

ESTUDIO DE LA CONTRIBUCIÓN DE LOS COMPUESTOS VOLÁTILES AL AROMA DE LA CERVEZA

Isabel Thorndike* y Jorge A. Pino

Instituto de Investigaciones para la Industria Alimentaria. Carretera al Guatao, km 3 1/2, La Habana.

C.P. 19 200, Cuba.

E-mail: thorndike@iiaa.edu.cu

RESUMEN

Se analizó la contribución de compuestos volátiles en 11 cervezas comerciales a partir de los valores de actividad de olor para cada compuesto identificado. La mayor contribución al aroma se atribuyó a la (E)- β -damascenona. Otros contribuyentes importantes fueron el isopentanol, 2-metilbutanol, acetato de isopentilo, mirceno, hexanoato de etilo, acetato de hexilo, limoneno, linalol, nonanal, 2-feniletanol, octanoato de etilo, decanal y undecanal. El butanoato de etilo, acetato de 2-metilbutilo, 1-octanol, benzoato de etilo, acetato de 2-feniletilo, 1-decanol, nonanoato de etilo, decanoato de etilo, α -humuleno, geranil acetona y 1-tridecanol contribuyeron pero en menor escala. El nonanal, decanal, undecanal, 1-octanol, 1-decanol, 1-tridecanol, limoneno y benzoato de etilo se reportan, por primera vez, como posibles contribuyentes al aroma de la cerveza.

Palabras clave: cerveza, aroma, compuestos volátiles.

ABSTRACT

Contribution of volatile compounds to the beer flavor

A contribution of volatile compounds to the flavor of 11 commercial beers was evaluated using odor activity values. The higher contribution to the flavor was attributed to the (E)- β -damascenone. Other important compounds were isopentanol, 2-methylbutanol, isopentyl acetate, myrcene, ethyl hexanoate, hexyl acetate, limonene, linalool, nonanal, 2-phenylethanol, ethyl octanoate, decanal and undecanal. Ethyl butanoate, 2-methylbutyl acetate, 1-octanol, ethyl benzoate, 2-phenylethyl acetate, 1-decanol, ethyl nonanoate, ethyl decanoate, α -humulene, geranyl acetone and 1-tridecanol also contributed, but in smaller scale. Nonanal, decanal, undecanal, 1-octanol, 1-decanol, 1-tridecanol, limonene and ethyl benzoate as possible active components to the beer flavor for the first time.

Keywords: beer, aroma, volatiles compounds.

INTRODUCCIÓN

El aroma de la cerveza es una combinación de olores que constituye el factor crucial en el consumo y aceptación de la misma. Se ha discutido la influencia de la composición química de los aromas de la cerveza en las características organolépticas (1). En dependencia del tipo de cerveza será el "grupo de olores" encontrados, logrando una gran diversificación en los roles de la percepción de aromas: aromas de alcoholes, aromas de caramelo, carbonatación, aromas de frutas y ésteres, así como olor del sulfuro de dimetilo (2).

La combinación entre las moléculas volátiles responsables del aroma y las sustancias responsables del sabor, constituyen el flavor del alimento. En esta sensación compleja, la contribución de los compuestos volátiles es mayor y es por ello, que en la mayoría de los trabajos se emplean los umbrales de olor (3,4). Se han

**Isabel Thorndike Brossard:* Licenciada en Química (Universidad de La Habana, 1999). Investigadora agregada, pertenece al Departamento de Bebidas de la Vicedirección de Bebidas. Desarrolla técnicas de análisis de cervezas y bebidas de forma general.

desarrollados procedimientos para evaluar la importancia sensorial de los compuestos volátiles al flavor de los alimentos. Estos son el análisis CHARM, el análisis por dilución del extracto de aroma (AEDA, por sus siglas en inglés) y el OSME. Estas tres metodologías evalúan mediante olfateo a la salida de la columna del GC de una serie de diluciones del extracto de aroma original (5-8). Desde la introducción del concepto de VAO, numerosas aplicaciones en diferentes alimentos han sido reportadas con buenos resultados (9-14).

