

UTILIZACIÓN DE ENZIMAS HIDROLÍTICAS Y MÉTODOS COMBINADOS EN LA EXTRACCIÓN DE CAFÉ

Faustino Botero-Arbeláez*; Campo Elías Riaño-Luna**; Lucelly Orozco-Gallego***

RESUMEN

BOTERO A., F.; RIAÑO L., C.E.; OROZCO G., L. Utilización de enzimas hidrolíticas y métodos combinados en la extracción de café. Cenicafé 52 (4):310-319. 2001.

Para corroborar la buena selectividad de las enzimas para extraer sólidos solubles del grano de café tostado, evaluar los rendimientos de extracción y determinar la calidad objetiva de los extractos, se realizó un estudio en dos etapas. En la primera, se evaluó el efecto de la maceración enzimática producida por la gamanasa, la pectinex AR, la xilanasa aplicadas individualmente y en mezcla en iguales proporciones sobre una mezcla industrial de café tostado con 18% de merma de peso y 0,7829mm de diámetro de partícula, con relación agua:café de 9:1. El mejor tratamiento fue la mezcla en partes iguales de las enzimas en concentraciones de 300ppm, comprobándose el efecto significativo de las enzimas sobre el rendimiento de extracción, la concentración, la acidez, el pH y la viscosidad, efecto independiente del tiempo de extracción pero dependiente de la concentración. En los extractos se encontró mayor presencia de azúcares específicos en relación con los obtenidos por otros procedimientos, en proporción de 5 a 4 y de 5 a 3. En la segunda, se comparó la anterior con la extracción a presión atmosférica y con un método combinado de presión seguido de maceración enzimática. El procedimiento combinado es el más adecuado dada la menor viscosidad y mayor rendimiento de extracción.

Palabras claves: Café, *Coffea arabica*, extracción, enzimas hidrolíticas, rendimiento, viscosidad, azúcares.

ABSTRACT

In order to corroborate the good enzymes selectivity to extract the soluble substances present in toasted coffee grain, to evaluate the extraction yields and to determine the objective quality characteristics of the obtained extracts, a study was carried out in two stages. In the first one, the enzymatic maceration effect produced by the gamanasa, the pectinex AR and the xilanasa applied individually and in blend with the same proportions was appraised on an industrial coffee mixture toasted with 18% of weight wastage and 0.7829mm of particle diameter, with a relation water - coffee of 9:1. The best treatment was the coequal enzymes mixture in concentrations 300ppm. Thus, the enzymes meaningful effect on harvest extraction, concentration, acidity, pH and viscosity were proved. This effect is independent from the extraction time, but it does depend on the concentration. In the extracts obtained greater presence of specific sugars in relation to the ones obtained by other procedures, in proportion 5 to 4 and 5 to 3 was found. In the second stage, the enzymatic extraction was compared with the atmospheric pressure extraction and with a combined pressure method followed by enzymatic maceration. The combined procedure is the most adequate since it exhibits less viscosity and greater extraction yield. For each characteristic and for each enzyme the equations were calculated.

Keywords: Coffee, *Coffea arabica*, extraction, hydrolytic enzymes, extraction yield, viscosity, specific sugars.

* Ingeniero Químico.

** Investigador Científico II, hasta marzo de 2001. Programa Industrialización. Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. Chinchiná, Caldas, Colombia.

*** Ingeniero Agrónomo.

Para la elaboración de la bebida de café cualquiera que sea su uso (industrial o casero) es necesario realizar una extracción con agua caliente de los sólidos solubles contenidos en el grano de café tostado, operación unitaria que se puede realizar mediante varios procedimientos: a presión atmosférica con temperaturas del orden de los 90°C generando rendimientos cercanos al 25% (1, 12) o empleando presiones entre 12 y 18 atmósferas, y temperaturas entre los 140°C y 180°C, proceso con el cual se obtienen rendimientos cercanos al 40% (5) debido a la hidrólisis de algunos de los compuestos presentes en el grano tostado de café como las pectinas, mananos, celulosas y hemicelulosas. Esta hidrólisis además de incrementar el rendimiento de extracción, aumenta el pH, la acidez y la viscosidad; además, genera cambios en el color y las propiedades sensoriales, características que prácticamente definen la calidad de un extracto de café (5, 6).

En la industria de los alimentos cuando es necesario realizar la extracción de una sustancia determinada se utiliza la maceración enzimática (8, 11), puesto que las enzimas son proteínas con actividad catalítica y tienen como característica importante su especificidad, siendo específicas para actuar sobre el enlace químico que transforman. El grado de especificidad se conoce como actividad enzimática, la cual es afectada por la concentración de la enzima, la concentración del sustrato, el tiempo de la reacción, la temperatura, el pH y la presencia de inhibidores (3,11,16).

Las enzimas son productos completamente naturales consideradas como aditivos que se adicionan a los alimentos en cantidades insignificantes. Se catalogan dentro de las sustancias GRAS por la FDA que son reconocidas como seguras y aceptadas por los organismos reguladores de productos para consumo humano sin mayores restricciones puesto que una vez finalizado el proceso se inactivan (3, 8,16).

