de los diferentes grupos de compuestos, es decir, cetonas, pirazinas, piridinas y furanos por medio de diagramas de dispersión en línea; segundo, se muestra también la distribución de los datos por medio de diagramas de caja. Esta exploración gráfica permite visualizar cuales de los compuestos variaron más entre los cafés muestreados y la presencia de puntos extremos en la distribución. Obviamente mientras más variación se observa en un compuesto, más útil será como un indicador de diferencias.

La Gráfica 3 muestra que el compuesto C1 tuvo una mayor variación, con un rango máximo de alrededor del 5%. Es notorio también que la ausencia del componente C5 en algunas muestras da origen a los puntos extremos que se muestran en el diagrama de cajas.

Cuadro 3. Datos experimentales expresados como % del área del cromatograma

Sigla	Acatenango	Antigua	Atitlán	Cobán	Frijanes	Huehuetenago	Nuevo Oriente	San Marcos
C1	5.835	1.549	5.758	4.824	6.567	2.301	2.923	5.446
C2	3.870	4.514	4.944	5.600	3.369	3.404	3.639	3.520
C3	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.986	0.641	0.001
C4	0.001	1.275	1.340	0.001	0.001	1.153	0.875	0.001
C5	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.332	0.001
P1	3.033	5.582	5.212	3.328	5.064	5.064	6.074	4.702
P2	3.531	5.314	4.677	2.209	4.116	4.116	5.238	5.243
P3	0.837	0.968	0.283	0.001	0.001	1.007	1.115	0.761
P4	0.873	0.716	0.001	0.414	0.001	0.675	0.352	0.559
P5	0.294	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.132	0.001
Pr1	2.614	4.393	2.858	1.993	2.123	2.027	1.928	1.538
Pr2	1.400	4.432	3.993	2.282	2.537	4.522	4.243	1.101
F1	7.937	8.182	3.307	13.889	8.885	8.751	9.674	9.329
F2	5.660	6.795	5.591	6.606	7.166	5.592	6.963	7.630
F3	8.229	8.618	8.023	12.288	12.180	11.823	12.488	11.822
F4	1.124	2.124	1.944	0.634	1.771	1.834	1.485	1.488
F5	13.765	4.602	1.988	0.008	4.999	2.987	5.659	4.880
F6	0.393	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.034	0.001

En la Gráfica 4 se observa que los componentes P1 y P2 mostraron la mayor variación, siendo la tendencia similar entre los dos, con un rango máximo de alrededor del 4%.

La Gráfica 5 muestra la variación de Pr1 y Pr2 y se observa la presencia de puntos extremos superiores en la distribución de Pr1.

En la Gráfica 6 se observa que los compuestos F5 y F1 tuvieron la mayor variación, y en ambos se observa la presencia de puntos extremos.

En la Gráfica 7 se presenta el dendrograma obtenido al analizar por agrupación jerárquica la matriz transformada de los datos experimentales. La interpretación del diagrama es la siguiente: a) una primera división separa el aroma del café de Cobán (CO) del resto, b) una segunda división, separa el aroma del café de Atitlán (AT) del resto, c) una tercera división aglutina en un grupo el aroma de los cafés de Antigua (AN), Huehuetenango (HUE) y Nuevo Oriente (NO); y en otro grupo, el aroma de los cafés de Frijanes (FR), San Marcos (SM) y Acatenango (AC), d) una última división, con mayor incertidumbre en el resultado, separa Antigua de Huehuetenango y Nuevo Oriente, y separa Acatenango de Frijanes y San Marcos.