El objetivo del presente trabajo fue determinar la contribución de los compuestos volátiles en distintas cervezas de cervezas comerciales.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para el estudio se evaluaron cuatro cervezas nacionales y siete extranjeras, todas del tipo lager (dos muestras en envase de aluminio por cada marca): Bucanero, Cacique, Cristal y Mayabe (cubanas), Club Colombia, Águila, Póker y Pilsen (colombianas), Sol y Superior (mexicanas) y la Panamá (panameña).

El aislamiento de los compuestos volátiles se realizó por microextracción en fase sólida del espacio de cabeza, según lo reportado anteriormente (15).

El análisis se realizó en un cromatógrafo de gases con detector de ionización por llama de hidrógeno Konik 4000A HRGC con una columna DB-5 (30 m x 0,25 mm x 0,25 μm). Las temperaturas del inyector y detector fueron de 250 °C. Se utilizó un inserto de 0,75 mm en el inyector del equipo para favorecer la desorción rápida de los analitos. El horno se programó desde 50 °C por 2 min e incrementó hasta 250 °C a 4 °C/min y sostenido por 8 min. El gas portador empleado fue hidrógeno con flujo de 1 mL/min. Los índices de retención cromatográficos de los compuestos volátiles se calcularon a partir de una serie homóloga de n-parafinas (C₈-C₂₄).

Para la identificación se utilizó un equipo Shimadzu GCMS QP-5000 con una columna XTI-5 (30 m x 0,25 mm x 0,25 μm). El horno se programó de forma similar a GC-FID. Las temperaturas del inyector y la interfase fueron 250 °C. El gas portador fue helio con flujo de

1 mL/min. Los parámetros de adquisición del detector de masas fueron por ionización electrónica a 70 eV y con un rango de m/z de 35 a 45 Dalton.

La identificación de los compuestos volátiles se efectuó por comparación de sus espectros de masas con los reportados en las bases de datos comerciales NIST, WILEY y ADAMS, así como en la base propia FLAVORLIB. Además, cuando fue posible, se comparó para cada compuesto su índice de Kovats con los obtenidos de sustancias patrones.

La cuantificación de los compuestos para el desarrollo y optimización del método analítico se realizó mediante la medición de las áreas de los picos cromatográficos generados por el detector de ionización por llama de hidrógeno. Para las determinaciones de concentraciones absolutas se empleó el método de estándar interno. Se utilizaron 50 μL de n-butanol como estándar interno (0,02 g en 10 mL de etanol absoluto). En los cálculos se asumieron factores de respuesta unitarios para todos los componentes.

La contribución al aroma de la cerveza se realizó a partir del cálculo de los valores de actividad de olor para cada compuesto identificado: Valor de actividad de olor (VAO) = C_x/UO_x

Donde: C_x: concentración de la sustancia x

UO_x: umbral olfativo de la sustancia x.

Si la concentración de la sustancia (C_x) es mayor o igual que la concentración umbral (UO_x) entonces VAO ≤ 1 y la sustancia contribuye sensorialmente al aroma del alimento.

De esta manera, si el VAO del alimento es mayor que la sumatoria del VAO de los constituyentes, existe sinergismo, de lo contrario habrá discrepancia o existen compuestos que sus VAO no fueron determinados e influyen en el aroma del alimento. Los umbrales de detección olfativos en solución acuosa se tomaron de la base de datos del Dpto. de Aromas del IIIA.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El contenido total de compuestos volátiles en las cervezas evaluadas estuvo en el rango de 135 a 258 mg/L, el valor mínimo correspondiente a la marca Águila (colombiana) y el máximo a la marca Panamá (panameña). Las cervezas nacionales evaluadas tuvieron, en general, concentraciones altas del total de compuestos volátiles. La Tabla 1 muestra que se identificaron un total de 80 compuestos de diferente naturaleza química. El mayor número de compuestos identificados y la mayor concentración correspondió a la familia de ésteres (16), los cuales, en general, son considerados contribuyentes importantes del aroma de la cerveza (6,14). La cerveza Panamá presentó el mayor contenido de ésteres. Se identificaron un total de nueve alcoholes, donde el mayor contenido total correspondió a la cerveza Panamá y la Águila la de menor concentración con respecto al resto. Los tres ácidos identificados han sido reportados como sensorialmente importantes en la cerveza (16,17), todos con olores desagradables. Los alcanos y alquenos fueron el segundo grupo más numeroso de compuestos identificados (14). Los compuestos terpénicos constituyeron también un grupo nutrido de 12 componentes. Estos tienen su origen en el lúpulo empleado para aromatizar la cerveza (18).

