

DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO Y NITRÓGENO TOTAL, DE LOS SUBPRODUCTOS DEL PROCESO TRADICIONAL DE BENEFICIO HÚMEDO DEL CAFÉ

Diego Antonio Zambrano-Franco*; Juan Diego Isaza Hinestroza**

RESUMEN

ZAMBRANO F., D.A. ; ISAZA H. , J. D. Demanda química de oxígeno y nitrógeno total, de los subproductos del proceso tradicional de beneficio húmedo del café. *Cenicafé* 49(4): 279-289. 1998.

Se cuantificó la demanda química de oxígeno DQO, el nitrógeno total Nt y la materia seca MS de los subproductos del proceso tradicional de beneficio húmedo de café PBHC, constituido por despulpado, transporte hidráulico de la pulpa y desmucilaginado por fermentación natural. Se beneficiaron 8 muestras con peso entre 25 y 32kg de café en cereza (CC), de *Coffea arabica* var. Caturra de recolección normal. El consumo de agua fue de 1,8L/kg CC. Se simularon el despulpado y la extracción sólido-líquido, colocando la pulpa, (P) en sacos bajo agua durante 18 horas, sin agitación. La fermentación del café en baba se efectuó durante 16 horas, a 20°C y permitió retirar el mucílago. El lavado se realizó en un tanque que no permitía el drenado, lo cual facilitó la obtención del agua residual. Por cada kilogramo de CC se obtuvieron 108,2g de subproductos secos (76,8% de P y 23,2% de M) de los cuales 1,84g correspondieron a Nt (75,4% de P y 24,6% de M), que produjeron 115,1g de DQO (73,7% de P y 26,3% de M). La pulpa después de su transporte hidráulico produjo un residuo líquido que contenía el 37,2% de su peso seco, quedando una pulpa lavada cuyo peso correspondió al 62,8% restante, equivalentes al 41,4% y 58,6% en términos de la DQO, respectivamente. El mucílago fermentado retirado después del lavado produjo un agua residual con contenido de materia soluble del 86,6%, causante del 78,3% de la DQO que genera este residuo.

Palabras claves: *Coffea arabica*, beneficio húmedo, aguas residuales, balance de subproductos, residuos, Nitrógeno total, DQO.

ABSTRACT

Chemical oxygen demand (COD), total nitrogen (Nt) and dry matter were quantified in the by-products generated in the wet processing, which includes depulping and hydraulic transport of the pulp, and withdrawal of mucilage by natural fermentation. Eight samples of 25-32kg of *Coffea arabica* cv. Caturra collected normally were processed. Total water consumption was 1,8L/kg of coffee (60% in depulping and 40% in washing). Placing the pulp (P) in sacks under water during 18 hours, without agitation simulated depulping and solid-liquid extraction processes. Fermentation of coffee for mucilage (M) removal was made during 16 hours, at 20°C. A pilot tank for retention of drained liquids was constructed to obtain the total residual washing water. For every kilogram of processed coffee, 108,2g of dry by-products were obtained (76,8% P and 23,2% M), out of which 1,84g were Nt (75,4% P and 24,6% M) producing 115,1g of COD (73,7% P and 26,3% M). The pulp, after hydraulic transport, produced a liquid residue containing 37,2% of dry weight, and the remaining washed pulp accounted for the other 62,8%, equivalent to 41,4% and 58,6% in terms of COD, respectively. Fermented mucilage withdrawn after washing produced residual water, with 86,6% contents of soluble matter, causing 78,3% of COD generated by this residue.

Keywords: *Coffea arabica*, wet processing, wastewaters, by-products balance, wastes, total nitrogen, COD.

* Investigador Científico I. Química Industrial. Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. Chinchiná, Caldas, Colombia.

** Licenciado en Química y Biología. Fábrica de Café Liofilizado. Chinchiná, Caldas, Colombia.

La producción mundial de café es del orden de seis millones de toneladas de café verde. En Colombia, Kenya y varios países centroamericanos, el café arábico se recolecta manualmente y se procesa o beneficia por vía húmeda; por tanto, en los países donde esto ocurre se produce la calidad de café denominada, café suave. El 47,6% del mercado mundial corresponde a los cafés suaves (9). En Colombia el proceso de beneficio comienza con la recolección manual de cerezas maduras, característica que genera una calidad de café muy estimada por los consumidores, pero puede llegar a generar una alta contaminación del agua y del medio ambiente.