En una investigación anterior utilizando como sustrato extractos de café se optimizaron las condiciones de operación de estos cocteles enzimáticos, los cuales tienen su máxima actividad a temperaturas comprendidas entre 40 y 50°C, con tiempos de operación de 30 minutos y concentraciones del complejo de las 200ppm, condiciones que inducen a que en los extractos disminuya el pH, la acidez y la conductividad eléctrica, así como a reducciones importantes de viscosidad, eliminándose el riesgo de floculación y turbidez durante su almacenamiento a 4°C. En ésta, se establecieron ecuaciones de regresión que permiten predecir el comportamiento de los tratamientos sobre las propiedades de los extractos evaluados (6).

En el Instituto Tecnológico de los Alimentos de Moscú se realizó la extracción de café empleando enzimas hidrolíticas y se obtuvo un producto de gran calidad y una disminución en el consumo de energía (10). Dado el interés de compañías productoras de cafés industrializados de realizar extracciones con un alto grado de especificidad de las sustancias solubles presentes en los granos de café en condiciones nobles, se realizó el presente estudio el cual tuvo como finalidad corroborar la eficiencia de la extracción enzimática y determinar la influencia de esta maceración enzimática en las propiedades fisicoquímicas de los extractos de café obtenidos.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó en la Planta Piloto de Química Aplicada de Cenicafé. Como materia prima se utilizó una mezcla industrial de café torrefacto proveniente de la Fábrica de Café Liofilizado de Chinchiná, tostado hasta una pérdida de peso del 18% y molido a un tamaño promedio de partícula de 0,7829mm, granulometría que usualmente se utiliza en la extracción industrial para la producción de extractos. Se utilizaron 3 enzimas hidrolíticas comerciales de acuerdo con

la composición química del café tostado y del extracto, publicaciones sobre maceración enzimática y según estudios anteriores realizados en Cenicafé (6, 13) (Tabla 1).

Caracterización de la materia prima. La caracterización física y química del café tostado y de los extractos obtenidos se realizó con base en las siguientes determinaciones: densidad aparente, humedad, diámetro de partícula, contenido de cafeína, contenido de lípidos, sólidos totales y sólidos solubles (1, 2, 5), mediante las técnicas siguientes:

Grados Brix. Se midieron con un refractómetro digital marca ATAGO ref. PR100, para determinar la concentración del extracto.

Viscosidad. Se midió en un viscosímetro digital marca Brookfield de tubos concéntricos, modelo DV II con controlador de temperatura. Esta medida se consideró solamente en la comparación de métodos de extracción.

Contenido de carbohidratos. Se determinaron por cromatografía líquida de alta eficiencia (HPLC), empleando un detector de pulsos amperométrico (PRODOLIET, 1990), como fase móvil de agua y una columna de intercambio iónico como fase estacionaria; estos análisis fueron realizados por la Fábrica de Café Liofilizado.

pH. Se midió con un potenciómetro marca METLER TOLEDO referencia 340 con escala de pH de 0 a 14 ± 0,1 (1).

Acidez. Se midió por titulación, calculando los mililitros de NaOH 0,1N necesarios para que una muestra de café llegue a pH= 7, expresando el resultado como ml de NaOH 0,1N requeridos para neutralizar 100ml de muestra; ésta se llevó a cabo en un equipo automático de titulación marca METLER TOLEDO modelo DL53, con precisión de ± 0,01ml (1).

Sólidos solubles totales del café. Se introdujeron 10g de café en un erlenmeyer de 500ml, se le adicionaron 200ml de agua destilada y se pesó el conjunto. Se llevó hasta ebullición exactamente durante una hora, cuidando mantener constante el contenido de agua. Luego se dejó enfriar. El erlenmeyer frío se pesó y se le adicionó el agua que se evaporó durante la extracción, hasta obtener el mismo peso. Se filtraron 25ml de esta solución y se evaporaron a 105°C hasta peso constante, obteniendo así el rendimiento máximo de extracción que se puede obtener de la materia prima que se emplea (1).

Contenido de cafeína. Se determinó por cromatografía de alta eficiencia, utilizando un cromatógrafo marca Waters, una columna C18 como fase fija y como fase móvil etanol- agua en relación 40:60, realizada en la Fabrica de Café Liofilizado (1).

Rendimiento de extracción. Definido como la relación entre los sólidos solubles extraídos y el café total cargado <<1>> (15).

$$\text{Rendimiento de extracción} = \frac{\text{Sólidos extraídos}}{\text{Total de café cargado}} \ll 1 \gg$$

TABLA 1. Enzimas seleccionadas y condiciones de operación recomendadas por los fabricantes para extraer sólidos solubles del grano de café

NOMBRE COMERCIAL	EMPRESA*	T (°C)	SUSTRATO PRINCIPAL**
Gamanasa	Novo	70	Hemicelulosas
Pectinex AR	Novo	45	Arabanos y pectinas
Xilanasa	Solvay	45	Xilanos

* Fuente: Carta técnica de las enzimas suministradas por las Empresas ** Las enzimas comerciales actúan sobre varios sustratos.