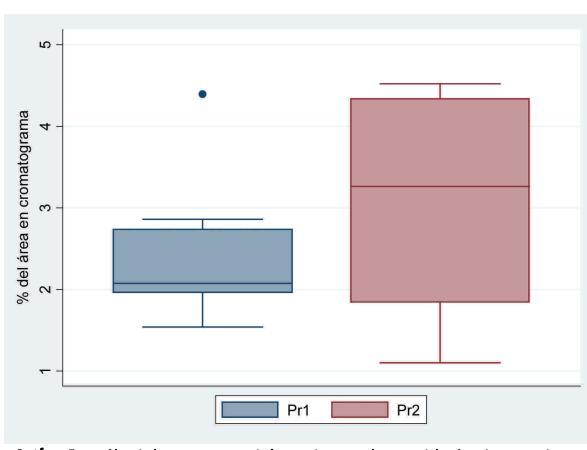
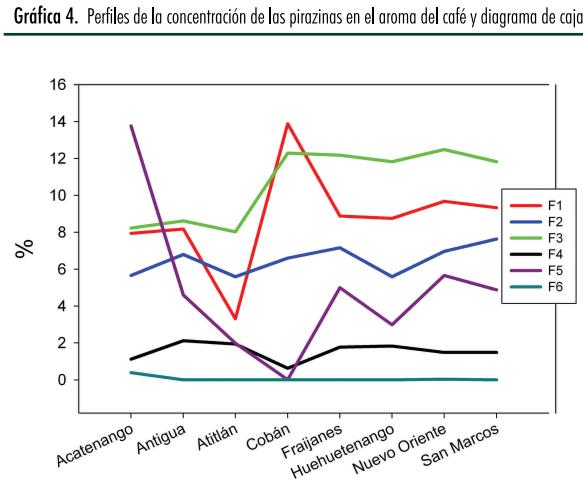
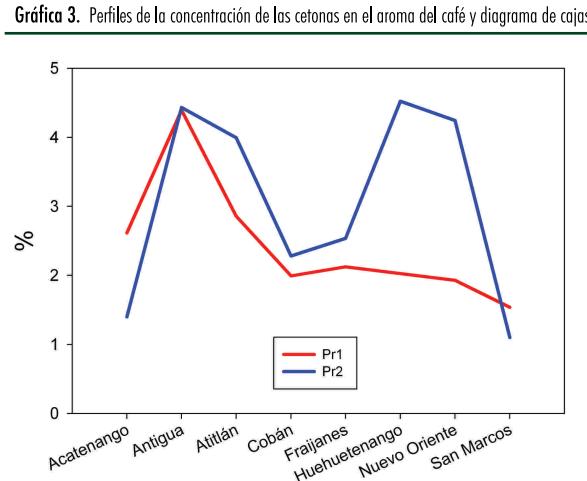
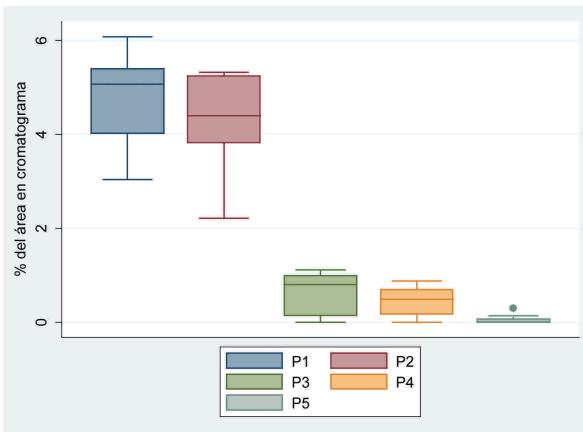
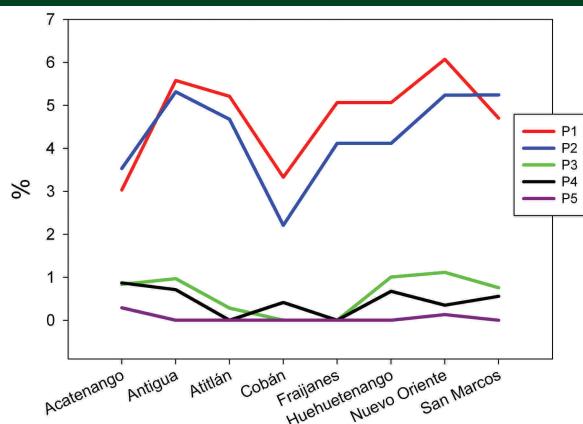
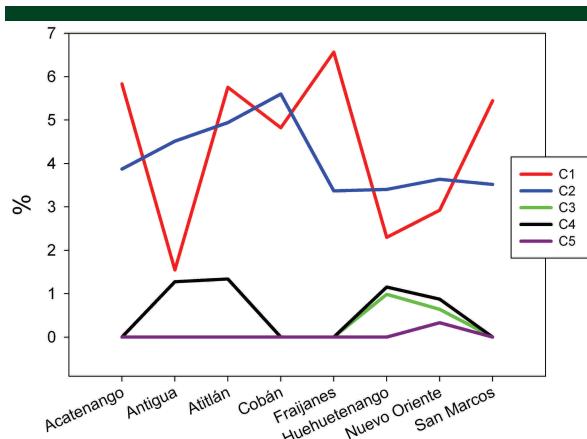
En la Gráfica 8 se presenta el diagrama de la matriz transformada de los datos experimentales proyectada en los ejes de los dos primeros componentes principales. La interpretación del diagrama es la siguiente: a) el primer componente representa el 41 % de la variación en los datos y separa el aroma de las muestras de Cobán y Atitlán (lado izquierdo mirando la gráfica)