Se identificaron cuatro compuestos carbonílicos, donde se destaca la (E)- β -damascenona, considerado uno de los compuestos más importantes en el aroma típico de la cerveza. Los tres compuestos aromáticos, dos furánicos y cinco de naturaleza química variada, no presentaron aporte al aroma de la cerveza (16).

Con el fin de correlacionar los datos cuantitativos con la contribución al aroma de los compuestos identificados, se emplearon los umbrales de detección de olor en agua, aunque estos son seguramente diferentes a los de la cerveza (19). No existe una matriz apropiada para poder determinarlos en un medio similar a la cerveza, que simule la interacción de las sustancias odoríferas con los componentes no volátiles presentes en el producto. La Tabla 2 presenta los VAO calculados a partir de los umbrales de olor (UO) informados en la literatura (21). De los 80 compuestos identificados, a 49 se les pudo calcular el VAO por contar con

los umbrales de olor. Solo 26 de ellos se encontraron en concentraciones superiores a sus umbrales olfativos en alguna de las cervezas (VAO>1). Los mayores VAO fueron encontrados para la (E)- β -damascenona (223 a 423), lo que la hace el principal contribuyente al aroma de todas las cervezas evaluadas. Resultados similares fueron reportados en estudios previos (18,21,22).

Otros constituyentes con VAO relativamente altos (10 a 100) fueron el isopentanol, 2-metilbutanol, acetato de isopentilo, mirceno, hexanoato de etilo, acetato de hexilo, limoneno, linalol, nonanal, 2-feniletanol, octanoato de etilo, decanal y undecanal. Con VAO entre 1 y 10 se encontraron al butanoato de etilo, acetato de 2-metilbutilo, 1-octanol, benzoato de etilo, acetato de 2-feniletilo, 1-decanol, nonanoato de etilo, decanoato de etilo, α -humuleno, geranil acetona y 1-tridecanol, los que también deben contribuir al aroma, aunque en una menor escala. Componentes como el isopentanol, 2-metilbutanol, acetato de isopentilo, mirceno, hexanoato de etilo, acetato de hexilo, linalol, 2-feniletanol, α -humuleno, geranil acetona, octanoato de etilo y decanoato de etilo han sido reportados en estudios previos como contribuyentes al aroma de la cerveza (16,17). Sin embargo, otros constituyentes como el nonanal, decanal, undecanal, 1-octanol, 1-decanol, 1-tridecanol, limoneno y benzoato de etilo se reportan, por primera vez, como posibles contribuyentes al aroma de la cerveza.

CONCLUSIONES

La mayor contribución al aroma de las cervezas evaluadas estuvo dado por la (E)- β -damascenona. Otros contribuyentes importantes fueron el isopentanol, 2-metilbutanol, acetato de isopentilo, mirceno, hexanoato de etilo, acetato de hexilo, limoneno, linalol, nonanal, 2-feniletanol, octanoato de etilo, decanal y undecanal. El butanoato de etilo, acetato de 2-metilbutilo, 1-octanol, benzoato de etilo, acetato de 2-feniletilo, 1-decanol, nonanoato de etilo, decanoato de etilo, α -humuleno, geranil acetona y 1-tridecanol también deben contribuir al aroma, aunque en menor escala. De ellos, el nonanal, decanal, undecanal, 1-octanol, 1-decanol, 1-tridecanol, limoneno y benzoato de etilo se reportan, por primera vez, como posibles contribuyentes al aroma de la cerveza.