Por cada 10 millones de sacos de 60 kilos de café verde que se producen en Colombia, la pulpa y el mucílago como subproductos secos del proceso convencional de beneficio húmedo del café PBHC, equivalen a 373 mil toneladas, teniendo en cuenta factores de conversión encontrados Calle (6), Uribe (19) y Zambrano (25). En el caso de que estos subproductos no

se utilicen o se dispongan convenientemente para su descomposición, se pueden convertir en una fuente de contaminación del medio ambiente (25, 26, 28).

Convencionalmente, la pulpa al ser transportada con el agua durante la operación de despulpado, lixivia compuestos que contaminan el agua generando las aguas residuales de despulpado, D y como consecuencia, queda en las fosas una pulpa lavada, PL, que se utiliza para su descomposición (26). Tradicionalmente, el mucílago se remueve del grano mediante la fermentación natural y se lava con agua limpia generando las aguas residuales del lavado del café, L (Figura 1).

En términos de contaminación acuática, la Demanda Química de Oxígeno, DQO, es un análisis de laboratorio que permite determinar químicamente la cantidad de oxígeno que se requiere para oxidar la materia orgánica presente en una muestra de agua residual. Análogamente, mediante la determinación del

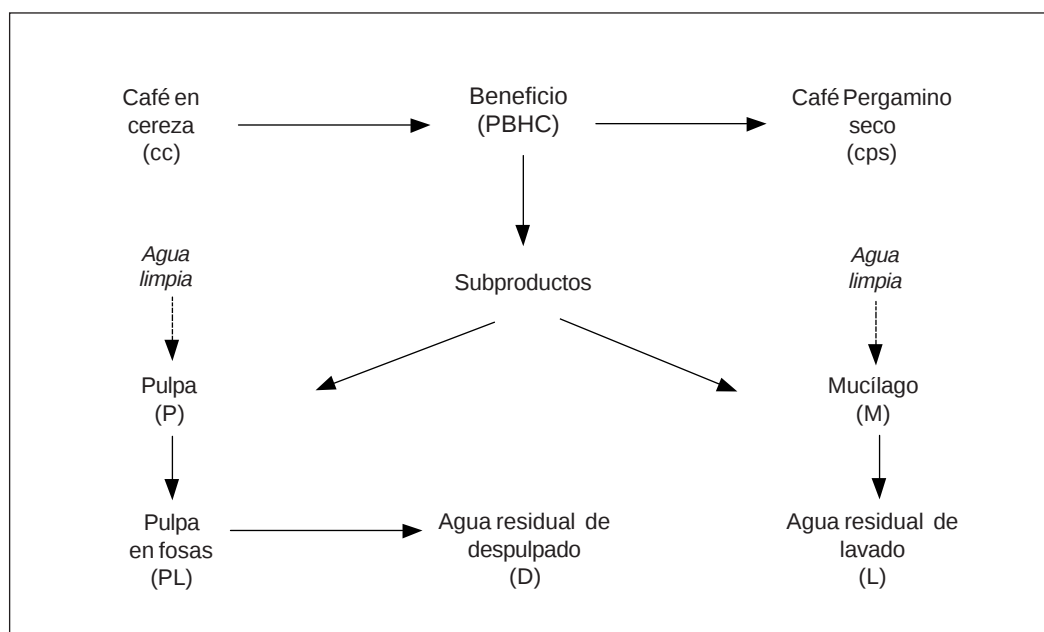


Figura 1. Proceso convencional de beneficio húmedo de café.

Nitrógeno total, Nt, se conoce la proporción presente de este elemento para ajustar la relación C/N, la cual permite el desempeño óptimo de sistemas biológicos de tratamiento (22). Lo anterior se traduce en un indicador para el aprovechamiento de este elemento después de su tratamiento.

La cuantificación de la Demanda Química de Oxígeno en los subproductos del PBHC ha permitido a Cenicafé plantear estrategias para disminuir la contaminación producida durante el beneficio húmedo del café y estimar la problemática de contaminación que producen la pulpa y el mucílago cuando se disponen directamente sobre las corrientes de agua (25, 26, 28). Por otro lado, los valores de nitrógeno total encontrados han permitido detectar la potencialidad de los subproductos para la producción de abono orgánico, que se obtiene utilizando el vermicompostaje con la lombriz roja (*Eisenia foetida*) ó el compostaje de la pulpa (3, 4, 12, 13, 20).

Este estudio tuvo como propósito principal evaluar simultáneamente la distribución de la Demanda Química de Oxígeno, la materia seca, MS y el Nitrógeno total, los cuales son tres de los parámetros fundamentales para determinar el poder contaminante de un residuo sobre las corrientes de agua.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó en el laboratorio de Biodigestión Anaerobia de Cenicafé, Chinchiná, ubicado a 5° 00' de latitud norte y 75° 36' de longitud oeste a una altitud de 1.310 msnm, con temperatura promedio anual de 21,6°C (7).