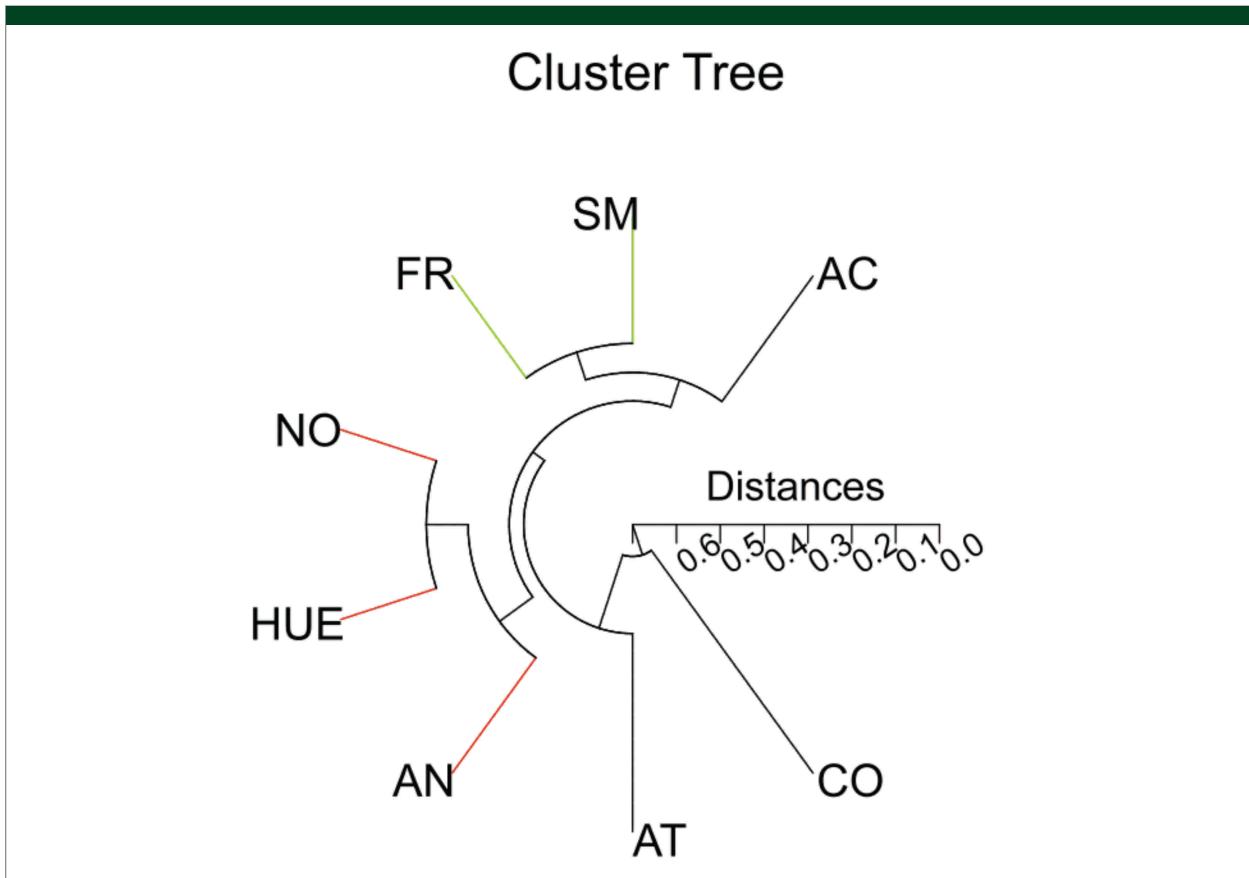
del resto (lado derecho mirando la gráfica) y b) el segundo componente representa el 32 % de la variación en los datos y separa el aroma de las muestras de Atitlán, Antigua, Huehuetenango y Nuevo Oriente (espacio inferior mirando la gráfica) del resto (espacio superior mirando la gráfica). Ambos componentes emplean un 73% de la variación original y las muestras quedan agrupadas en los cuatro cuadrantes del diagrama. La agrupación anterior coincide con la mostrada en la Gráfica 7. Los compuestos aromáticos que mayor influyeron en el primer componente fueron: F5, P3, P2, F4, C1, C2, C4 y P4. Los que influyeron en el segundo componente fueron: C4, Pr2, C1, F5, C3, P1, F4, Pr1, P3, y F1.