Eficiencia de extracción. Es la relación entre el café extraído y el café que se puede extraer (15).

$$\text{Eficiencia de extracción} = \frac{\text{Sólidos extraídos}}{\text{Sólidos solubles totales de café}} \ll 2 \gg$$

Características organolépticas. Se realizaron por el panel de catación de Cenicafé y en ellas se midieron la acidez, el cuerpo, el aroma, el olor y el sabor. Se evaluaron estas características en los extractos que dieron mayor eficiencia de extracción. Se hicieron 10 repeticiones por prueba.

Metodos de extracción. Extracción enzimática. La extracción con enzimas se realizó en un reactor enchaquetado de dos litros de capacidad (Figura 1), provisto de agitación continua donde se cargaron como unidad experimental 150g de café y 1.350g de agua (9:1 en peso), previamente acondicionada a la temperatura de operación ($45 \pm 2^\circ\text{C}$ y $70^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$) dependiendo de la enzima. La temperatura de operación prevista para cada tratamiento permaneció constante con un baño controlado automáticamente. Los tratamientos se realizaron durante 30 y 90 minutos y transcurridos éstos, la mezcla de café-agua se filtró obteniéndose un extracto clarificado del cual se tomaron alícuotas para los análisis de caracterización. En esta etapa se seleccionó el tiempo de maceración, el complejo enzimático y la concentración del mismo de acuerdo a los mejores rendimientos de extracción y las propiedades aportadas al extracto.

Extracción intermitente. Ésta fue realizada en un reactor de acero inoxidable provisto de indicadores para medir la presión y la temperatura interna, además de una válvula de alivio para liberar la presión alcanzada durante el proceso de extracción (Figura 2). El café molido y el agua se cargaron en el reactor en una relación 9:1 en peso (150g de café y 1.350g de agua), cerrado herméticamente y se calentó por medio de una placa calefactora, hasta alcanzar las condiciones

de operación de $45 \pm 0,2\text{psi}$ y $145 \pm 2^\circ\text{C}$; condiciones que permanecieron estables durante una hora; transcurrido este período el reactor se dejó enfriar y se liberó la presión residual a través de la válvula de alivio. El contenido del reactor se filtró y se hicieron los análisis físicos y químicos necesarios para caracterizar el extracto y calcular la eficiencia de extracción (Figura 1).

Extracción en dos etapas. Consiste en la utilización secuencial de los dos tipos de extracción anteriormente propuestos; el método anterior se utilizó como pretratamiento y una vez finalizado y enfriado el extracto, se llevó al reactor enchaquetado donde se agregó el preparado enzimático seleccionado de la etapa uno. Se dejaron reaccionar durante una hora y luego el contenido del reactor se filtró y se realizaron los análisis físicos y químicos necesarios.

Diseño experimental. En la extracción enzimática la respuesta a los tratamientos se evaluó a través

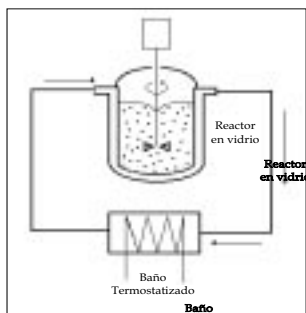


Figura 1. Extractor enchaquetado

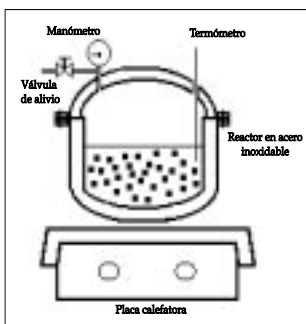


Figura 2. Extractor a presión.

de un diseño completamente al azar con arreglo factorial de 4x4x3: cuatro enzimas (gamanasa, pectinex AR, xilanasa y una mezcla de las tres enzimas por partes iguales); cuatro concentraciones (0, 100, 300, 500ppm), y tres tiempos (30, 60 y 90 minutos) más tres repeticiones por tratamiento. En los dos últimos métodos de extracción la respuesta a los tratamientos se evaluó mediante un modelo de clasificación simple con 11 repeticiones.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Todas las variables para su estudio se sometieron al análisis descriptivo general y de varianza conforme al diseño experimental o modelo utilizado.

Caracterización de la materia prima. El contenido de lípidos y de cafeína está dentro de los parámetros registrados para cafés arábigos (4, 5), pero el contenido de sólidos solubles para esta mezcla industrial es mayor (Tabla 2).

Extracción enzimática. Todas las variables (Tabla 3, 4 y 5) respondieron significativamente al efecto de las enzimas, destacándose la gamanasa por su alta eficiencia y rendimiento de extracción; estas características también se observan en la mezcla. Se notó el efecto del tipo de enzima por la concentración de la misma sobre la concentración del extracto (°Brix), el pH, el rendimiento y la eficiencia de extracción. No se encontraron registros sobre las propiedades de extractos obtenidos en condiciones similares a las de este estudio para comparar los resultados obtenidos. En las Figuras 3 y 4 se observa que el comportamiento del rendimiento y la eficiencia de extracción para la gamanasa es diferente al de las otras enzimas y se nota además interacción (cruzamiento) con la mezcla (coctel enzimático) a la concentración más alta. El rendimiento de extracción es mayor para las enzimas gamanasa (con un máximo

de 225ppm) y la mezcla (con un comportamiento ascendente a partir de 300ppm).