Se simuló el PBHC bajo condiciones controladas de laboratorio sobre 8 muestras de café en cereza *Coffea arabica* variedad Caturra (CC)

con pesos comprendidos entre 25 y 32kg, utilizando frutos de recolección normal con diferentes estados de madurez: 40% maduros, 20% pintones, 20% sobremaduros y 20% entre frutos verdes y marrones. Se utilizó un consumo total de agua de 1,8L/kg de CC, de los cuales 60 % se destinaron en la operación de despulpado y el 40% en el lavado del café.

Se simuló el despulpado y los fenómenos de extracción sólido-líquido ocurridos a gran escala, colocando la pulpa en sacos y dejándola sumergida en agua durante 8 horas, sin agitación. La temperatura promedio del agua fue de 18°C. El café en baba se transportó en seco hasta un tanque piloto de fermentación donde se efectuó la remoción del mucílago por fermentación natural, durante períodos de 16 horas y una temperatura en la masa de 20°C. La Figura 2 muestra en un diagrama de flujo la metodología utilizada para el beneficio de las muestras de café en cereza, lo mismo que para la obtención y preparación de las muestras de agua residual.

La Demanda Química de Oxígeno se determinó por el método del dicromato de potasio (2), el Nitrógeno total según kjeldahl (18) y la materia seca por el método de la estufa a 105°C durante 16 horas, utilizando para los sólidos insolubles papel de filtro GF/C, 1,2mm (2).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 1 se presentan las características encontradas para la pulpa fresca, P. Son éstas: un contenido de humedad del 78,0 %, similar al registrado por Bressani (5), Calle (6), Rodríguez (16) y Zambrano y Zuluaga (26). Este valor permitió calcular un peso de 83,1g de pulpa seca por kilogramo de cc, similar a lo reportado por Bressani (5) y Zambrano y Zuluaga (26). En este mismo residuo se encontró una relación

TABLA 1. Características de la pulpa fresca de *Coffea arabica* var. Caturra, obtenida mediante despulpado sin agua.

	Humedad (%)	MS (g/kg CC)	DQOt/MS (*)	Nt x 100/MS (%)
Promedio	78,0	83,1	1,02	1,67
Muestras	5	5	4	3
C.V.	6,0	1,5	2,9	9,1

* Adimensional

DQO/MS de 1,02 que corresponde a una DQO producida de 84,8g O₂/kg de CC. El contenido de Nt fue de 1,67%, similar al reportado por Blandon equivalente a 1,76% (4) y superior al registrado por Rodríguez (16) de 1,14% y Zuluaga (27) de 1,32%. Calle (6) registró para la pulpa contenidos de Nt entre 1,25% y 1,68%. De acuerdo con lo anterior, en este trabajo se calculó para la pulpa un peso de 1388mg de nitrógeno por cada kilo de café en cereza procesado.

En la Tabla 2 se presentan las características del agua residual derivada de la operación de despulpado y arrastre de pulpa con agua, D. Se encontró una concentración de sólidos totales, ST en este residuo de 32459ppm, lo que permite calcular un valor de 31,0g de MS/kg de cc que se retira de la pulpa por el uso del agua durante esta operación, correspondiente a 37,2 % de su peso original evaluado para la pulpa fresca en la Tabla 1. En la misma Tabla se

presentan las características evaluadas para D, tales como relaciones entre la Demanda Química de Oxígeno: total DQOt, filtrada DQOf y sólida soluble DQOd; Sólidos: totales ST e insolubles SS; Nitrógeno total kjeldahl evaluado sobre: muestra completa Nt y sobre el filtrado de la muestra Nf.

Análogamente, como se hizo para la materia seca, se encontró que el agua después del contacto con la pulpa se lleva consigo el 40,1% de su nitrógeno total y el 41,4% de la DQO contenidos originalmente en este subproducto. De acuerdo con lo anterior, para D se puede calcular un contenido de 555mgN/kg de cc y DQO de 35,1g O₂/kg de cc. El material soluble correspondió al 98,1% de la MS, al 94,4% del Nt y al 91,1% de la DQO contenidos en este residuo líquido.

Para este trabajo, donde se utilizó un consumo de agua para el despulpado equivalente a

TABLA 2. Demanda química de oxígeno, sólidos y nitrógeno total de aguas residuales de despulpado, D: 1,08 litros/kg CC de café *Coffea arabica* var. Caturra.

