

FACTORES, PROCESOS Y CONTROLES EN LA FERMENTACIÓN DEL CAFÉ

En la fermentación del café ocurren varios procesos, básicamente las levaduras y las bacterias del mucílago mediante sus enzimas naturales oxidan parcialmente los azúcares y producen energía (ATP), etanol, ácido láctico, ácido acético y dióxido de carbono. Además, se obtienen otros alcoholes como propanol, butanol, ácidos como el succínico, fórmico, butírico y sustancias olorosas como aldehídos, cetonas y ésteres. También se degradan los lípidos del mucílago de café y cambian el color, el olor, la densidad, la acidez, el pH, los sólidos solubles, la temperatura y la composición química y microbiana de este sustrato.





Ciencia, tecnología
e innovación
para la caficultura
colombiana

Autores

Gloria Inés Puerta Quintero

Investigador Científico III.
Disciplina Calidad.
Centro Nacional de Investigaciones
de Café, Cenicafe. Manizales,
Caldas, Colombia.

Edición:
Sandra Milena Marín López
Fotografías:
Gonzalo Hoyos Salazar
Kevin Hincapie Velásquez
Diagramación:
María del Rosario Rodríguez L.
Imprenta:

ISSN - 0120 - 0178
<https://doi.org/10.38141/10779/0422>

Los trabajos suscritos por el personal técnico del Centro Nacional de Investigaciones de Café son parte de las investigaciones realizadas por la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. Sin embargo, tanto en este caso como en el de personas no pertenecientes a este Centro, las ideas emitidas por los autores son de su exclusiva responsabilidad y no expresan necesariamente las opiniones de la Entidad.

Manizales, Caldas, Colombia
Tel. (6) 8506550 Fax. (6) 8504723
A.A. 2427 Manizales
www.cenicafe.org

Durante el beneficio del café, los granos despulpados se mantienen hasta su lavado, inmersos en el mucílago fermentado, que contiene los diversos productos de la fermentación. Mediante la práctica de procesos de fermentación, lavado y secado controlados, se obtienen bebidas de café con aromas y sabores de buena calidad y especiales. Por el contrario, cuando se realizan mezclas de sustratos, se sobrepasa el tiempo de fermentación, no se controlan los factores y no se conocen los cambios que ocurren en este proceso, se pueden generar defectos en la calidad, como el grano manchado y vinagre, y los sabores agrio y fermento en la bebida.

En este Avance Técnico se ilustran varios aspectos de los procesos microbiológicos y químicos de la fermentación del café, en relación con factores de temperatura ambiente, higiene, tiempo y sistema de fermentación y se dan recomendaciones y buenas prácticas para el control de este proceso.

Factores de la Fermentación

Factores de la fermentación. En particular, la velocidad y los compuestos formados en la fermentación del café dependen de la calidad del sustrato, madurez y sanidad del fruto que influyen en la composición química y microbiológica de los granos despulpados; de factores ambientales como la temperatura externa y la higiene de las instalaciones, ambientes y equipos; del tiempo, y del sistema mismo de fermentación.

Sistemas de fermentación. Pueden establecerse diferentes sistemas de fermentación del café según la dilución, aireación, agitación, aislamiento o suministro de sustrato.

En los sistemas de sustrato sólido no se adiciona agua al café despulpado, en las fermentaciones sumergidas se agrega agua; a su vez, estos sistemas pueden ser abiertos o cerrados, continuos o discontinuos, estáticos o agitados, o desarrollarse a una temperatura o pH constantes, entre otros. En Colombia, la fermentación del café se realiza en sistemas sin agua o sumergidos y en tanques abiertos de diversos materiales.

El sustrato. La materia prima del proceso de fermentación está compuesta por los granos de café despulpados que contienen el mucílago que se fermenta. Los granos de café en baba contienen cantidades variables de mucílago y su calidad depende de la frescura y los controles en el beneficio y despulpado; la presencia de pulpa y de residuos de insecticidas y otras sustancias en el café en baba, influyen en los productos de fermentación, y por consiguiente, en los sabores y aromas del café.

La cantidad de mucílago en los frutos de café depende del estado de maduración y presenta variaciones de cerca del 30% para cada grado de madurez, debido a la humedad y tamaño de los frutos, así, en promedio el fruto fresco verde contiene 1,3% de mucílago, el pintón 8,4%, el maduro entre 1% y 27%, el sobremaduro de 1% a 23%, y en el fruto seco no hay mucílago.

En promedio, frutos de café maduro de la especie Arábica contienen 44% de pulpa, 45% de café pergamino y cerca de 11% de mucílago (Figura 1). Igualmente, los granos de café maduros despulpados contienen mayor cantidad de mucílago (18,8%), los pintones 14,9% y los sobremaduros 17,7% (Figura 2).

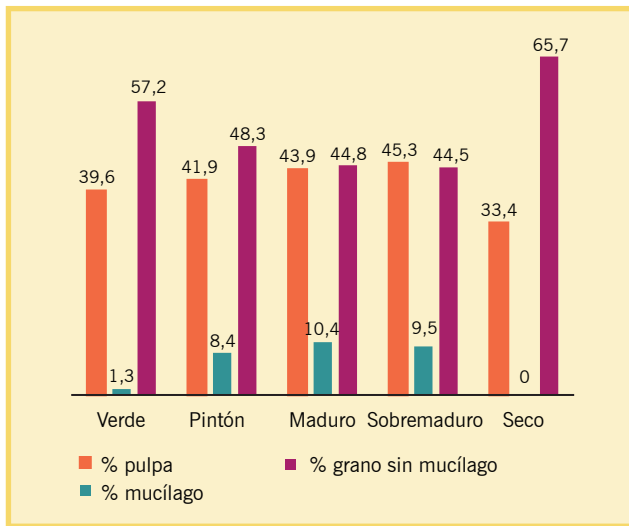


Figura 1. Proporciones en peso del mucílago, pulpa y grano en el fruto de café según la madurez.

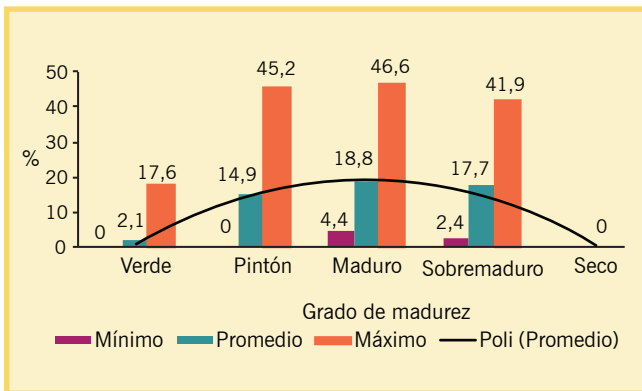


Figura 2. Proporción del peso del mucílago de café respecto al grano despulpaado según la madurez.