Los resultados de agrupación obtenidos por ambas técnicas de análisis de variables múltiples fueron similares y en la Gráfica 9 se han colocado en un mapa los cuatro diferentes grupos obtenidos: Cobán y Atitlán diferentes en su aroma al resto, el grupo de Antigua, Huehuetenango y Nuevo Oriente formando un triángulo del Altiplano y el grupo de Frijanes, Acatenango y San Marcos de la cadena volcánica en Costa Sur.

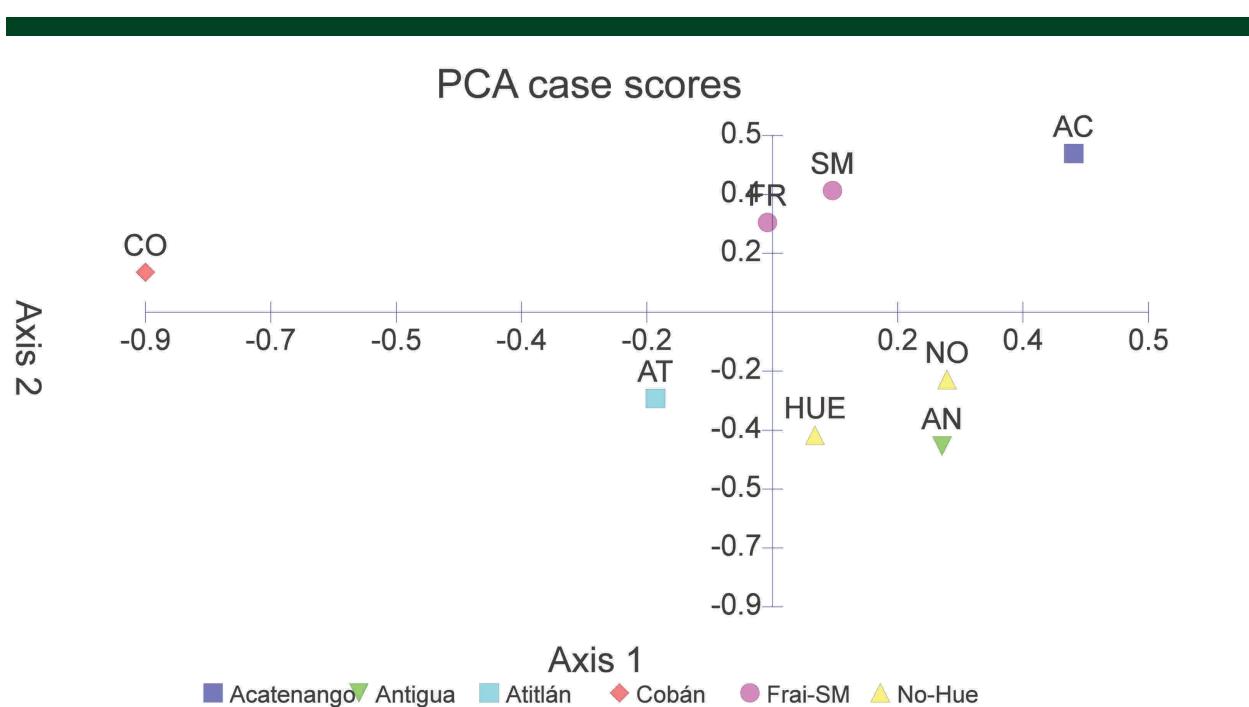
Conclusiones

El trabajo experimental desarrollado muestra que es posible diferenciar el café producido en los cafés regionales en base a un análisis químico de compuestos orgánicos volátiles que constituyen su aroma. Se identificaron 18 compuestos: 5 cetonas,