	DQOt (ppm)	DQOf x 100 DQOt (%)	DQOd x 100 DQOt (%)	ST (ppm)	SS x 100/ST (%)	DQOt/Nt (*)	Nf x 100/Nt (%)
Promedio	32.459	91,1	85,3	28.669	1,9	63,2	94,4
Muestras	8	8	3	8	8	3	3
CV	7,8	4,0	5,9	8,0	28,5	7,4	2,9

* Adimensional

CV= Coeficiente de variación.

1,08L/kg de cc, se puede calcular un total de sólidos solubles retirados de la pulpa por el agua de 30,4g/kg de CC. Zambrano (24), al simular el despulpado con consumos de agua elevados (46705L/kg de CC), encontró que el valor máximo de los sólidos solubles que puede retirar el agua de la pulpa, puede estar cercano a 37,3g/kg de CC. Rodríguez (16) registró un valor de sólidos solubles extraídos de la pulpa por el agua entre 22,3 y 31,9g/kg de CC, simulando despulpado con consumos de 0,17L/kg de CC.

Lo dicho anteriormente permite concluir que los sólidos solubles de la pulpa se difunden rápidamente en el agua, lo cual hace de este subproducto un agente contaminante que merece especial atención por la facilidad con que puede ocasionar problemas durante el PBHC. Según Zuluaga (27), este material está compuesto principalmente por hidratos de carbono en los que sobresalen los azúcares: fructuosa, glucosa y galactosa; además, proteínas, compuestos polifenólicos del tipo de los ácidos clorogénico y cafeico, taninos y cafeína, así como pequeñas cantidades de colorantes naturales del tipo de las antocianinas, que según el mismo autor, permiten esperar que una buena proporción de la materia seca de la pulpa sea altamente soluble en agua y en consecuencia, se disuelva rápidamente en ella al entrar en contacto. Según Field (10) el 8% de la DQO de D no se degrada anaeróbiamente por estar en forma de compuestos fenólicos, lo que limita su tratamiento utilizando biodigestión anaerobia.

La Tabla 3 presenta características del mucílago puro, obtenidas después de su fermentación y evaluadas sin tener en cuenta la adición de agua durante la operación de lavado. El volumen obtenido de este subproducto líquido fue de 122ml/kg de CC con una concentración de 248700mg/L, lo que permite calcular una DQO de 30,34g O₂/kg de CC. A partir de la Tabla 4 se puede calcular una DQO para aguas residuales de lavado del café, L, de 30,28g O₂/

TABLA 3. Características del mucílago fermentado de café *Coffea arabica* var. Caturra.

	Volumen (ml/kg CC)	DQOt (ppm)
Promedio	122	248.700
Muestras	4	4
C.V.	1,9	2,9

kg de CC, lo que equivale a un promedio de 30,31g O₂/kg de cc para este residuo.

Para mezclas de café en cereza, CC de *Coffea arabica* de las variedades Caturra y Colombia utilizando frutos de recolección normal, Zambrano e Isaza (25) encontraron un volumen de mucílago fermentado de 91 ml/kg de cc con un contenido de MS de 19,8g/kg de CC, lo que permite estimar una DQO de 23,8g O₂/kg de cc calculada a partir de la relación DQO/MS igual a 1,2 y obtenida de la Tabla 4.

De igual forma, en la Tabla 4 se puede observar una relación de DQO/Nt equivalente a 67,8 lo cual permite estimar el nitrógeno total presente en L, de 447mg N/kg de CC. Se puede calcular que el material soluble presente en L correspondió al 86,6% de los sólidos totales, al 69,2% del Nt y al 78,5% de la DQO, provenientes del mucílago fermentado retirado durante la operación de lavado del PBHC.

A partir de las Tablas 2 y 4, que reúnen la información concerniente a aguas residuales del PBHC: D y L, se puede calcular que D es responsable del 53,7% de la contaminación expresada como DQO y L del 46,3% restante. Field (10) estima esta proporción en 44% y 56%, respectivamente.

Por otro lado, las Tablas 2 y 4 incluyen valores de la demanda química de oxígeno que generan los sólidos solubles en agua DQOd, obtenida después de evaporar, secar y diluir

TABLA 4. Demanda química de oxígeno, sólidos y nitrógeno en aguas residuales de lavado (L): 0,84 litros/kg CC (**) de café *Coffea arabica* var. Caturra.