Los grados Brix (Figura 5) presentaron un comportamiento ascendente para las enzimas gamanasa y pectinex AR; el pH (Figura 6) tuvo un comportamiento constante para todas las enzimas excepto para la xilanasa que lo disminuye; todas las enzimas presentaron reducción de la acidez (Figura 7) a partir de la concentración de 100ppm. El contenido de azúcares cuantificados por cromatografía señala una mayor presencia de los azúcares libres para los extractos obtenidos con aplicación de la gamanasa (cuatro) y por la mezcla de enzimas (cinco). En la Tabla 6 se representa la presencia del azúcar específico con el signo y la ausencia con el signo menos. Como resultado de esta etapa se seleccionó el tratamiento cuyo rendimiento de extracción presentó un comportamiento ascendente, mayor proporción y diversidad de azúcares, adecuadas condiciones de acidez y pH, lo cual es de importancia para la producción de solubles en etapas posteriores del estudio. Correspondió a la mezcla de enzimas a la concentración de 300ppm.

Comparación de métodos de extracción. En el análisis de varianza (Tablas 7 y 8) se observa que todas las variables respondieron significativamente a los tratamientos presentando coeficientes de determinación (R^2) superiores al 86%, lo cual explica suficientemente el efecto de los métodos de extracción en las variables de respuesta. En la comparación de promedios de métodos de extracción para cada una de las variables según la prueba múltiple de Tukey (Tabla 7 y 8), indica que todas las variables presentan diferencias significativas con enzimas y sin enzimas, con excepción del rendimiento de extracción el cual es igual en ambos casos. Cuando la extracción se realiza en dos etapas (presión-enzima), no existen diferencias para las variables pH, acidez y rendimiento de extracción; éstas sólo ocurren para los °Brix y la viscosidad. En el rendimiento de extracción se presentan dos grupos bien definidos uno a pre-

TABLA 2. Caracterización física y química del café utilizado por extracción de sólidos solubles

ANÁLISIS	MEDIA	DE	CV(%)
Sólidos solubles	29,38%	2,1	7,2
Granulometría 0,7829mm	0,037	4,7	
Contenido de lípidos	13,30%	0,21	1,6
Humedad	1,5%	0,03	2,0
Densidad aparente	0,41667g/cm ³	0,03	7,2
Contenido de cafeína	1,13%	0,005	0,4

TABLA 3. Comportamiento medio de las variables evaluadas en el proceso de extracción enzimático con varias concentraciones

Enzima	Concen- tración de la enzima (ppm)	Concentración Brix		pH adimensional		ACIDEZ ml de NaOH 0,1 N		EFICENCIA %		RENDIMIENTO %	
		Media	DE	Media	DE	Media	DE	Media	DE	Media	DE
Gamanasa	0	3,13	0,21	5,92	0,06	10,5	0,93	66,82	2,30	19,63	0,67
Mezcla	0	2,67	0,12	6,07	0,14	8,11	2,35	62,13	3,38	18,25	0,99
Pectinex AR	0	2,64	0,16	6,09	0,15	8,05	2,43	62,91	3,78	18,48	1,11
Xilanasa	0	2,71	0,14	6,07	0,14	8,50	2,15	62,82	3,76	18,45	1,10
Gamanasa	100	3,50	0,59	5,94	0,17	7,77	2,28	74,87	7,88	21,99	2,32
Mezcla	100	2,67	0,28	6,15	0,31	4,77	1,46	66,99	10,08	19,68	2,94
Pectinex AR	100	3,28	0,64	6,14	0,06	4,44	0,39	61,25	9,52	17,99	2,79
Xilanasa	100	2,55	0,24	5,49	0,43	8,27	1,75	61,56	4,92	18,08	1,44
Gamanasa	300	3,17	0,51	5,92	0,26	7,38	2,36	77,12	20,27	22,65	5,95
Mezcla	300	2,75	0,20	6,05	0,34	5,00	1,98	64,49	3,78	18,94	1,11
Pectinex AR	300	3,37	0,74	6,15	0,09	4,61	0,54	55,62	9,81	16,34	2,88
Xilanasa	300	2,61	0,19	5,74	0,38	8,50	2,29	59,31	3,39	17,42	0,99
Gamanasa	500	3,26	0,51	6,11	0,31	6,77	2,91	71,94	4,90	21,13	1,44
Mezcla	500	2,70	0,21	6,08	0,29	4,83	1,22	73,45	12,05	21,58	3,54
Pectinex AR	500	3,43	0,56	6,19	0,31	4,77	0,97	58,99	8,60	17,33	2,52
Xilanasa	500	2,54	0,15	5,77	0,56	8,05	1,63	62,22	3,56	18,28	1,04

TABLA 4. Promedio de las variables en presencia de enzimas y comparación de promedios. (Tukey al 0,05)