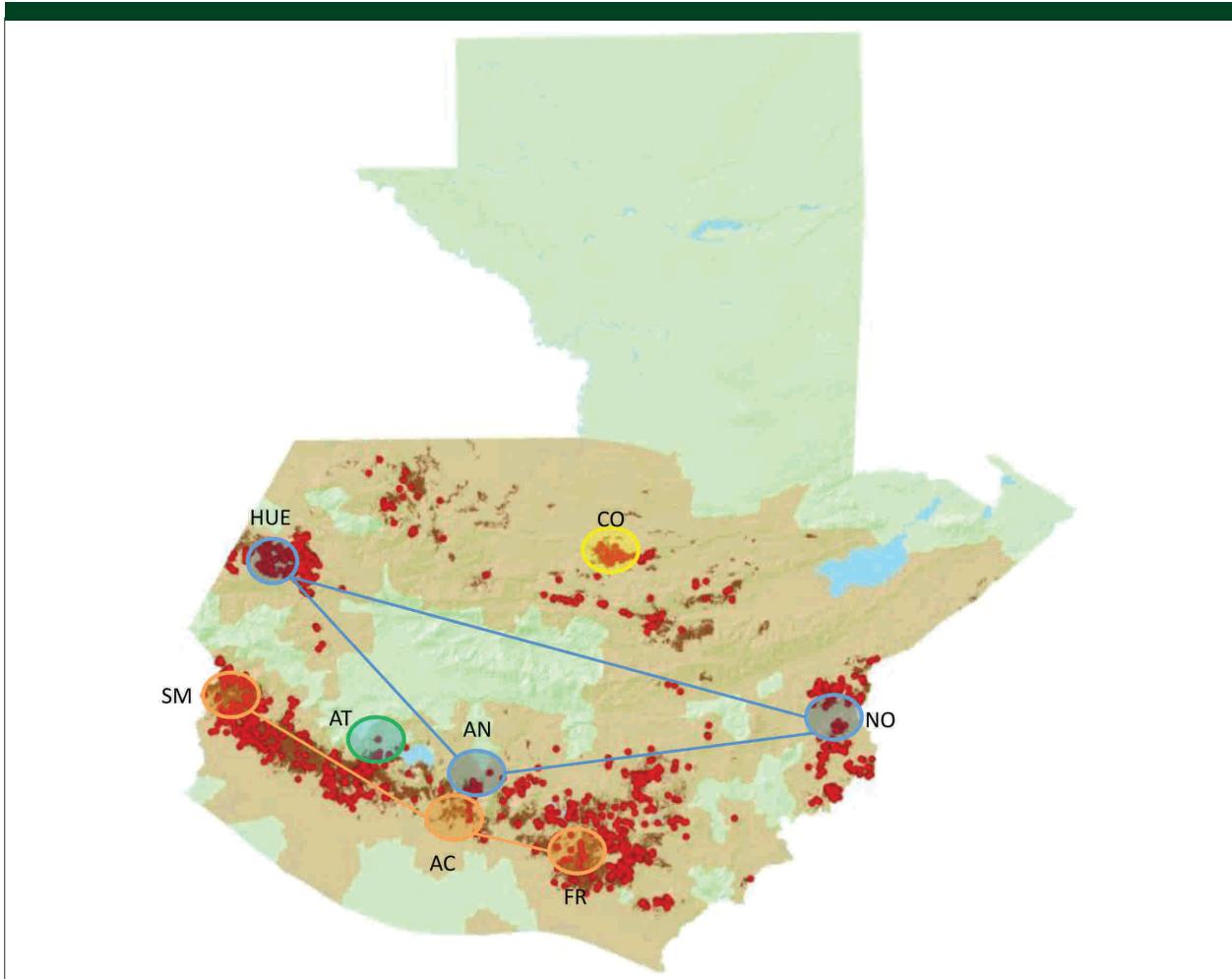




Gráfica 7. Dendrograma obtenido al analizar por agrupación jerárquica la matriz transformada de los datos experimentales



Gráfica 8. Diagrama de la matriz transformada de los datos experimentales proyectada en los ejes de los dos primeros componentes principales (Axis 1 es PC1 y Axis 2 es PC2)



Gráfica 9. Aromagrama del café por regiones productoras (Mapa cortesía de Anacafé)

5 pirazinas, 2 piridinas y 6 furanos. Empleando dos técnicas diferentes de análisis de variables múltiples se identificaron grupos diferentes en su aroma de la manera siguientes: Cobán por separado, Atitlán por separado, el grupo formado por Antigua, Huehuetenango y Nuevo Oriente, y el grupo formado por Fraijanes, Acatenango y San Marcos. Dicha agrupación podría representar la primera versión de un aromagrama del café producido en Guatemala.

Los compuestos de mayor influencia en la agrupación de las muestras fueron: la 1-hidroxi-2-propanona (C1), la 1-acetiloxi-2-propanona (C2), la 3-metil-2-butanona (C3), la 4-metil-2-pantanona (C4), la 2-metil pirazina (P1), la 2,5-dimetilpirazina (P2), la piridina (Pr1), la 4,6-dimetil pirimidina (Pr2), el 5-metil-2-furancarboxaldehido (F1), la dihidro-2-metil-3(2H)-furanona (F4) y el 2-furanmetanol (F5).