Tabla 1. Compuestos volátiles de las cervezas comerciales evaluadas (concentraciones en mg/L)

Compuesto	IK	Bucanero	Mayabe	Cristal	Cacique	Panamá	Poker	Aguila	Pilsen	Club Colombia	Sol	Superior
1-propanol	568	tr	tr	tr	nd	tr	tr	tr	tr	tr	tr	tr
2-metilfurano	602	tr	tr	nd	nd	tr	tr	nd	tr	nd	tr	nd
acetato de etilo	605	24,85	11,16	26,91	15,62	20,77	11,96	13,66	13,93	12,90	15,48	27,31
isobutanol	625	10,98	14,01	14,41	11,08	16,00	8,17	1,22	1,51	1,35	12,34	17,77
2,5-dimetilfurano	701	tr	0,60	2,05	3,73	nd	tr	tr	tr	nd	nd	nd
propanoato de etilo	709	2,33	3,02	2,71	3,73	5,23	2,65	5,01	4,18	3,25	3,69	tr
acetato de propilo	716	tr	nd	nd	tr	tr	tr	tr	tr	tr	tr	tr
1,1-dietoxietano	726	1,41	2,15	3,09	nd	4,37	2,78	3,21	1,94	2,37	3,35	2,61
isopentanol	741	21,22	19,15	23,02	20,10	31,65	16,65	17,58	20,78	17,63	23,01	20,23
2-metil-1-butanol	742	14,21	12,77	15,34	13,40	13,56	11,10	11,72	13,85	17,63	15,34	13,49
isobutanoato de etilo	751	tr	nd	tr	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
acetato de isobutilo	768	0,20	0,28	0,16	0,42	0,30	0,10	0,14	0,26	0,12	0,17	0,17
1-octeno	792	nd	tr	nd	nd	nd	tr	nd	0,04	nd	nd	nd
octano	800	nd	tr	nd	nd	nd	tr	nd	tr	nd	nd	nd
butanoato de etilo	805	2,24	2,21	1,82	1,56	3,36	2,20	2,20	3,39	1,56	2,30	1,63
isopentanoato de etilo	853	tr	tr	tr	nd	tr	tr	nd	nd	nd	nd	nd
etilbenceno	858	0,50	0,51	0,54	0,50	0,62	0,49	0,37	0,69	0,45	0,81	0,44
p-xileno	866	2,20	2,27	2,19	2,52	2,97	2,20	1,85	3,28	2,25	2,38	2,39
acetato de isopentilo	881	17,93	18,64	19,76	20,46	24,79	11,65	15,23	22,92	19,83	21,50	18,45
acetato de 2-metilbutilo	885	2,97	tr	tr	tr	14,18	7,01	6,85	0,88	tr	tr	tr
nonano	900	0,93	1,02	0,78	1,00	2,85	1,64	0,68	1,20	0,90	0,82	0,91
pentanoato de etilo	904	0,15	0,02	0,08	0,11	tr	tr	0,07	0,13	0,12	0,12	0,21
isobutanoato de isobutilo	913	0,24	0,24	0,22	0,20	0,69	0,39	0,15	0,29	0,21	0,21	0,18
tiglato de etilo	953	tr	tr	tr	tr	tr	nd	nd	0,02	nd	tr	0,04
3-metilnonano	971	0,09	0,05	0,06	0,05	0,09	0,07	0,03	0,07	0,06	0,07	0,05
1-deceno	989	0,36	0,40	0,32	0,31	0,44	0,27	0,18	0,57	0,32	0,32	0,28
mirceno	991	0,37	nd	nd	0,22	0,25	tr	0,04	tr	0,15	nd	0,17
1,3,5-trimetilbenceno	995	tr	0,64	tr	tr	tr	tr	tr	tr	tr	tr	tr

Tabla 1. (cont.)