De otra parte, no hay diferencias entre las cantidades del mucílago de los frutos de café y granos en baba de las variedades Castillo®, Caturra y Tabi. Sin embargo, la cantidad de pulpa en el fruto de café Caturra es significativamente mayor, por consiguiente, también para esta variedad es menor el rendimiento en peso del grano pergamino con respecto al peso del fruto, así, 1,0 kg de frutos de variedad Caturra maduro contienen 430 g de grano pergamino sin mucílago, Tabi 450 g y Castillo 460 g.

Microbiología de la fermentación del café. Los microorganismos del café en baba provienen de diferentes fuentes como suelo, aire, agua, vegetales, personas, animales, insectos, equipos, instalaciones y utensilios

de beneficio. En el café despulpaado se encuentran primordialmente levaduras y bacterias lácticas, pero también otras bacterias y algunos hongos.

El recuento y la clase de microorganismos presentes en un momento dado de la fermentación del café dependen de la población inicial en los frutos y granos despulpaados, de las condiciones ambientales como la temperatura, los gases como el CO₂, la actividad del agua, el pH, el potencial redox, la higiene, del tiempo transcurrido y del sistema y la dilución del sustrato. Una zaranda en inadecuadas condiciones de higiene puede cambiar los recuentos y tipos de microorganismos del sustrato a fermentar.

Las principales levaduras fermentadoras del mucílago son *Saccharomyces cerevisiae*, *Candida albicans*, *C. tropicalis*, *C. krusei*, *C. lipolytica*, *C. parasitopsis* y *C. pintolopesii*, que producen etanol y CO₂, y las no fermentadoras como *Cryptococcus terreus*, *Rhodotorula rubra* y *R. glutinis*. Las bacterias lácticas del mucílago son *Lactobacillus acidophilus*, *L. fermentum*, *L. plantarum* y *Streptococcus faecalis*, entre otras, las cuales producen ácido láctico, alcohol, ácido acético, ácido fórmico y dióxido de carbono.

También pueden hallarse bacterias anaerobias facultativas que producen fermentaciones mixtas como *Enterobacter* spp., *E. agglomerans*, *E. aerogenes*, *Erwinia* sp., *Escherichia coli*, *Klebsiella ozaenae*, *Proteus* sp., *Serratia fonticola* y *Citrobacter freundii*. Además, bacterias aerobias del género *Staphylococcus*, actinobacterias del género *Streptomyces*, bacterias anaerobias como *Clostridium butyricum*, y hongos de los géneros *Trichoderma*, *Alternaria* y en ocasiones *Penicillium* y *Aspergillus* (1, 3, 4, 5, 9,10).

La población de levaduras y de algunas bacterias aerobias y aerobias facultativas aumenta en las primeras horas de la fermentación del café en sistemas abiertos y sin agua, pero a medida que el proceso avanza el pH inicial cercano a 5,2 desciende a valores entre 3,5 y 4,0, de esta forma, se inhibe el crecimiento de coliformes y de otras bacterias del mucílago, aunque se favorece el desarrollo de las levaduras y de las bacterias *Lactobacillus* que son acidófilas. En el mucílago de café maduro *Saccharomyces* crece continuamente durante la fermentación, *Candida* y *Torulopsis* se mantienen hasta las 50 horas, pero *Rhodotorula* y *Cryptococcus* sólo se presentan en las primeras 4 a 8 horas (Figura 3).

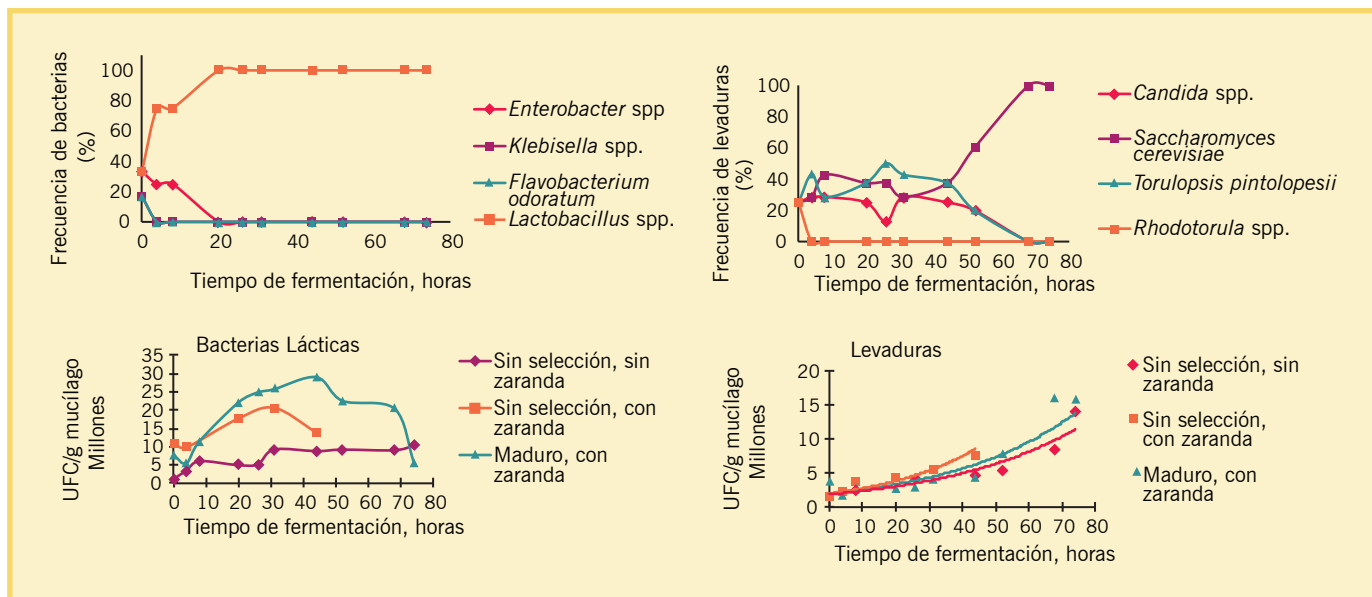


Figura 3. Microorganismos durante la fermentación del mucílago de café maduro, clasificado por zaranda y sin selección, a temperatura ambiente (20,5°C), en un sistema abierto.