Los resultados presentes pueden ser considerados como preliminares, por ser el resultado de un muestreo inicial y reducido de muestras representativas de las zonas regionales. Por lo tanto, es recomendable extender el análisis con un mayor número de muestras por región y durante varios años de producción,

incluyendo variantes en el proceso del beneficiado húmedo, con el objeto de consolidar o modificar las diferencias encontradas. Debe enfatizarse que diferencias en la composición del aroma no necesariamente significa una mejor o peor apreciación por parte del consumidor, es decir, no está relacionada con la calidad de la bebida. La causalidad entre ambos factores debe determinarse por medio de análisis de preferencia de carácter organoléptico.

Agradecimiento

Se desea agradecer al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONCYT) por el financiamiento parcial del proyecto FODECYT 039-2011 administrado por la Secretaría Nacional de Ciencia y Tecnología (SENACYT). También se aprecia la colaboración del Centro de investigaciones de Café, ANACAFÉ, por medio de su director, Dr. Francisco Anzuelo.

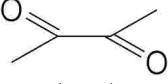
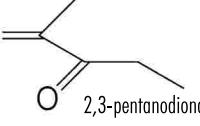
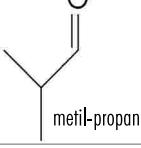
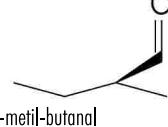
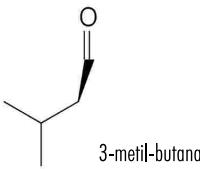
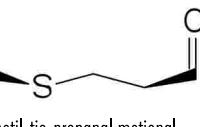
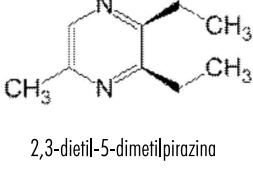
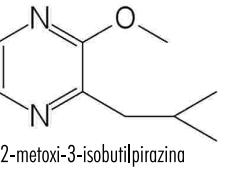
Bibliografía