Compuesto	IK	Bucanero	Mayabe	Cristal	Cacique	Panamá	Poker	Aguila	Pilsen	Club Colombia	Sol	Superior
hexanoato de etilo	998	14,34	8,41	9,54	12,50	20,11	11,53	11,37	19,25	18,13	8,33	12,55
decano	1000	0,87	0,64	0,53	0,70	0,88	0,56	0,42	0,98	0,81	0,57	0,62
ácido hexanoico	1003	tr	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
(E)-3-hexenoato de etilo	1006	tr	tr	tr	tr	tr	tr	tr	nd	nd	tr	nd
acetato de hexilo	1009	0,50	0,30	0,39	0,38	0,77	0,26	0,36	0,58	0,73	0,39	0,49
p-cimeno	1025	tr	tr	tr	tr	tr	tr	tr	0,02	0,23	tr	tr
limoneno	1028	0,06	0,08	0,09	0,12	0,09	0,06	0,06	0,12	0,06	tr	0,10
2-etil-1-hexanol	1032	0,82	0,47	0,48	0,28	1,63	0,32	0,88	0,77	0,98	0,47	0,49
dihidro tagetona	1053	0,06	0,04	0,09	0,28	0,07	nd	nd	nd	0,10	nd	tr
5-metilhexanoato de etilo	1059	nd	nd	0,08	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
1-octanol	1068	0,39	0,46	0,56	0,22	0,47	0,51	0,38	0,48	0,10	0,25	0,27
linalol	1095	0,84	0,42	0,59	0,20	1,43	0,38	0,36	0,27	1,24	0,51	0,67
heptanoato de etilo	1098	0,51	0,14	0,22	0,24	0,53	0,13	0,11	0,21	0,24	0,09	0,32
undecano	1100	0,28	0,19	0,36	0,23	0,26	0,19	0,15	0,37	0,39	0,16	0,24
nonanal	1102	0,35	0,42	0,25	0,46	0,36	0,38	0,36	0,63	0,82	0,34	0,67
2-feniletanol	1107	11,04	14,00	12,52	16,05	16,12	11,78	9,39	13,53	9,65	14,26	10,79
acetato de heptilo	1115	0,23	0,08	0,11	0,12	0,28	tr	0,09	0,17	0,29	nd	0,24
benzoato de etilo	1173	0,08	0,04	0,16	0,01	0,13	tr	nd	tr	nd	0,16	0,23
ácido octanoico	1183	5,33	7,21	nd	4,85	8,45	4,86	tr	5,07	5,67	8,09	6,04
1-dodeceno	1190	1,03	0,82	0,72	0,89	0,92	0,80	tr	1,50	1,32	0,88	0,99
octanoato de etilo	1197	32,61	19,33	20,60	26,05	27,78	13,15	15,76	22,81	18,38	17,66	27,78
dodecano	1200	0,09	tr	0,02	0,03	0,07	0,07	0,08	0,12	0,13	tr	0,08
decanal	1203	0,18	0,20	0,13	0,37	0,27	0,27	0,39	0,51	0,52	0,51	0,48
acetato de octilo	1214	nd	nd	0,04	0,09	nd	nd	0,26	0,40	0,46	0,07	0,19
nerol	1230	nd	nd	0,43	nd	0,26	nd	nd	nd	nd	nd	nd
acetato de 2-feniletilo	1258	8,61	13,30	10,74	15,09	11,67	5,85	6,26	11,92	9,09	11,78	9,94
1-decanol	1270	0,17	0,41	0,48	0,26	tr	0,16	0,14	0,19	tr	0,39	0,11
tridecano	1300	0,06	nd	nd	nd	tr	tr	tr	0,06	nd	nd	0,09
undecanal	1307	nd	nd	nd	0,22	nd	nd	nd	0,09	0,25	nd	0,33

Tabla 1. (cont.)