En la fermentación de sustrato sólido, el café desulpado contiene entre 5 y 9 millones de microorganismos por cada mililitro de mucílago, conformados por 35% de levaduras, 26% de *Lactobacillus*, 20% de *Enterobacteriaceae* y 19% de *Streptococcus* y otros aerobios. Mientras que en una fermentación sumergida con 50% de agua, el recuento inicial oscila entre 1,5 y 4,9 millones de colonias compuestas de 40% de levaduras, 25% de *Lactobacillus*, 20% de *Enterobacteriaceae* y 15% de *Streptococcus* y otros aerobios.

La temperatura. Los microorganismos fermentadores del café son mesófilos. La mayoría de las levaduras crecen entre 5 y 39°C, con óptimos de 28 a 35°C, algunas se desarrollan entre 3 y 10°C y todas mueren por encima de 50°C. Las bacterias lácticas crecen entre 25 y 30°C, pero pueden reproducirse a 0°C, mientras que las bacterias entéricas se desarrollan entre 22 y 37°C.

Por su composición microbiana y química, el mucílago se fermenta en forma natural en las condiciones ambiente de las zonas cafeteras que presentan temperatura del aire entre la noche y el día de 12 a 34°C, según la altitud, con promedios en la temperatura mínima de 16,4°C, media de 20,7°C y máxima de 26,2°C (6). Durante la fermentación del café se presentan variaciones de la temperatura de los granos debido a los procesos metabólicos de los microorganismos con la consecuente

producción de energía, así, en algunos momentos la temperatura del sistema es mayor que la temperatura del aire externo (Figura 4).

Cinética. Es el estudio de las velocidades y mecanismos de una reacción. La velocidad de la fermentación del café se mide por los cambios a través del tiempo de las concentraciones de la biomasa de microorganismos, de los azúcares del sustrato y del alcohol, y los ácidos de los productos. Las velocidades de los procesos bioquímicos y de las fermentaciones no son constantes, dependen de la temperatura y del tiempo.

La cinética de degradación de los azúcares, de la acidificación y de la formación de alcohol en la fermentación del mucílago de café presenta, al igual que el crecimiento de microorganismos, una primera fase en la que la velocidad es relativamente lenta, seguida de una fase muy rápida hasta alcanzar un valor máximo, luego las tasas de degradación y de producción disminuyen y a partir de estos tiempos las concentraciones de los componentes del sustrato prácticamente no varían.

Química de la fermentación del mucílago de café. El café en baba maduro y fresco presenta una humedad entre 58% y 61%. De otra parte, en promedio, el 90% del peso del mucílago de café fresco es agua y en el mucílago pintón la humedad representa el 61%, así, el mucílago

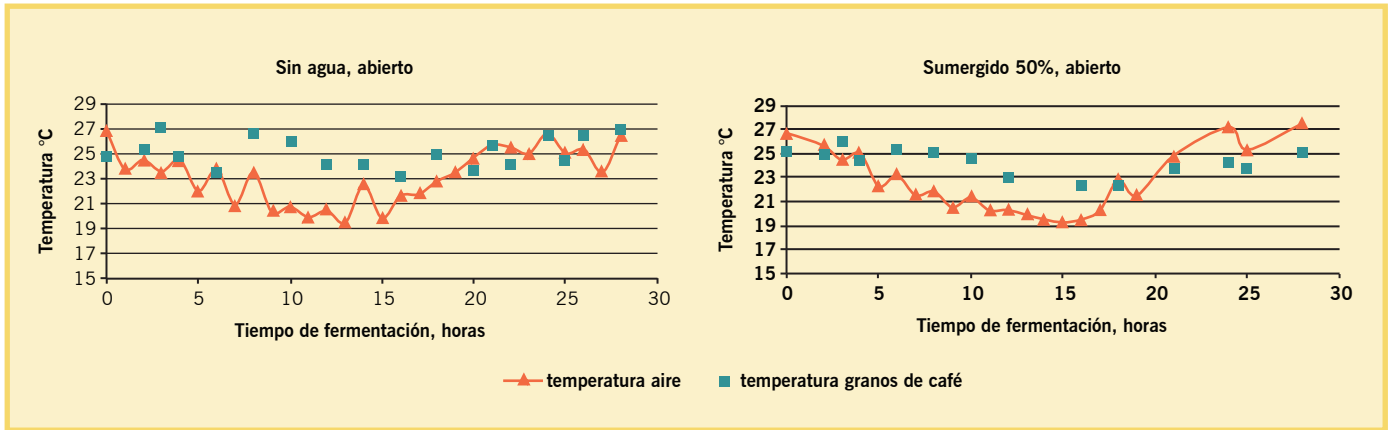


Figura 4. Cambios de la temperatura de los granos de café durante la fermentación en sistemas abiertos, sin agua y sumergido 50%, a temperatura externa promedio de 23° a 25 °C.

del fruto pintón contiene mayor cantidad de materia seca que el maduro y sobremaduro (Figura 5). Durante la fermentación se presentan cambios en la humedad del mucílago de café, que son mayores en cuanto mayor es la temperatura ambiente durante el proceso.

La materia seca del mucílago de café está conformada por proteínas, lípidos, carbohidratos, sales minerales, ácidos y alcoholes (Figura 6) (11). Las cenizas representan en promedio el 0,43% del peso del mucílago húmedo fresco y están compuestas de K, Ca, P, S y trazas de Mn, Fe, Zn, Cu y otros elementos químicos. El contenido de cenizas del mucílago no cambia durante la fermentación, aunque algunas variaciones se deben al consumo de minerales, como el azufre y el fósforo, por parte de los microorganismos.

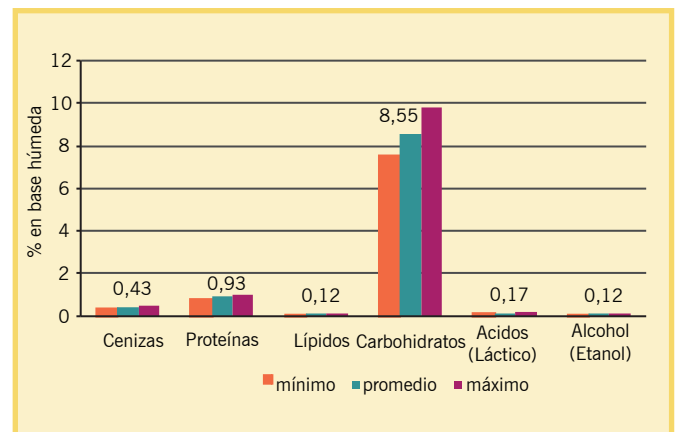


Figura 6. Composición de la materia seca del mucílago de café (Porcentaje en base húmeda).