	DQOt (ppm)	DQOf x 100 DQOt (%)	DQOd x 100 DQOt (%)	ST (ppm)	SS x 100/ST (%)	DQOt/Nt (*)	Nf x 100/Nt (%)
Promedio	36.044	78,5	70,4	29.900	13,4	67,8	69,2
Muestras	8	8	4	8	8	3	3
CV	9,7	6,4	6,2	8,9	13,5	4,0	10,6

(*) Adimencional (**) 0,72 agua + 0,12 mucílago.

alícuotas de agua residual hasta su volumen original V (Figura 2). La diferencia entre los valores de Demanda Química de Oxígeno de la muestra filtrada DQOf y de la muestra con sólidos solubles DQOd, permite establecer la DQO generada por los ácidos grasos volátiles presentes en forma líquida en los residuos y que corresponde a 5,8% y 8,1% de la DQOt para D y L, respectivamente. Esto significa que si la DQOt de D es 32459ppm (100%), de ellas, 27687ppm (85,3%) corresponden a sólidos solubles, 1883ppm (5,8%) a los ácidos grasos volátiles y 2889ppm (8,9%) a los sólidos insolubles en agua. De manera análoga, si la DQOt de L es 36044ppm (100%), de ellas el 70,4% corresponden a sólidos solubles, 8,1% a los ácidos grasos volátiles y 21,5% a los sólidos insolubles, tales como la pectina que hace parte de la composición química del mucílago.

La Tabla 5 reúne la caracterización realizada a la mezcla entre D y L. Para este conjunto se pueden calcular valores de MS= 55,0g/kg de cc, DQO= 63,37g O₂/kg de CC y Nt= 929mgN/kg de cc. Estos mismos valores calculados a partir de las Tablas 2 y 4 son MS= 56,08g/kg de cc, DQO= 65,37g O₂/kg de CC y Nt=1002mg N/kg de CC, lo que equivale a un valor promedio de 55,53g/kg de cc, 64,37g O₂/kg CC y 966mg N/kg de CC, respectivamente.

La Tabla 6 reúne los valores obtenidos por el procesamiento matemático de la informa-

ción contenida en las Tablas 1 a 5. Se muestran valores porcentuales de DQO, Nt y MS de los subproductos del PBHC y sus derivados. Para el caso de este estudio se calcula que por cada kilogramo de cc que se benefició, de los subproductos P y M se obtuvieron 108,2g de materia seca (76,8% en P), 1,82g de nitrógeno (76,3% en P), y 115,1g de DQO (73,7% de P).

Las Figuras 3, 4, y 5 se obtienen de elaborar gráficas con toda la información obtenida durante este estudio. Ellas reúnen la distribución porcentual de la DQO, Nt y MS de los subproductos de un proceso convencional de beneficio húmedo del café. De acuerdo con la Figura 3, es indudable que la pulpa del café es el subproducto del PBHC que mayor problema de contaminación hídrica puede ocasionar, si no se maneja y dispone adecuadamente en el

TABLA 5. Demanda química de oxígeno, nitrógeno y sólidos totales de la mezcla de aguas residuales de despulpado y lavado de café *Coffea arabica* var. Caturra. (D+L) : 1,92 litros/kg CC.

	DQOt (ppm)	DQOt/Nt (*)	ST (ppm)
Promedio	33.007	68,2	28.636
Muestras	8	8	8
CV	6,2	9,9	6,8

(*) Adimensional.