Compuesto	IK	Bucanero	Mayabe	Cristal	Cacique	Panamá	Poker	Aguila	Pilsen	Club Colombia	Sol	Superior
nonanoato de etilo	1320	0,16	0,70	0,75	0,09	0,23	0,27	0,09	0,14	0,17	0,22	0,19
geranato de metilo	1325	0,32	0,17	0,16	0,09	0,51	nd	nd	nd	0,19	tr	0,32
acetato de citronelilo	1351	tr	nd	0,13	nd	0,82	nd	nd	nd	tr	0,09	0,04
(E)-4-decenoato de etilo	1383	tr	nd	0,07	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,18	nd
ácido decanoico	1386	0,78	0,65	0,82	0,62	2,28	1,77	0,25	tr	nd	3,96	2,09
(E)-β-damascona	1386	2,53	2,98	3,10	2,83	2,75	2,80	2,23	4,14	3,82	3,69	4,23
decanoato de etilo	1397	7,09	11,63	13,52	9,95	7,37	6,21	4,36	5,37	4,17	13,90	8,55
dodecanal	1410	nd	nd	nd	0,62	nd	nd	nd	tr	0,49	nd	nd
octanoato de isopentilo	1451	nd	0,06	nd	tr	nd	nd	nd	nd	nd	tr	nd
α-humuleno	1455	0,11	nd	nd	0,07	0,22	nd	nd	nd	nd	nd	0,08
geranil acetona	1457	0,14	0,23	nd	0,16	0,33	0,36	0,17	0,15	0,17	0,14	0,27
2,6-di-tert-butilbenzoquinona	1462	0,14	0,22	0,22	0,09	0,17	0,14	0,13	0,19	0,15	tr	0,11
pentadecano	1500	0,20	0,21	0,24	0,13	0,29	0,13	0,15	0,20	0,17	0,25	0,32
2,6-di-tert-butil-p-cresol	1513	tr	tr	0,05	nd	nd	tr	tr	nd	nd	tr	nd
2,4-di-tert-butilfenol	1519	0,10	0,67	0,25	0,15	0,19	0,20	0,14	0,18	0,12	0,19	0,12
(E)-nerolidol	1564	nd	0,08	0,11	0,04	tr	nd	nd	nd	nd	0,15	0,06
1-tridecanol	1576	0,60	0,61	0,70	0,49	0,44	0,57	0,49	0,81	0,86	1,17	1,04
epóxido I del humuleno	1593	tr	0,07	tr	0,03	7,84	nd	nd	nd	0,06	nd	0,10
dodecanoato de etilo	1596	0,12	tr	0,44	tr	tr	tr	tr	tr	nd	0,76	0,50
epi-α-cadinol	1641	nd	tr	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
heptadecano	1700	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,06
1-octadeceno	1791	tr	0,08	0,06	0,04	tr	tr	0,04	0,06	0,06	0,13	0,13
tetradecanoato de etilo	1798	nd	0,10	0,06	0,04	nd	0,06	tr	tr	tr	0,13	tr
Concentración total		193,92	174,54	193,24	190,10	258,11	143,12	135,10	181,23	161,08	191,79	198,23

IK = índice de Kovats. tr = traza, <0,01 mg/L. nd = no detectado.

Tabla 2. Contribución sensorial de los compuestos volátiles identificados en las cervezas comerciales

Compuesto	UO (mg/L)	Bucanero	Mayabe	Cristal	Cacique	Panamá	Póker	Águila	Pilsen	Club Colombia	Sol	Superior
1-propanol	100	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
2-metilfurano	3,5	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
acetato de etilo	30	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Isobutanol	50	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
2,5-dimetilfurano	nd	nc	nc	nc	nc	<1	nc	nc	nc	<1	<1	<1
propanoato de etilo	10	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
acetato de propilo	30	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
1,1-dietoxietano	nd	nc	nc	nc	nc	nc	nc	nc	nc	nc	nc	nc
Isopentanol	1	21	19	23	20	32	17	18	21	18	23	20
2-metil-1-butanol	0,32	44	40	48	42	42	35	37	43	55	48	42
isobutanoato de etilo	0,2	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
acetato de isobutilo	1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
1-octeno	nd	<1	nc	<1	nc	<1	<1	nc	nc	<1	<1	<1
Octano	nd	<1	nc	<1	nc	<1	<1	nc	nc	<1	<1	<1
butanoato de etilo	0,5	4	4	4	3	7	4	4	7	3	5	3
isopentanoato de etilo	0,1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Etilbenceno	nd	nc	nc	nc	nc	nc	nc	nc	nc	<1	nc	nc
p-xileno	nd	nc	nc	nc	nc	nc	nc	nc	nc	nc	nc	nc
acetato de isopentilo	2	9	9	10	10	12	6	8	11	10	11	9
acetato de 2-metilbutilo	5	<1	<1	<1	<1	3	1	1	<1	<1	<1	<1
Nonato	nd	nc	nc	nc	nc	nc	nc	nc	nc	nc	nc	nc
pentanoato de etilo	0,5	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
isobutanoato de isobutilo	nd	nc	nc	nc	nc	nc	nc	nc	nc	nc	nc	nc
tiglato de etilo	nd	nc	nc	nc	nc	nc	<1	<1	nc	<1	nc	nc
3-metilnonano	nd	nc	nc	nc	nc	nc	nc	nc	nc	<1	nc	nc
1-deceno	nd	nc	nc	nc	nc	nc	nc	nc	nc	nc	nc	nc
Mirceno	0,014	3	<1	<1	15	18	<1	3	<1	11	<1	12
1,3,5-trimetilbenceno	nd	nc	nc	nc	nc	nc	nc	nc	nc	nc	nc	<1

Tabla 2. (cont.)