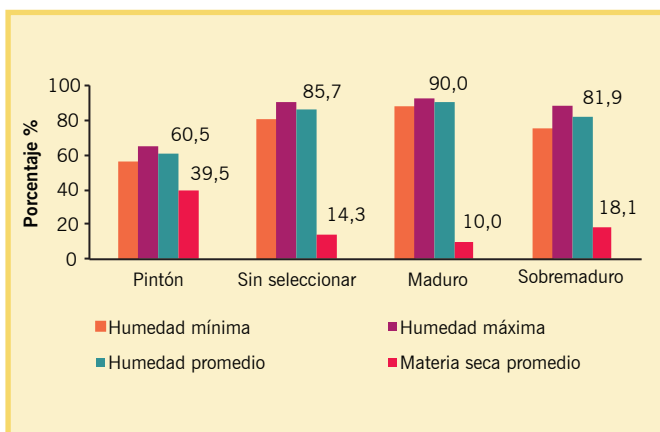


Figura 5. Porcentajes de humedad y materia seca del mucílago de café, según la madurez del fruto.

Las proteínas constituyen el 0,9% del peso húmedo del mucílago del fruto de café maduro y fresco, además, éstas son componentes de las enzimas y aportan nitrógeno y azufre para el desarrollo de los microorganismos. Por su parte, los lípidos conforman el 0,12% del peso del mucílago de café maduro fresco; se degradan más rápido a mayor temperatura ambiente, de tal manera que si a las 20 horas de fermentación en condiciones ambiente (20,5°C) se descompone cerca del 40% de los lípidos del mucílago, en refrigeración (6,6 °C) este proceso ocurre en un 16%.

Carbohidratos. Conforman del 7,5% al 9,8% del peso del mucílago fresco. Los carbohidratos del mucílago fresco contienen en promedio 47,9% de azúcares reductores,

como la glucosa, la fructosa, la maltosa y la lactosa, un 29,8% de azúcares no reductores como la sacarosa, el 7,3% de fibra, y 15,0% de sustancias no fibrosas, como las sustancias pécticas. El mucílago no contiene almidón.

Durante la fermentación, la glucosa y los monosacáridos son consumidos y oxidados, los disacáridos son degradados en monosacáridos y varios polisacáridos son hidrolizados. Sin embargo, aún después de 74 horas de proceso a temperatura ambiente, no todos los azúcares del mucílago de café se fermentan ni todas las sustancias pécticas se degradan.

Fibra. Constituye del 0,5% a 1,0% en peso del mucílago fresco y está compuesta de celulosa y hemicelulosas, pero no contiene lignina; su contenido varía relativamente durante la fermentación, debido a la disminución de azúcares.

Sustancias pécticas. Constituyen del 0,6% al 2,0% del peso del mucílago de café fresco. Durante la fermentación varía su concentración debido a las degradaciones de los azúcares, a los cambios de humedad y materia seca, a la eliminación de CO₂ y por la actividad de varias enzimas naturales del sustrato que degradan y despolimerizan parcialmente los compuestos pécticos en el medio ácido de la fermentación.

Las sustancias pécticas (protopectinas, ácidos pécticos, pectatos, ácidos pectínicos, pectinatos y pectinas) se degradan mediante pectinasas como protopectinasas, poligalacturonasas, pectinesterasas y pectinaliasas, que son generadas por muchas bacterias, levaduras y hongos (2, 9). Las pectinesterasas se presentan de forma natural en los tejidos de las plantas. En el mucílago de café se han encontrado pectinasas producidas por bacterias *Pseudomonas* y por *Xanthomonas campestris* (4, 5) y en la pulpa por *Bacillus* (3); así mismo, varias levaduras inclusive *Saccharomyces cerevisiae* generan poligalacturonasas (1,7). En la degradación de las sustancias pécticas se produce ácido galacturónico, ramnosa, galactosa, arabinosa, xilosa, fucosa, apiosa y otros compuestos como acetato y metanol.

Azúcares. Los azúcares totales constituyen del 6,2% al 7,4% del peso húmedo del mucílago de café maduro y comprenden los azúcares reductores y los no reductores. Los azúcares reductores conforman del 4,0% al 4,6% del peso del mucílago fresco y son fermentados por las

levaduras y bacterias para producir el etanol, el ácido láctico y otros compuestos. De otra parte, los azúcares no reductores como la sacarosa son degradados, primero por hidrólisis, y luego, por fermentación de los azúcares reductores obtenidos.

La degradación de los azúcares del mucílago y la acidificación son los principales cambios en la composición química del mucílago durante la fermentación del café. La disminución del contenido de los azúcares del mucílago de café presenta un comportamiento exponencial con el tiempo de fermentación (Figura 7), que se explica por el consumo del sustrato y por el crecimiento y metabolismo de las bacterias y levaduras fermentadoras en el mucílago, a través del proceso.

Para el mucílago de café maduro, los máximos valores de velocidad de fermentación de azúcares se presentan entre las 44 y 46 horas; las tasas de degradación de estos azúcares disminuyen cuando se va agotando y acidificando el sustrato. La velocidad de la fermentación del café también depende de la temperatura externa, de esta manera la fermentación es más rápida a mayor temperatura. Así, a las 20 horas de fermentación a una temperatura ambiente de 20,5°C, se degrada el 14% de los azúcares reductores iniciales y el 16% de los totales, y entre las 47 y 49 horas se consume la mitad de los azúcares. Por el contrario, en refrigeración, a las 20 horas sólo se fermenta el 5% de los reductores y el 14% de los azúcares totales y a las 44 horas de fermentación apenas se degrada el 22% de éstos (Figura 8).

Con las ecuaciones de ajuste de las concentraciones de azúcares totales y reductores del mucílago con el tiempo de fermentación (Figura 7), puede estimarse el contenido de azúcares durante la fermentación del café maduro, a temperatura ambiente promedio de 20,5°C, en proceso sumergido con 300 mL de agua por cada kilogramo de café en baba.