ENZIMAS	Concentración Brix		pH adimensional		ACIDEZ ml de NaOH 0,1 N		EFICENCIA %		RENDIMIENTO %	
	Media		Media		Media		Media		Media	
Gamanasa	3,2694	a*	5,9736	a	8,111	a	72,688	a	21,356	a
Pectinex AR	3,1861	a	6,1425	a	5,4722	b	59,7	b	17,54	b
Xylanasa	2,7027	b	5,7713	b	8,333	a	61,481	b	18,063	b
Mezcla	2,6056	b	6,0897	b	5,6806	b	66,769	c	19,616	c
Estadístico de Tukey	0,240		0,1808		1,146		5,003		1,469	

* Diferencias entre promedios superiores al estadístico de Tukey son significativas. (Promedios con igual letra son iguales)

TABLA 5. Análisis de azúcares

Enzima	Arabinosa	Galactosa	Glucosa	Manosa	Fructosa
Gamanasa	+	+	+	-	+
Xilanasa	+	+	+	-	-
Sin enzima	+	+	+	-	-
Mezcla	+	+	+	+	+

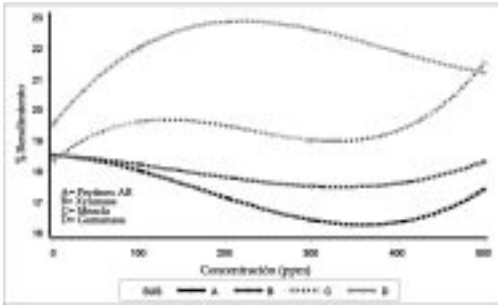


Figura 3. Rendimiento de sólidos solubles en función de la concentración del coctel enzimático.

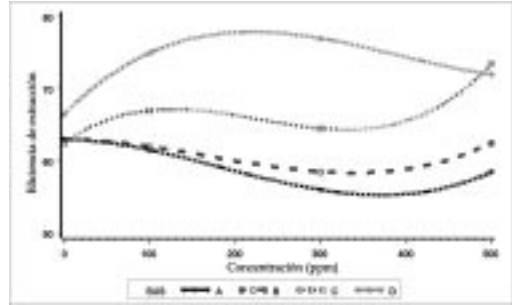


Figura 4. Eficiencia de la extracción de los sólidos solubles en función de la concentración del coctel enzimático.

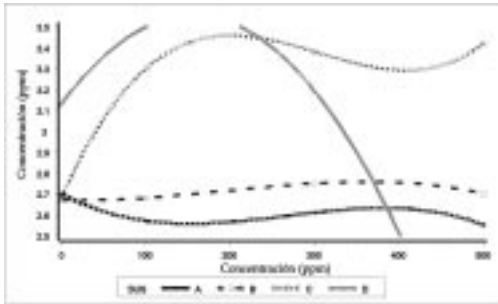


Figura 5. Concentración del extracto de café obtenido en función de la concentración del coctel enzimático

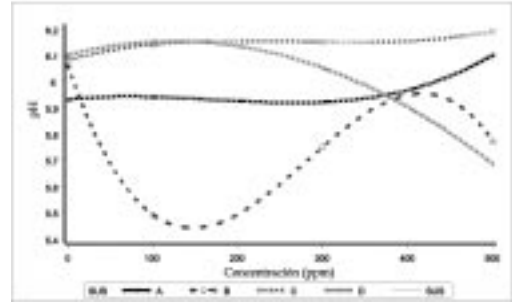


Figura 6. pH del extracto de café obtenido en función de la concentración del coctel enzimático.

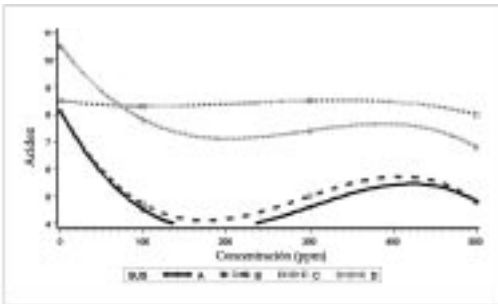


Figura 7. Acidez del extracto de café obtenido en función de la concentración del coctel enzimático.

sión atmosférica y otro con empleo de presión. Estos resultados difieren de los encontrados en pulpas de manzana y guanábana (8, 13), donde se encontraron aumentos del rendimiento de extracción entre el 4 y el 10% por causa de las enzimas. Esto puede deberse a que las enzimas no actúan sobre las partículas de café para desdoblar los azúcares allí contenidos, pero sí sobre el café

solubilizado; lo cual comprueba por el aumento de azúcares en el extracto.