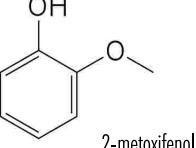
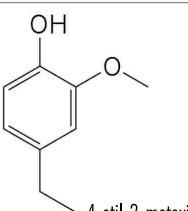
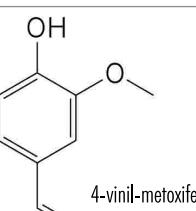
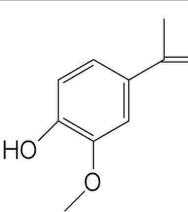
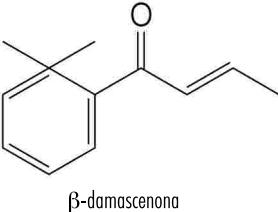
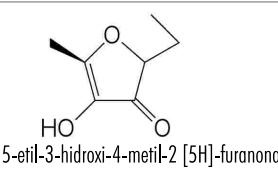
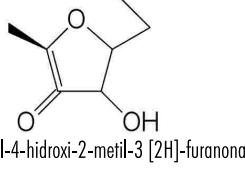
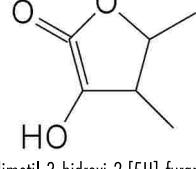
- Buffo RA, C Cardelli-Freire (2004) Coffee flavour: an overview Flavour Fragr J **19**: 99-104
- Farah A, MC Monteiro, V Calado, AS Franca, LC Trugo (2006) Correlation between cup quality and chemical attributes of Brazilian coffee Food Chem **98**: 373–380
- Mayer F, M Czerny, W Grosch (1999) Influence of provenance and roast degree on the composition of potent odorants in Arabica coffees Eur Food Res Technol **209**: 242-250
- Mayer F, M Czerny, W Grosch (2000) Sensory study of the character impact aroma compounds of a coffee beverage Eur Food Res Technol **211**: 272-276
- Mondello L, R Costa, PQ Tranchida, P. Dugo, ML Presti, S Festa, A Fazio, G Dugo (2005) Reliable characterization of coffee bean aroma profiles by automated headspace solid phase microextraction-gas chromatography-mass spectrometry with the support of a dual-filter mass spectra library J. Sep. Sci. **28**: 1101–1109
- Ribeiro JS, F Augusto, T JG Salva, RA Thomaziello, MMC Ferreira (2009) Prediction of sensory properties of Brazilian Arabica roasted coffees by headspace solid phase microextraction-gas chromatography and partial least squares Anal Chim Acta **634**: 172–179
- Semmelroch P, W Grosch (1996) Studies on character impact odorants of coffee brews J Agric Food Chem **44**: 537-543
- Semmelroch, P, G Laskawy, I Blank, W Grosch (1995) Determination of potent odourants in roasted coffee by stable isotope dilution assays Flavour Fragr J **10**: 1-7

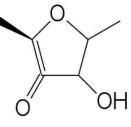
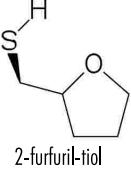
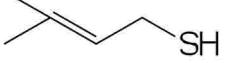
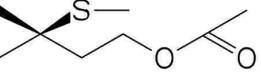


(de izquierda a derecha)
Ana Luisa Mendizábal
mendiza@uvg.edu.gt
Carmen Samayoa
carmensamayoa@gmail.com
Carlos Rolz
carlosrolz@uvg.edu.gt