Grados Brix. Con los grados Brix se expresa el porcentaje de sacarosa en la caña de azúcar, las frutas y los jugos, y en los vinos su contenido de glucosa. Sin embargo, en un producto, los sólidos solubles en agua no están conformados sólo de azúcares. En café, los sólidos solubles del mucílago contienen principalmente sacarosa, glucosa, fructosa, ácidos málico, láctico, acético, succínico, oxálico, fórmico, fosfórico, galacturónico, etanol y otros alcoholes, ésteres, polisacáridos, proteínas y cenizas. Los grados Brix del mucílago de café fresco

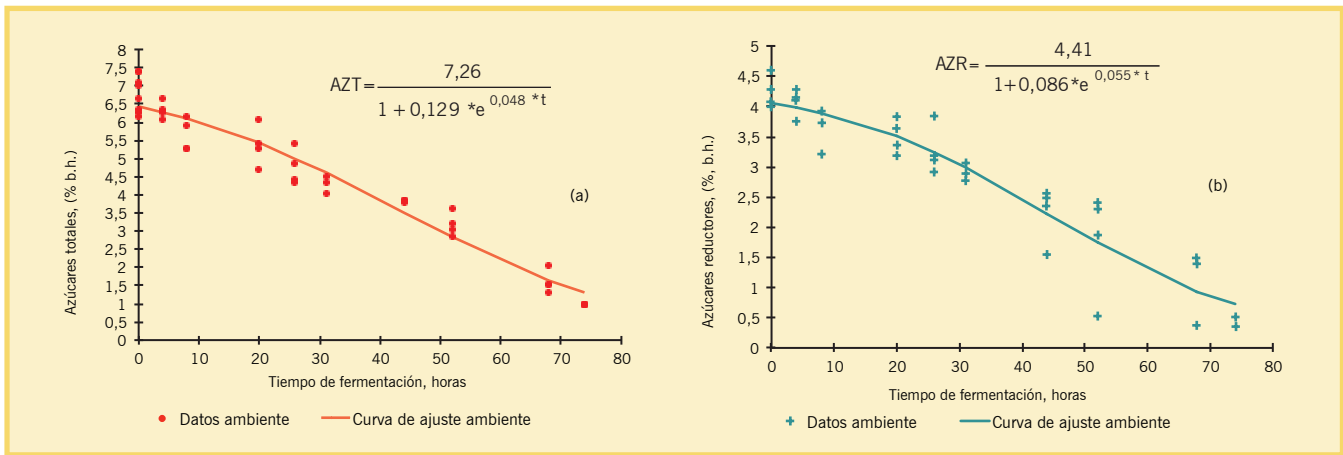


Figura 7. Cinética de la degradación de los azúcares totales AZT (a) y de azúcares reductores AZR (b) del mucílago de café maduro durante la fermentación (concentración en porcentaje, en base húmeda), en condiciones ambiente, 15,4 a 30,5°C (promedio 20,5°C), humedad relativa de 81,7% (37,0% a 98,0%). Fermentación sumergida con 300 mL de agua por 1 kg de café en baba.

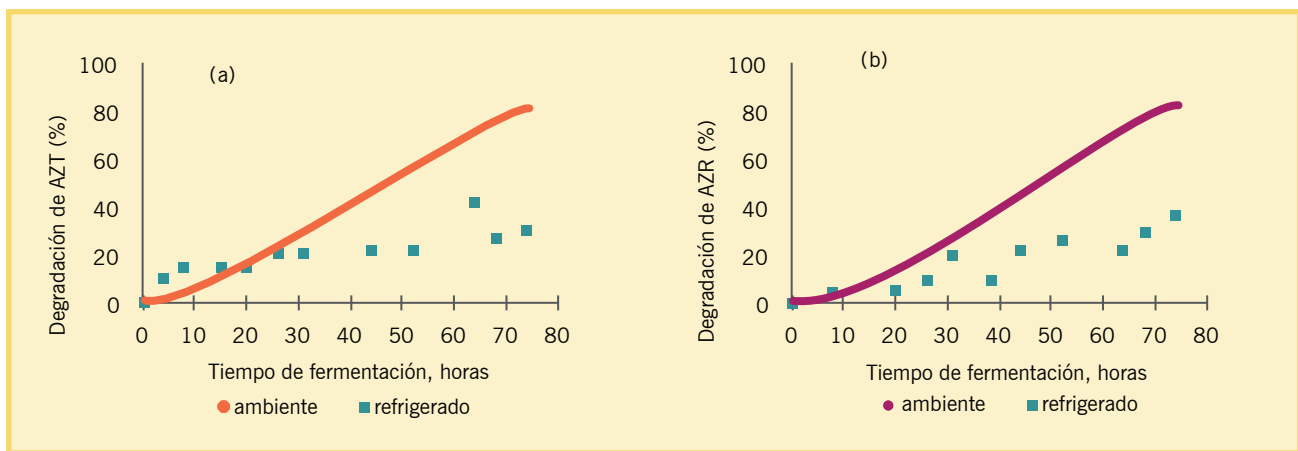


Figura 8. Porcentaje de degradación de los azúcares totales AZT (a) y de azúcares reductores AZR (b) del mucílago de café maduro durante la fermentación, en condiciones ambiente 15,4 a 30,5°C (promedio 20,5°C), humedad relativa de 81,7% (37,0% a 98,0%) y en refrigeración 4,8 a 8,0°C, y 51,2% a 65,0% de humedad relativa.

varían según el estado de maduración (Tabla 1). En promedio, el mucílago del café pintón contiene menos °Brix (14,1%) que el maduro (17,1%), y el sobremaduro más que el maduro (20,1%).

De otra parte, el promedio de la densidad del mucílago del fruto pintón es menor que en los frutos sobremaduros y maduros; la densidad del mucílago disminuye durante la fermentación, pero estos cambios no son significativos para ningún estado de madurez.

En los sistemas de fermentación del café sin agua, a través del tiempo, los °Brix muestran un decrecimiento exponencial y son más lentos al disminuir la temperatura

externa. Por el contrario, en sistemas sumergidos, los °Brix del medio aumentan a medida que transcurre la fermentación del café, debido a la disolución de las sustancias en el agua. Al inicio, cuando se adiciona 30% de agua al café en baba, los grados Brix son de 4,2% en promedio, y a las 18 horas de fermentación aumentan entre 5,8% a 7,8%, en sistemas abiertos, y entre 5,9% y 8,0% en sistemas cerrados. Mientras que para la fermentación del café con 50% de agua, el valor de los °Brix del medio al inicio es de 2,8% en promedio, y después de 18 horas, cambia a valores de 4,7% en sistemas abiertos y a 5,1% para sistemas cerrados.