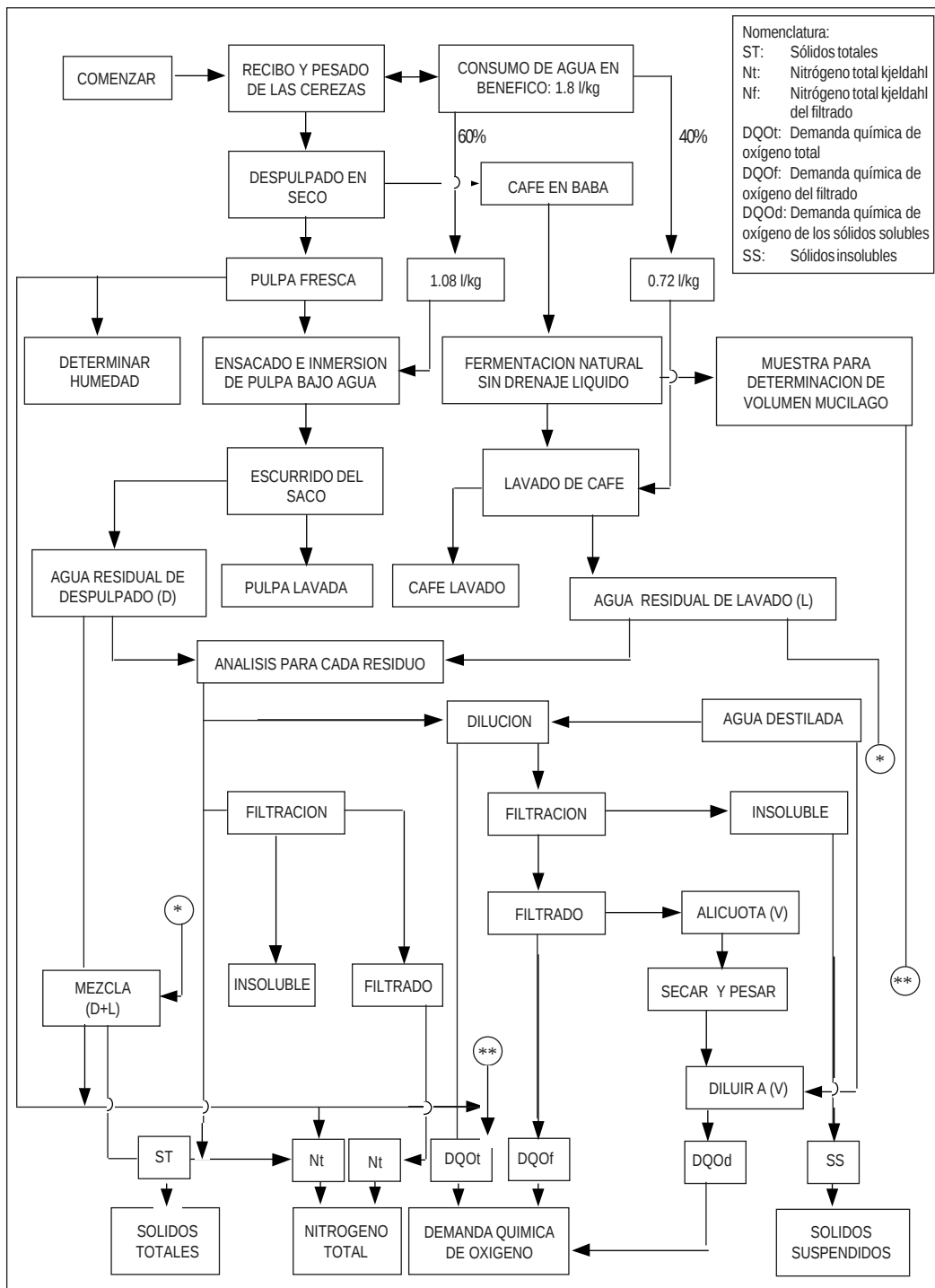


Figura 2. Beneficio húmedo de las muestras de café *Coffea arabica* var. Caturra.

SUBPRODUCTOS PBHC

PULPA FRESCA P				MUCÍLAGO M		
Agua residual D			Pulpa de fosas (PL) (%)	Agua residual L		
Soluble		Insoluble		Soluble		Insoluble
Sólido (%)	Líquido (%)	(%)		Sólido (%)	Líquido (%)	(%)

DQO

26,0	1,8	2,7	43,2	18,5	2,1	5,7
27,8		2,7	43,2	20,6		5,7
30,5			43,2	26,3		
73,7				26,3		

Nt

27,8	1,6	46,9	16,4	7,3
29,4		46,9	23,7	
76,3			23,7	

MS

28,1	0,5	48,2	20,1	3,1
28,6		48,2	23,2	
76,8			23,2	

TABLA 6. Distribución porcentual de la Demanda Química de Oxígeno (DQO), Nitrogeno Total kjeldhal (Nt) y Materia seca (M.S.) de los subproductos del café provenientes del proceso tradicional de beneficio húmedo de café (PBHC). 100% DQO= 115,1 gO₂/kg CC; 100% Nt= 1819 mgN/kg CC; 100% M.S. = 108,2 g/kg CC.

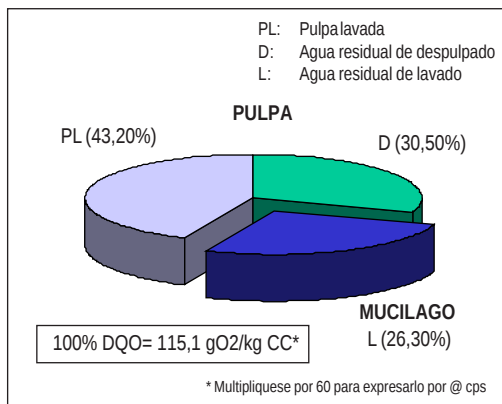


Figura 3. Demanda Química de Oxígeno (DQO) de los subproductos del beneficio húmedo de café.