Compuesto	UO (mg/L)	Bucanero	Mayabe	Cristal	Cacique	Panamá	Póker	Águila	Pilsen	Club Colombia	Sol	Superior
hexanoato de etilo	0,3	48	28	32	42	67	38	38	64	60	28	42
Decano	nd	nc	nc	nc	nc	nc	nc	nc	nc	nc	nc	nc
ácido hexanoico	8	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
(E)-3-hexenoato de etilo	nd	nc	nc	nc	nc	nc	<1	nc	nc	<1	nc	<1
acetato de hexilo	0,08	6	4	5	5	10	3	5	7	9	5	6
p-cimeno	0,011	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	2	21	<1	<1
Limoneno	0,01	6	8	9	12	9	6	6	12	6	<1	10
2-etil-1-hexanol	nd	nc	nc	nc	nc	nc	nc	nc	nc	nc	nc	nc
dihidro tagetona	nd	nc	nc	nc	nc	nc	<1	nc	<1	nc	<1	nc
5-metilhexanoato de etilo	nd	nc	nc	nc	nc	nc	<1	<1	<1	nc	<1	<1
1-octanol	0,11	4	4	5	2	4	5	3	4	<1	2	2
linalol	0,006	10	5	7	2	18	5	4	3	15	6	8
heptanoato de etilo	1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
undecano	nd	nc	nc	nc	nc	nc	nc	nc	nc	nc	nc	nc
nonanal	0,02	18	21	13	23	18	19	18	31	41	17	34
2-feniletanol	1	11	14	13	16	16	12	9	14	10	14	11
acetato de heptilo	0,32	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	nc	<1
benzoato de etilo	0,06	1	<1	3	<1	2	<1	<1	<1	<1	3	4
ácido octanoico	15	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
1-dodeceno	nd	nc	nc	nc	nc	nc	nc	nc	nc	nc	nc	nc
octanoato de etilo	1	33	19	21	26	28	13	16	23	18	18	28
dodecano	nd	nc	nc	nc	nc	nc	nc	nc	nc	nc	<1	nc
decanal	0,006	30	34	22	62	46	45	66	85	86	86	80
acetato de octilo	0,012	<1	<1	3	7	<1	<1	22	34	38	5	16
geraniol	0,15	<1	<1	3	<1	2	<1	<1	<1	<1	<1	<1
acetato de 2- feniletilo	3,8	2	3	3	4	3	2	2	3	2	3	3
1-decanol	0,18	<1	2	3	1	<1	<1	<1	1	<1	2	<1
tridecano	nd	nc	nc	nc	nc	nc	nc	nc	nc	nc	<1	nc

Tabla 2. (cont.)

Compuesto	UO (mg/L)	Bucanero	Mayabe	Cristal	Cacique	Panamá	Póker	Águila	Pilsen	Club Colombia	Sol	Superior
undecanal	0,0125	<1	<1	<1	18	<1	<1	<1	8	20	<1	26
nonanoato de etilo	1,2	<1	1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
geranato de metilo	nd	nc	nc	nc	nc	nc	nc	nc	<1	nc	nc	nc
acetato de citronelilo	1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
(E)-4-decenoato de etilo	nd	nc	nc	nc	nc	<1	nc	<1	<1	<1	nc	nc
ácido decanoico	10	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
(E)-β-damascenona	0,01	253	298	310	283	275	280	223	414	382	369	423
decanoato de etilo	1,5	5	8	9	7	5	4	3	4	3	9	6
dodecanal	0,158	<1	<1	<1	4	<1	<1	<1	<1	3	<1	<1
octanoato de isopentilo	1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
α-humuleno	0,16	<1	<1	<1	<1	1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
geranil acetona	0,15	1	2	<1	1	2	2	1	1	1	<1	2
pentadecano	nd	nc	nc	nc	nc	nc	nc	nc	nc	nc	nc	nc
(E)-nerolidol	2,25	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
1-tridecanol	0,14	4	4	5	3	3	4	4	6	6	8	7
epóxido I del humuleno	nd	nc	nc	nc	nc	nc	<1	<1	<1	nc	nc	nc
dodecanoato de etilo	3,5	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
epi-α-cadinol	nd	nc	nc	nc	nc	nc	<1	<1	<1	<1	<1	<1
heptadecano	nd	nc	nc	nc	nc	nc	<1	<1	<1	<1	<1	nc
1-octadeceno	nd	nc	nc	nc	nc	nc	nc	nc	nc	nc	nc	nc
tetradecanoato de etilo	4	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1