Los grados Brix (Figura 9) muestran un comportamiento diferente para todos los métodos de extracción propuestos, siendo menor cuando la extracción se realiza con el empleo de enzimas a una misma condición de presión. Esto difiere a lo encontrado por Duque (6) y Ortiz (13), quienes registraron que la concentración en °Brix se incrementa con el empleo de enzimas. La acidez y el pH (Figuras 10 y 11) tienen, como es de esperarse, un comportamiento inverso, es decir, los extractos con pH menor tienen una mayor acidez. Se observa además que sobre los extractos a presión atmosférica hay efecto de las enzimas haciéndolos más ácidos, debido a que las enzimas hidrolizan compuestos presentes en el extracto. Con mayor presión estas variables no presentan diferencias. La viscosidad (Figura 12) es la propiedad que mayores diferencias presenta en

cuanto al uso o no de enzimas; este resultado es similar al obtenido por varios autores (6, 13), quienes también manifiestan que la reducción de la viscosidad se debe a la hidrólisis de compuestos presentes en el extracto como: pectinas y celulosas y la producción de azúcares de cadena más corta como la fructosa y la manosa. (10). Se considera que el tratamiento de extracción en dos etapas es el más adecuado dado que presenta menor viscosidad y mayor rendimiento de extracción, y mejor comportamiento de pH y acidez. Esta reducción de la viscosidad en los extractos

concentrados de café debida al uso de enzimas hidrolíticas puede tener un gran beneficio en procesos industriales posteriores como la concentración y el secado, porque disminuirían los costos de la producción de solubles. En las Tablas 9 a 9.4 se presentan las ecuaciones calculadas del comportamiento de las características evaluadas para cada enzima. Puede destacarse en este trabajo que el uso de enzimas modifica positivamente el proceso de extracción, puesto que los extractos obtenidos son más manejables y adecuados para su uso industrial.

TABLA 6. Análisis de varianza de las variables evaluadas como respuesta a los tratamientos

Factores de variación	GL	Concentración Brix		pH adimensional		ACIDEZ ml de NaOH 0,1 N		EFICENCIA %		RENDIMIENTO %	
		CM	P>F	CM	P>F	CM	P>F	CM	P>F	CM	P>F
E	3	4,04	0,0001*	0,97	0,0001*	84,562	0,0001*	83,70	0,0001*	969,73	0,0001*
T	2	0,42	0,0643	0,23	0,0712	12,137	0,0338*	1,02	0,8103	11,84	0,8103
E x T	6	0,14	0,4543	0,03	0,9067	1,7459	0,8033	5,11	0,3958	59,22	0,3958
C	3	0,36	0,0746	0,10	0,3118	57,761	0,0001*	7,91	0,1872	91,67	0,1872
E x C	9	0,38	0,0121*	0,17	0,0484*	5,857	0,101	9,56	0,0498*	110,85	0,0498*
T x C	6	0,06	0,8660	0,03	0,8776	4,487	0,2658	3,79	0,5865	43,91	0,5865
E x T x C	18	0,20	0,1735	0,07	0,6036	3,108	0,5815	6,70	0,1583	77,67	0,1583
CM											
MODELO	47	0,4783		0,1488		12,7082		165,3787		14,2752	
CM											
ERROR	96	0,1517		0,086		3,4583		65,8338		5,6826	
R ²		0,6068		0,4585		0,6427		0,5515		0,5515	

E=enzima T=Tiempo C=concentración * (P>F) < 0,05 hay diferencias entre los tratamientos

TABLA 7. Promedios de las variables del extracto de café utilizando diferentes métodos de extracción y comparación de promedios.

MÉTODO DE EXTRACCIÓN	Concentración Brix		pH adimensional		ACIDEZ ml de NaOH 0,1 N		EFICENCIA %		RENDIMIENTO %	
	Media		Media		Media		Media		Media	
Sin enzimas	3,4818	a*	5,476	a	10,453	a	19,461	a	8,1245	a
Con enzimas	2,8636	b	5,2136	b	12,669	b	18,252	a	4,8282	b
Presión (sin enzima)	4,5182	c	4,4752	c	35,554	c	31,07	b	12,682	c
dos etapas (con enzima)	4,1182	d	4,4953	c	34,342	c	30,948	b	8,0109	a
C.v. (%)	6,23		0,93		8,08		9,98		7,15	
Estadístico de tukey	0,2677		0,0571		2,1481		2,8427		0,7035	

* Diferencias entre promedios superiores al estadístico de Tukey son significativas (Promedios con igual letra son iguales) (p=0,05)

TABLA 8. Análisis de varianza de las variables evaluadas como respuesta a los tratamientos

FACTORES DE VARIACIÓN	GL	Concentración Brix	pH adimensional	ACIDEZ ml de NaOH 0,1 N	RENDIMIENTO %	VISCOSIDAD %
TRATAMIENTOS (CM)	3	5,8048	2,8185	2017,23	544,14	114,24
CM ERROR	40	0,0548	0,0021	3,5323	6,186	0,3788
P > F		0,0001*	0,0001*	0,0001*	0,0001*	0,0001*
R ²		0,8880	0,9901	0,9771	0,8683	0,9576

* P>F menor que 0,05 presentan diferencias significativas entre los tratamientos para cada una de las variables

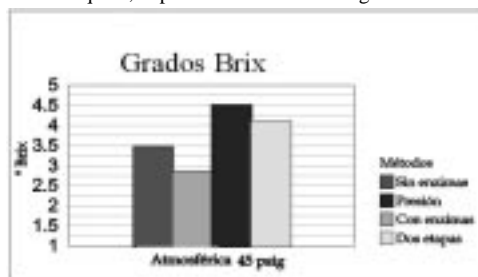


Figura 9. Concentración de los extractos obtenidos por los diferentes tratamientos considerados.