Los grados Brix del mucílago de café fresco son un indicador de la madurez del grano despulpado y

Tabla 1. Grados Brix y densidad relativa del mucílago de café fresco, según el estado de madurez.

Variable medida	Grados Brix (%)			Densidad relativa		
	Mín.	Máx.	Prom.	Mín.	Máx.	Prom.
Madurez del mucílago de café						
Pintón	13,04	14,91	14,09A	0,58	1,27	0,91A
Maduro	14,63	18,62	17,05B	1,35	1,43	1,38B
Sobremaduro	18,81	21,23	20,10C	1,18	1,50	1,26B

Letras diferentes para cada variable indican diferencias estadísticas de los promedios entre estados de madurez, según la prueba de Duncan al 5%.

su medición durante la fermentación permite hacer seguimiento y control del proceso.

pH. El valor del pH se mide en un potenciómetro o pH-metro y mediante tiras de color que están impregnadas de reactivos indicadores especiales. El pH del café en baba fresco es ácido, con valores que dependen de la madurez, del tiempo entre la recolección y el despulpado, y de la manipulación de los frutos y granos en baba; así, el café en baba clasificado sólo por zaranda presenta pH entre 4,9 y 5,6, con un promedio de 5,2; mientras que los granos en baba obtenidos de frutos clasificados con agua y después de despulados por zaranda tienen un pH de 5,1 a 5,6, y un promedio de 5,4. Por su parte, en sistemas sumergidos, cuando para la fermentación se agrega agua en un 30% del peso de café en baba, el pH inicial es de 5,3 a 5,5 y para 50% alcanza valores de 5,6 a 6,0.

Durante la fermentación del café, el pH del sustrato disminuye más rápido en las primeras 20 horas, por la formación y disociación de ácidos, principalmente el ácido láctico que se genera en las fermentaciones lácticas, el ácido acético que se produce en las heterolácticas y en la acetificación del alcohol (8, 9), por el ácido málico presente en los granos de café y otros generados en el metabolismo celular como el cítrico, oxálico, fórmico, fosfórico y succínico; también por el ácido propiónico cuando se fermenta el ácido láctico y por el butírico de la fermentación butírica. Es más fuerte el efecto en el pH del ácido láctico que del ácido acético.

La variación del pH durante la fermentación del café es diferente dependiendo de la calidad del grano en baba, del sistema y de la temperatura externa (Tabla 2). Así,

los sistemas de sustrato sólido (sin adición de agua) son más heterogéneos que los sistemas sumergidos y, por consiguiente, el rango de variación del pH es más amplio para cualquier tiempo. Los sistemas sumergidos inician con un valor de pH mayor que los sistemas sin agua; en los sistemas abiertos la disminución del pH es más lenta que en los cerrados, y a mayor temperatura externa la disminución del pH en la fermentación es más rápida.

En la fermentación del café el pH del mucílago disminuye hasta un valor que depende del sistema y de la temperatura de fermentación. Posteriormente, el pH del mucílago de café fermentado aumenta debido a la fermentación del ácido láctico, a la eliminación del dióxido de carbono, a la producción de otros ácidos más débiles, a sales y sustancias básicas que se disuelven y por otras degradaciones.

En general, valores de pH del mucílago fermentado entre 3,7 y 4,1 son adecuados y seguros para interrumpir la fermentación y lavar el café (Tabla 2).

Acidez química total. Es la valoración química del contenido de las sustancias ácidas presentes en el mucílago de café, que incluyen los ácidos acético, málico, láctico, cítrico, succínico y otros compuestos.

La acidez y el porcentaje de alcohol a través del tiempo de fermentación del mucílago de café pueden expresarse con las ecuaciones que se presentan en las Figuras 9 y 10. Así, la formación de ácidos y alcoholes de la fermentación del café se ajusta a la ley de crecimiento poblacional de Verhulst, 1838 (12), y en consecuencia, sigue un comportamiento similar al crecimiento de los microorganismos, que es exponencial en las primeras horas, pero que no continua así indefinidamente.

La acidez de un litro de mucílago fresco obtenido en un desmucilagador mecánico, con capacidad para 600 kg/h de frutos y operado con 1,6 L/min de agua es alrededor de 1.000 mg CaCO₃ y este valor se triplica a las 20 horas de fermentación en un sistema abierto, a temperatura promedio de 20,5°C, mientras que a las 74 horas el valor es aproximadamente de 7.000 mg CaCO₃ (Figura 9). La velocidad de acidificación del mucílago de café durante la fermentación es rápida hasta las 21-22 horas, luego se presenta una desaceleración, que se atribuye al consumo del sustrato y a la reducción de las bacterias, debido a las mismas condiciones ácidas. Por el contrario, en ambientes de refrigeración (4 a 8°C),

Tabla 2. Variación del pH del mucílago a través del tiempo de fermentación en sistemas abiertos, sólidos y sumergidos con 30% y 50% de agua, según la temperatura de proceso y la clasificación del café en baba.

Tiempo de fermentación en horas	Sistema de fermentación							
	sin agua	30% agua	50% agua	sin agua	30% agua	50% agua	sin agua	50% agua
	Clasificado por zaranda			Clasificado por sifón y zaranda				
	22 a 25 °C			22 a 25 °C			17 a 19 °C	
0	5,00	5,23	5,43	5,36	5,41	5,81	5,58	5,66
12	4,07	4,42	4,49	3,92	4,39	4,68	4,52	4,65
14	3,95	4,30	4,37	3,76	4,29	4,54	4,39	4,53
16	3,85	4,18	4,27	3,64	4,20	4,40	4,28	4,42
18	3,76	4,06	4,19	3,54	4,13	4,28	4,19	4,31
20	3,68	3,95	4,11	3,47	4,07	4,17	4,11	4,22
22	3,62	3,84	4,05	3,44	4,04	4,07	4,04	4,15
24	3,56	3,74	4,00	3,43	4,02	3,99	4,00	4,08
26	3,52	3,63	3,97	3,45	4,02	3,91	3,96	4,03
28	3,49	3,53	3,94	3,50	4,04	3,85	3,94	3,99
30	3,48	3,44	3,93	3,58	4,07	3,80	3,94	3,96