UO = umbral de detección de olor en solución acuosa. nd = no dato. nc = no calculado.

REFERENCIAS

1. Guido, L.; Carneiro, J.; Almeida, P.; Rodríguez, J. y Barros, A. J. *Chromatogr. A* 1032: 17-22, 2000.
2. Kunze, W. *Technology Brewing and Malting*. VLB, Berlin, 1996.
3. Pino, J. *Principios y Métodos para el Análisis del Aroma en los Alimentos*. Ed. Instituto de Investigaciones para la Industria Alimentaria, La Habana, 1995.
4. Reineccius, G. *Flavor Chemistry and Technology*. Taylor & Francis, Boca Raton, FL, 2006.
5. Dattatreya, B.; Kamath, A.; Bhat, K. *Food Rev. Intern.* 18 (2-3):223-242, 2002.
6. Lermusieau, G. y Collin, S. *J. Am. Soc. Brew. Chem.* 61:109-113, 2003.
7. Guyot-Declerck, C.; Francois, N.; Ritter, C.; Govaerts, B. y Collin, S. *Food Qual. Prefer.* 16:157-162, 2005.
8. Plutowska, B. y Wardencki, W. *Food Chem.* 107:449-463, 2008.
9. Teranishi, R.; Buttery, R.; Stern, D. y Takeoka, G. Use of odor threshold in aroma research *Lebensm. Wiss. u. Technol.* 24, 15, 1991.
10. Tamura, H.; Fukuda, Y. y Padrayuttawat, A. Characterization of citrus aroma quality by odor threshold values. En: *Biotechnology for improved foods and flavors*. ACS Symposium Series No. 637. Takeoka, G.; Teranishi, R.; Williams, P. y Kobayashi, A. (Eds.). American Chemical Society, Washington D.C., 1995.
11. Ortega, A. y Pino, J. *Alimentaria* (276): 65-72, 1996.
12. Chung, H.; Fung, P. y Kim, J. *J. Agric. Food Chem.* 53:1684-1691, 2005.
13. Pino, J. y Mesa, J. *Flav. Fragr. J.* 21 (1):214-221, 2006.
14. Greger, V. y Schieberle, P. *J. Agric. Food Chem.* 55, 5221-5228, 2007.
15. Thorndike, I. y Pino, J. *Cien. Tecnol. Alim.* (en prensa): 2010.
16. Yonezawa, T. y Fushiki, T. Testing for taste and flavour of beer. En: *Analysis of Taste and Aroma*. Jackson, J.F.; Linskens, H.F. (Eds.). Springer, Berlin, 2002.
17. Meilgaard, M. *J. Agric. Food Chem.* 30:1009-1012, 1982.
18. Chevance, F.; Guyot-Declerck, C.; Dupont, J. y Collin, S. *J. Agric. Food Chem.* 50:3818-3821, 2002.
19. Fritsch, H.T. y Schieberle, P. *J. Agric. Food Chem.* 53:7544-7551, 2005.
20. Rychlik, M.; Schieberle, P. y Grosch, W. *Compilation of Odor Thresholds, Odor Qualities and Retention Indices of Key Food Odorants*. Deutsche Forschungsanstalt für Lebensmittelchemie, Garching, 1998.
21. Collin, S.; Chevance, F.; Guyot, Ch. y Dupont, J. *J. Agric. Food Chem.* 50:3818-3825, 2002.
22. Schieberle, P. y Komarek, D. Changes in key aroma compounds during natural beer aging. En: *ACS Symposium Series*. No. 836, Cadwallader K.R.; Weenen H. (Eds.) American Chemical Society, Washington D.C, 2003.