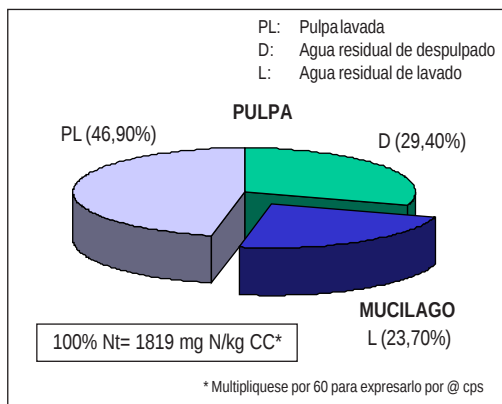


Figura 4. Nitrógeno Total Kjeldhal (Nt) de los subproductos del beneficio húmedo de café.

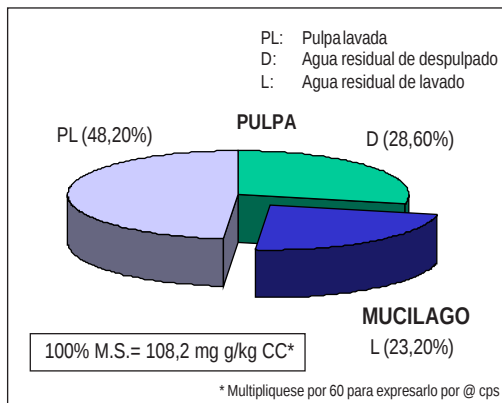


Figura 5. Materia seca (M.S.) de los subproductos del beneficio húmedo de café.

medio ambiente. Lo anterior pone la tecnología de despulpado y transporte de la pulpa sin agua (1) como la principal estrategia para reducir contaminación ambiental por subproductos del PBHC. Por cada 10 millones de sacos de 60 kilos de café verde producidos anualmente en Colombia, la tecnología de despulpado y transporte de pulpa sin agua, permite una economía de 16,3 millones de metros cúbicos de agua limpia, suficientes para abastecer el consumo anual de una población de 223 mil habitantes, asumiendo un consumo diario de 200 litros de agua por habitante, según lo reportado por Veenstra para América Latina (23) y un consumo de agua entre 20 y 25L/kg cps para el despulpado y transporte de la pulpa con agua (8).

Por otro lado, la pulpa del café descompuesta es una fuente excelente de materia orgánica para el suelo. La materia orgánica descompuesta aeróbicamente se utiliza como abono orgánico en forma de composte. El composte de pulpa es un material de consistencia arcillosa, rico en nitrógeno, fósforo y potasio, con excelentes propiedades acondicionadoras del suelo, conformada entre otros por minerales y una amplia variedad de microorganismos que representa un papel importante para el desarrollo de las plantas. A lo anterior debe sumarse que los fertilizantes presentes en este tipo de abono orgánico se van disponiendo lentamente en el suelo, lo que permite aumentar su aprovechamiento mejorando las propiedades físicas del suelo (11, 12, 13, 14, 15, 20).

En los subproductos del PBHC la pulpa ofrece la mayor fuente de nitrógeno; así se puede deducir de la Figura 4, donde el nitrógeno corresponde a las tres cuartas partes del nitrógeno total contenido en los subproductos del PBHC. Si se transporta este subproducto con agua se puede reducir drásticamente este elemento. Blandon (4) encontró que durante el compostaje aeróbico de la pulpa de café obtenida sin agua, cada 100kg de pulpa fresca (b.s.)

(1,76% de Nt) producían 16,1kg de composte de pulpa (b.s.) (4,24% de Nt), lo que equivale a una pérdida durante el compostaje del 61,2% del nitrógeno original contenido en este subproducto, el cual seguramente es liberado en forma de NH_3 que se produce dentro de las fermentaciones aeróbicas (12).

A partir de lo anterior se puede estimar que de 1388mg de nitrógeno contenidos inicialmente en la pulpa fresca procedente de un kilogramo de café en cereza, se producirían por compostaje de este residuo un total de 538mg de nitrógeno. De la pulpa obtenida del beneficio húmedo para producir 10 millones de sacos de 60 kilos de café verde, es posible obtener 1280 toneladas de nitrógeno contenidas en 30180 toneladas de composte ó abono orgánico, cantidad equivalente al nitrógeno contenido en 2740 toneladas de urea, equivalentes al 5,8% registrado por la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia para el año de 1995 (21).

AGRADECIMIENTOS

Al ingeniero químico Nelson Rodríguez Valencia por su colaboración en la revisión efectuada en los cálculos matemáticos.