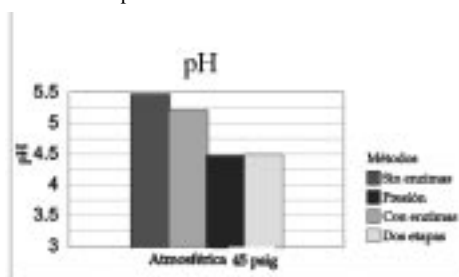


Figura 10. Comparación del pH de los extractos obtenidos por los diferentes tratamientos considerados.

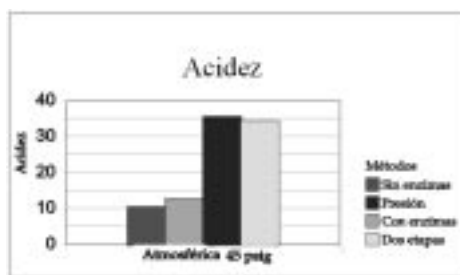


Figura 11. Comparación de la acidez de los extractos obtenidos por los diferentes tratamientos considerados.

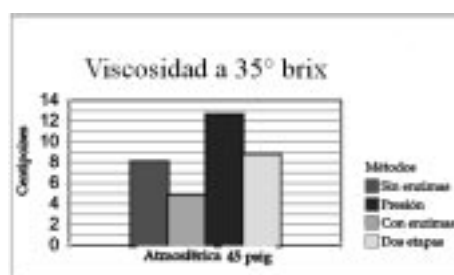


Figura 12. Comparación de la viscosidad de los extractos obtenidos por los diferentes tratamientos considerados.

AGRADECIMIENTOS

A los colaboradores del Programa de Industrialización por su participación y apoyo. Al Centro de Documentación por su colaboración.

LITERATURA CITADA

- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS-AOAC. ARLINGTON. ESTADOS UNIDOS. Official methods of analysis of AOAC international. 16. ed. Arlington, AOAC. 1995. p. 275.
- BALCERO, H. Extracción industrial del café las variables primarias y el rendimiento del proceso. Bogotá Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería Química, 1986. 141 p. (Tesis: Ingeniería Química).
- BAILEY, J.; OLLINS, D. Biochemical engineering fundamentals. New York, Mc Graw-Hill. 1971. p. 78, 155, 168, 177, 198.
- BELITZ, H.; GROSCH, D. Química de los alimentos. Zaragoza, Acribia. 1988. p. 748-757.
- CLARKE, R.J.; MACRAE. Coffee technology. Vol.2. Londres, Elsevier Applied Science, 1987. 321p.
- DUQUE, E. Influencia de los tratamientos bioquímicos en el procesamiento y almacenamiento de los extractos líquidos de café. Bogotá, Universidad de la Salle. Facultad de

TABLA 9. Relaciones que expresan el rendimiento de extracción para las condiciones experimentales estudiadas

ENZIMAS	Relaciones encontradas para las diferentes enzimas
PECTINEX AR	RENDIMIE(SUS:A)= $18,5 - 0,00145 * \text{CONCENTR} - 0,000044 * \text{CONCENTR}^2 + 8,5E-8 * \text{CONCENTR}^3$
XYLANASA	RENDIMIE(SUS:B)= $18,5 - 0,001608 * \text{CONCENTR} - 0,000018 * \text{CONCENTR}^2 + 4,083E-8 * \text{CONCENTR}^3$
MEZCLA	RENDIMIE(SUS:C)= $8,3 + 0,023858 * \text{CONCENTR} - 0,000127 * \text{CONCENTR}^2 + 1,842E-7 * \text{CONCENTR}^3$
GAMANASA	RENDIMIE(SUS:D)= $-8,350965 + 0,462281 * \text{CONCENTR} - 0,001783 * \text{CONCENTR}^2 + 1,953E-6 * \text{CONCENTR}^3$

TABLA 9.1. Relaciones que expresan la eficiencia de extracción para las condiciones experimentales estudiadas

ENZIMAS	Relaciones encontradas para las diferentes enzimas
PECTINEX AR	EFICIENC(SUS:A)= $63 - 0,002333 * \text{CONCENTR} - 0,000155 * \text{CONCENTR}^2 + 2,833E-7 * \text{CONCENTR}^3$
XYLANASA	EFICIENC(SUS:B)= $63 - 0,000375 * \text{CONCENTR} - 0,00012 * \text{CONCENTR}^2 + 2,375E-7 * \text{CONCENTR}^3$
MEZCLA	EFICIENC(SUS:C)= $62,5 + 0,084292 * \text{CONCENTR} - 0,00046 * \text{CONCENTR}^2 + 6,708E-7 * \text{CONCENTR}^3$
GAMANASA	EFICIENC(SUS:D)= $66,5 + 0,11975 * \text{CONCENTR} - 0,00038 * \text{CONCENTR}^2 + 3,25E-7 * \text{CONCENTR}^3$

TABLA 9.2. Relaciones que expresan rendimiento de extracción para las condiciones experimentales estudiadas