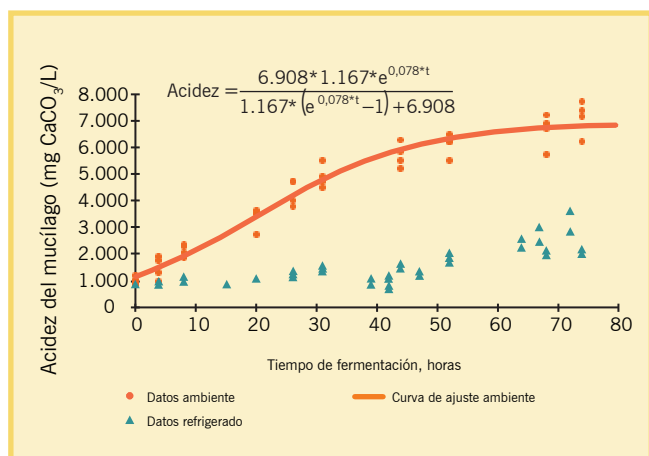


Figura 9. Cinética de la acidificación del mucílago de café durante la fermentación a temperatura ambiente de 20,5°C y en refrigeración a 6,6 °C.

la acidez del mucílago se mantiene por 20 a 25 horas como la del mucílago fresco (Figura 9). Por consiguiente, mediante la refrigeración, a temperaturas inferiores a 8°C, se conserva el mucílago y el café en baba.

Los valores de acidez inicial del café en baba dependen de la clasificación del fruto y del grano despulpado, así como del sistema de fermentación. En los sistemas sumergidos

el valor de la acidez total es menor que en los sistemas de sustrato sólido, por la disolución de las sustancias ácidas en el agua. Aunque en ambos sistemas la acidez aumenta con el tiempo de fermentación, los sistemas con agua son más homogéneos. De otra parte, para fermentaciones de sustrato sólido los contenidos de ácido acético y ácido láctico son similares a las 18 horas (0,16% en promedio), pero a las 42 horas, la concentración de ácido acético es de 0,36%, y del láctico de 0,24%.

La permanencia de los granos de café por tiempos prolongados en los ácidos producidos en la fermentación, en especial por el acético, ocasiona granos vinagres y, por lo tanto, sabores agrios y fermentos en la bebida.

Alcohol. El mucílago de café fresco contiene de 0,08% a 0,15% de alcohol, con un promedio de 0,12%. La curva que representa la formación de alcohol durante la fermentación del mucílago de café a temperatura ambiente de 20,5°C (Figura 10), muestra un aumento de la producción de alcohol en forma exponencial, luego se alcanza la máxima producción y posteriormente la concentración del producto en el sustrato se mantiene prácticamente constante.

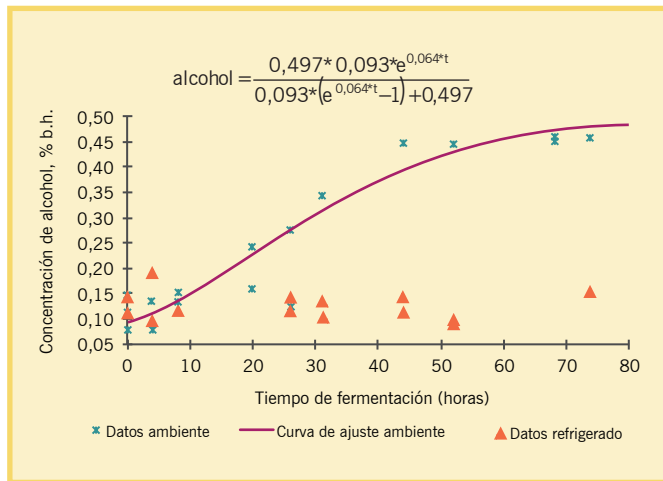


Figura 10. Cinética de la producción de etanol durante la fermentación del mucílago de café, a temperatura ambiente promedio 20,5 °C y en refrigeración a 6,6 °C.

La velocidad máxima de producción de etanol se presenta a las 22 horas; la máxima concentración de alcohol se produce a las 120 horas, con un valor de 0,50%; a las

44 horas se obtiene una concentración de 0,45% casi constante hasta las 74 horas de fermentación cuando el valor es de 0,46%. La velocidad de producción de etanol decrece con el tiempo, debido al consumo del sustrato, a la reducción de las levaduras, a las condiciones ácidas y a la misma presencia del etanol en el sustrato.

Dióxido de carbono. Se forma en las fermentaciones alcohólicas y heterolácticas, sale del medio en los sistemas abiertos, y en los sistemas cerrados contribuye a la acidificación del medio. Parte de las diferencias entre el peso del grano de café en baba a fermentar y después de la fermentación se deben a la formación y eliminación del CO₂ a partir del mucílago.

Tiempo de fermentación. Se recomienda fijar las horas de fermentación del café en cada finca. Con esta práctica se logra producir café de buena calidad y con características consistentes, optimizar los tiempos de los procesos del café en la finca y controlar la formación de los granos vinagres y de sabores agrios y fermentos en la bebida de café.

Buenas prácticas para lograr bebidas de café de buena calidad mediante la fermentación natural

Sustrato. Estandarizar la calidad del café en baba. Para esto es indispensable recolectar selectivamente los frutos maduros, efectuar las operaciones de selección de la cereza y del grano despulpado con el fin de retirar los frutos y granos verdes, secos, severamente dañados por la broca y también la pulpa.

Tanque fermentador. Usar tanques o recipientes limpios, de materiales inertes, superficies lisas y bordes redondeados, que puedan lavarse fácilmente. No se recomiendan fermentadores de madera ni de metales que se corroan, debido al medio ácido, tampoco se recomiendan superficies que desprendan pinturas. Es necesario mantener en buen estado y funcionamiento los desagües y tapones. Se pueden utilizar agitadores para mejorar la homogeneización del sustrato, aislar térmicamente el fermentador e incluir accesorios y equipos para la toma de muestras y el seguimiento del proceso. La capacidad de los tanques de fermentación debe ajustarse a la producción de café en la finca.

Controles. Fijar el tiempo de fermentación del café en cada finca y medir el pH, según el sistema de fermentación, así:

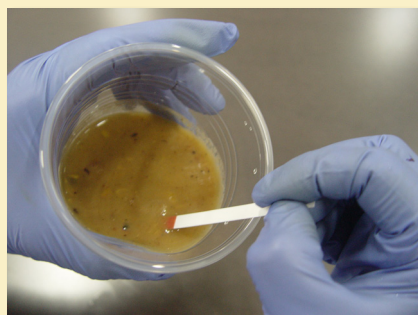
Para **fermentaciones de sustrato sólido en sistema abierto:**

- Escoger un número de horas fijo en un rango de **12 a 18** horas
- Depositar café en baba, previamente clasificado
- Iniciar la fermentación en la tarde (hacia las 4 ó 5 p.m.)
- Pesar la masa del café en baba depositado, no adicionar agua.
- Medir el pH inicial con pH-metro o con tiras de color, éstas se consiguen en rangos de medición de 2,5 a 4,5 y de 4,0 a 7,0, de resolución 0,2 y 0,3; por ejemplo, puede medir 5,3; 5,0; 4,7; 4,5; 4,4; etc.