Apéndice 1
Constituyentes relevantes del aroma del café

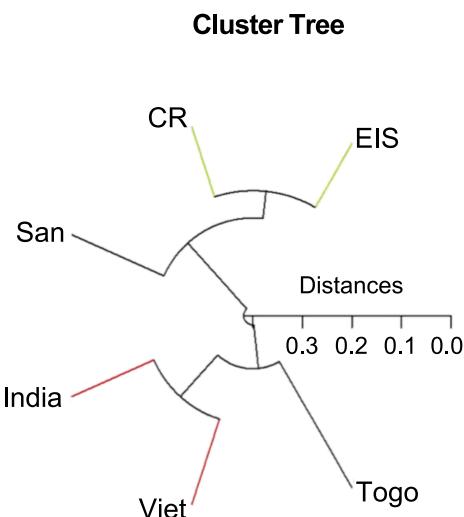
Compuesto	Mecanismos de generación	Rango de concentración mg / kg de café	Rendimiento de la extracción %	Valor de la actividad del olor
 2,3-butanodiona	Pirolisis de carbohidratos	10.9 – 59.5	79	183
 2,3-pentanodiona	Pirolisis de carbohidratos	8.4 – 42.2	85	52
 metil-propanal	Degrado oxidante de proteínas y aminoácidos	9.2 – 32.6	59	1140
 2-metil-butanal	Degrado oxidante de proteínas y aminoácidos	12.3 – 21.5	62	500
 3-metil-butanal	Degrado oxidante de proteínas y aminoácidos	10.0 – 51.8	62	1570
 metil-tio-propanal metional	Degrado oxidante de proteínas y aminoácidos	0.074 – 0.346	74	29
Compuesto	Mecanismos de generación	Rango de concentración mg / kg de café	Rendimiento de la extracción %	Valor de la actividad del olor
 2-etil-3,5-dimethylpirazina	Reacciones de Maillard y Strecker de carbohidratos, proteínas y aminoácidos	0.185 – 0.543	79	82
 2,3-diethyl-5-dimethylpirazina	Reacciones de Maillard y Strecker de carbohidratos, proteínas y aminoácidos	0.058 – 0.145	67	36
 2-metoxi-3-isobutylpirazina	Reacciones de Maillard y Strecker de carbohidratos, proteínas y aminoácidos	0.036 – 0.218	23	200

 2-metoxifenol	Degradación de ácidos clorogénicos	16.9 – 1.67	65	490
 4-etil-2-metoxifenol	Degradación de ácidos clorogénicos	0.63 – 9.30	49	13
 4-vinil-metoxifenol	Degradación de ácidos clorogénicos	26.50 – 56.90	30	270
 3-metoxi-4-hidroxi-benzaldehido	Degradación de ácidos clorogénicos	2.52 – 3.65	95	30
Compuesto	Mecanismos de generación	Rango de concentración mg / kg de café	Rendimiento de la extracción %	Valor de la actividad del olor
 β -damascenona	Transformación de carotenoides	0.220 – 0.308	11	1730
 5-etil-3-hidroxi-4-metil-2 [5H]-furanona	Caramelización de carbohidratos	0.104 – 0.091	-	1
 5-etil-4-hidroxi-2-metil-3 [2H]-furanona	Caramelización de carbohidratos		-	-
 4,5-dimetil-3-hidroxi-2 [5H]-furanona	Caramelización de carbohidratos	1.10 – 2.29	78	257

 2,5-dimethyl-4-hidroxi-3 [2H]-furanona	Caramelización de carbohidratos	41.5 – 134.0	95	450
Compuesto	Mecanismos de generación	Rango de concentración mg / kg de café	Rendimiento de la extracción %	Valor de la actividad del olor
 metano-thiol	Reacciones de Maillard y Strecker de carbohidratos, proteínas y aminoácidos	2.4 – 6.4	72	1050
 2-furfuryl-thiol	Reacciones de Maillard y Strecker de carbohidratos, proteínas y aminoácidos	0.79 – 2.91	19	-
 3-metil-2-butene-1-thiol	Reacciones de Maillard y Strecker de carbohidratos, proteínas y aminoácidos	0.007 – 0.028	85	1140
 3-mercaptop-3-methylbutylformato	Reacciones de Maillard y Strecker de carbohidratos, proteínas y aminoácidos	0.037 – 0.304	81	500

Apéndice 2

Dendrograma en coordenadas polares de 42 compuestos orgánicos volátiles de café arábigo (San, CR, EIS) y café robusta (India, Viet, Togo) (Mondello et al., 2005)



Dendrograma en coordenadas polares de 23 compuestos orgánicos volátiles de mezclas de café arábigo (Ken, Col, Bra, El) y variedades arábicas Típica de Colombia (Tip) y Caturras de Ecuador, de Quevedo (Cat Q) y Piñas (CatP) (Mayer et al., 2005)