ENZIMAS	Relaciones encontradas para las diferentes enzimas
PECTINEX AR	GRADOSBR(SUS:A)= $2,7 - 0,002175 * \text{CONCENTR} + 0,00001 * \text{CONCENTR}^2 - 1,25E-8 * \text{CONCENTR}^3$
XYLANASA	GRADOSBR(SUS:B)= $2,67 - 0,000123 * \text{CONCENTR} + 2,7E-6 * \text{CONCENTR}^2 - 4,667E-9 * \text{CONCENTR}^3$
MEZCLA	GRADOSBR(SUS:C)= $2,68 + 0,009263 * \text{CONCENTR} - 0,000034 * \text{CONCENTR}^2 + 3,767E-8 * \text{CONCENTR}^3$
GAMANASA	GRADOSBR(SUS:D)= $3,13 + 0,00545 * \text{CONCENTR} - 0,000018 * \text{CONCENTR}^2$

TABLA 9.3. Relaciones que expresan el pH de los extractos obtenidos para las condiciones experimentales estudiadas

ENZIMAS	Relaciones encontradas para las diferentes enzimas
PECTINEX AR	pH(SUS:A)= $5,93 + 0,000357 * \text{CONCENTR} - 3,2E-6 * \text{CONCENTR}^2 + 6,333E-9 * \text{CONCENTR}^3$
XYLANASA	pH(SUS:B)= $6,06 - 0,009613 * \text{CONCENTR} + 0,000044 * \text{CONCENTR}^2 - 5,267E-8 * \text{CONCENTR}^3$
MEZCLA	pH(SUS:C)= $6,08 + 0,000916 * \text{CONCENTR} - 3,6E-6 * \text{CONCENTR}^2 + 4,417E-9 * \text{CONCENTR}^3$
GAMANASA	pH(SUS:D)= $6,1 + 0,000833 * \text{CONCENTR} - 3,333E-6 * \text{CONCENTR}^2$

TABLA 9.4. Relaciones que expresan la acidez de los extractos obtenidos para las condiciones experimentales estudiadas

ENZIMAS	Relaciones encontradas para las diferentes enzimas
PECTINEX AR	ACIDEZ(SUS:A)= $8,1 - 0,055392 * \text{CONCENTR} + 0,000218 * \text{CONCENTR}^2 - 2,408E-7 * \text{CONCENTR}^3$
XYLANASA	ACIDEZ(SUS:B)= $8,1 - 0,053308 * \text{CONCENTR} + 0,000218 * \text{CONCENTR}^2 - 2,492E-7 * \text{CONCENTR}^3$
MEZCLA	ACIDEZ(SUS:C)= $8,5 - 0,004125 * \text{CONCENTR} + 0,000025 * \text{CONCENTR}^2 - 3,75E-8 * \text{CONCENTR}^3$
GAMANASA	ACIDEZ(SUS:D)= $10,5 - 0,040483 * \text{CONCENTR} + 0,000152 * \text{CONCENTR}^2 - 1,717E-7 * \text{CONCENTR}^3$

de Ingeniería de Alimentos, 1995. 96p. (Tesis: Ingeniería de Alimentos)

extraction of coffee. Food Science and Technology 23 (2): 386-389. 1990.

- DZIECCAK, J.D. Enzymes catalyst for food process. Food Technology 46(1):78-82. 1991.
- FAIGH, J. Enzyme formulation for optimizing juice yields. Food Technology 50 (1):79-83. 1995
- LOZANO, R. M.; GARZÓN, B., E.D. Extracción industrial del café. I. Efectos de temperatura y presión sobre la calidad del extracto. Bogotá, Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias, 1983. p. 14-17. (Tesis: Químico).
- MOSCOW FOOD IND. TECN. INST. Coffee extract production. Patent SU1597151, 07.10.1990.
- NAKAMURA, T.; HOURS, R.A.; SAKAI, T. Enzymatic maceration of vegetables with protopectinases. Journal of Food Science 60(3):468-472. 1995.
- NICOLI, M.C.; DALLA, R.; LERICI, C.R. Influence of some processing conditions on solid liquid extraction of coffee. Food Science and Technology 23 (2): 386-389. 1990.
- ORTIZ, T., R. Tratamiento enzimático de la pulpa de guanábana (*Annona muricata*) y su concentración por evaporación al vacío. Santafé de Bogotá, Universidad Jorge Tadeo Lozano. Facultad de Ingeniería de Alimentos, 1994. 150p. (Tesis: Ingeniería de Alimentos).
- PRODOLIET, J.; BLANC, M.B.; BRULHART, M.; OBERT, L.; PARCHET, J.M. Determination of carbohydrates in soluble coffee by high-performance anion exchange chromatography with pulsed amperometric detection. In: Colloque Scientifique International Sur le Café, 14. San Francisco, Juliet 14-17, 1991. París, ASIC, 1991. p. 211- 219.
- TREYBAL. R.E. Mass Transfer Operations. 2. ed. New York, Mc Graw-Hill, 1968. 717P.1868.
- WISEMAN, A. Manual de biotecnología de los enzimas. Zaragoza, Acribia S.A. 1991. p.355-365.