- Medir los grados °Brix iniciales con un refractómetro portátil (Figura 11).
 - Interrumpir la fermentación al día siguiente, cuando se cumpla el tiempo fijado, así, para 14 horas, a las 6 ó 7 a.m. En este momento el pH del medio está entre 3,7 y 3,9, y los °Brix entre 15% y 17%
 - Drenar las mieles, estimar la cantidad total de agua para lavar, 2,0 L/kg café en baba
 - Lavar en cuatro enjuagues sucesivos, así: adicionar el 30% del agua, agitar, retirar impurezas y eliminar; adicionar 20% del agua, agitar y eliminar; agregar 20% del agua, agitar y eliminar; y agregar 30% del agua, agitar, eliminar y retirar impurezas
 - Escurrir los granos de café y extenderlos inmediatamente en los secadores, en capas delgadas
 - Disponer y tratar las mieles y aguas residuales
- Para fermentaciones de sustrato sumergido, en sistema abierto:**
- Fermentar por un tiempo fijo en la finca, entre **16 y 24 horas**
- Procesar café en baba maduro y seleccionado
 - Pesarse el café en baba, adicionar agua limpia en cantidad que corresponda al 30% del peso de café en baba
 - Iniciar la fermentación en la tarde, hacia las 4 p.m., medir el pH y los °Brix iniciales
 - Interrumpir la fermentación entre las 8 a.m. y las 4 p.m. del día siguiente, según el tiempo de fermentación que fije en la finca
 - Medir el pH final del mucílago de café fermentado, el cual a las 18 horas debe estar entre 3,9 y 4,2 y los °Brix estarían entre 5,8% y 7,9%
 - Retirar las aguas mieles del grano, estimar la cantidad de agua para lavar, 1,7 L/kg café en baba
 - Lavar en cuatro enjuagues sucesivos, así: adicionar el 30% del agua, agitar, retirar impurezas y eliminar; adicionar 20% del agua, agitar y eliminar; agregar 20% del agua, agitar y eliminar; y agregar 30% del agua, agitar, eliminar y retirar impurezas
 - Escurrir los granos de café y extenderlos en los secadores, en capas delgadas
 - Disponer y tratar las mieles y aguas residuales



Medición del pH del mucílago de café fermentado con pH-metro



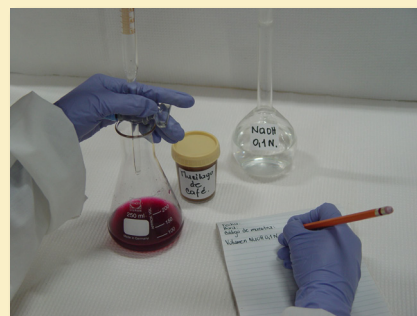
Medición del pH del mucílago de café fermentado con tiras de color



Lectura del pH del mucílago de café fermentado con tiras de color



Medición de los °Brix del mucílago de café fermentado con refractómetro



Valoración química de la acidez del mucílago de café fermentado

Figura 11. Mediciones químicas de control de la fermentación del mucílago de café.

Agradecimientos. A Gustavo Echeverry M., María Mercedes Botero B., Kevin Adolfo Hincapié V., Natalia Valencia V., Luisa Fernanda Gallego B., Claudia Patricia Gallego A., Diana Marcela Muñoz N., Hernando García O., y a los colaboradores de la Estación Naranjal por el suministro de café.

Literatura citada

1. AGATE, A.D.; BHAT, J.V. Role of pectinolytic yeasts in the degradation of mucilage layer of coffee robusta cherries. *Applied Microbiology* 14 (2):256-260. 1966.
2. BRAVERMAN, J.B.S. Introducción a la bioquímica de los alimentos. Barcelona : Ediciones Omega, 1967. 355 p.
3. CABELLO V., A.; RUIZ, J.S.; ORIHUELA A., M.L. Bacterial pectinase production using coffee pulp as substrate. *Revista Latinoamericana de Microbiología* 24(3):173-180. 1982.
4. CASTELEIN, J.M.; PILNIK, W. The properties of the pectate-lyase produced by *Erwinia dissolvens*, a coffee fermenting organism. *Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie* 9(5):277-283. 1976.
5. FRANK, H.A.; LUM, N.A.; CRUZ, A.S. DE LA. Bacteria responsible for mucilage-layer decomposition in Kona coffee cherries. *Applied Microbiology* 13(2): 201-207. 1965.
6. JARAMILLO R., A. Temperatura media, máxima, mínima y amplitud térmica para algunas localidades de la zona cafetera. p. 43. En: CLIMATOLOGÍA de la región andina de Colombia; microclima y fenología del cultivo del café. Cenicafé, 2000. 172 p.
7. MASOUD, W.; CESAR, L.B.; JESPERSEN, L.; JAKOBSEN, M. Yeast involved in fermentation of *Coffea arabica* in East Africa determined by genotyping and by direct denaturing gradient gel electrophoresis. *Yeast* 21: 549-556. 2004.
8. PUERTA Q., G. I. Efecto de enzimas pectolíticas en la remoción del mucílago de *Coffea arabica* L. según el desarrollo del fruto, *Cenicafé* 60(4): 291-312, 2009.
9. PUERTA Q., G. I. Fundamentos del proceso de fermentación en el beneficio del café, *Avances Técnicos Cenicafé* No. 402. 2010. 12 p.
10. PUERTA Q., G. I.; MARIN M., J. OSORIO B, G. A. Composición microbiológica del mucílago de café. p. 44-45. En: INFORME anual de actividades de investigación. Disciplina Química industrial, Cenicafé, 1996, p.v.
11. PUERTA Q., G. I.; RÍOS A., S. Composición química del mucílago de café. p. 2-3. En: INFORME anual de actividades de investigación. Disciplina Química industrial, Cenicafé, 1996, p.v.
12. VERHULST, P. F. Notice sur la loi que la population poursuit dans son accroissement. *Correspondance mathématique et physique* 10:113-121. 1838.