Al doctor Jaime Zuluaga Vasco (Químico, Ph.D.), Mario Antonio Franco Jiménez (Ingeniero Industrial), Rubén Elías Castellanos (Ingeniero Químico), Luz Patricia Quevedo (Química).

LITERATURA CITADA

1. ALVAREZ G., J. Despulpado de café sin agua. Avances Técnicos Cenicafé No. 164:1-6. 1991
2. AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. Standard methods for the examination of water, sewage and industrial wastes. 15. ed. New York, 1985. 1134 p.
3. ARANDA, E. El vermicompostaje: Una nueva alternativa para la transformación de la pulpa de café en abono orgánico. In: SEMINARIO Internacional Sobre Biotecnología en la Agroindustria Cafetalera , 2. Manizales , 4-7 de Noviembre de 1991.
4. BLANDON C., G. Caracterización microbiológica cualitativa de la flora presente en el producto final del compostaje de pulpa de café. Manizales, Universidad Católica, 1996. 120 p. (Tesis : Bacteriología).
5. BRESSANI, R. Subproductos frutos del café. In: BRAHAM, J. E. ; BRESSANI, R. Pulpa de café: composicion, tecnología y utilización. Ottawa, IDRC-INCAP, 1978. p.13-14.
6. CALLE V., H. Subproductos del café. Chinchiná, Cenicafé, 1977. 84 p. (Boletín Técnico N.6)
7. CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFE. CENICAFE. Anuario meteorológico 1990. Chinchiná, Cenicafé, 1992. p 63.
8. FEDERACION NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA. FEDERACAFE. Manual del cafetero colombiano . 4. ed. Chinchiná, Cenicafé, 1979. 168 p.
9. FEDERACION NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA. GERENCIA GENERAL. Informe del Gerente General al LI Congreso Nacional. Santafé de Bogotá, FEDERACAFE,. 1992. 45 p.
10. FIELD, J. Aguas residuales de café. In: Arranque y operación de sistemas de flujo ascendente con manto de lodos -UASB-. Manual del curso. Santiago de Cali, Noviembre, 1987. p. H1-H11.
11. HERNÁNDEZ J., E. Interacción planta-microorganismos. In: GONZÁLEZ, L. J.; LLUCH, P. C. Interacción planta-microorganismos : biología del nitrógeno. Madrid, Rueda, 1992. p. 13-23.
12. LEON, L. R. DE. Degradación aeróbica termofílica. Su aplicación en el manejo de desechos sólidos. In: SIMPOSIO sobre Fermentaciones en Sustratos Sólidos. Tegucigalpa, Agosto 2-4 de 1982. Guatemala, ICATI, 1982. P. 3.1 - 3.18.
13. MONTERO H., M. Elaboración de bioabonos a partir de la pulpa de café. Heredia, Centro de Investigaciones en Café, 1992. 18p.

14. MUSTIN, M. Le compost. Gestion de la matiere organique. Paris, Editions Francois Dubusc, 1987. 954 p.
15. RODALE, J. I. The complete book of composting. Emmaus, Rodale Books, 1971. 1007 p.
16. RODRIGUEZ V., N. Utilización de la pulpa de café para el cultivo de hongos comestibles del género *Pleurotus*. In: CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFÉ. Cenicafé. Informe anual de actividades de la Disciplina de Química Industrial 1992-1993. Chinchiná, Cenicafé, 1993. P. 15. (Mecanografiado).
17. SUBBARAO, N. S. Biofertilizers in agriculture. 2. Ed. Nueva Delhi, Oxford and IBH Publishing, 1992. 208 p.
18. UGRINOVITS, M. Kjeldahl nitrogen determination with various catalysts. Falta ciudad, International Laboratory, 1982. 15p.
19. URIBE H., A. Constantes físicas y factores de conversión en café. Avances Técnicos Cenicafé No 65: 1-4. 1977.
20. URIBE H., A.; SALAZAR A., N. La pulpa de café es un excelente abono. Avances Técnicos Cenicafe No 111:1-6. 1983.
21. VALENCIA A., G.; CARRILLOP., I.F.; ESTRADA H., L.I. La fertilización moderna de la caficultura colombiana. Chinchiná, Cenicafé, 1996.
22. VALLES, S.; FLORS, A.; LEQUERICA, J.; MADARRO, A. Producción de metano por fermentación anaerobia. I. Descripción del proceso. Revista de Agroquímica y Tecnología de Alimentos 20(2): 197. 1980.
23. VEENSTRA, I.R.S. Recovery of biogas from landfill sites. In: CURSO Taller Internacional sobre Tratamiento Anaerobio de Aguas Residuales. Santiago de Cali, Universidad del Valle, 1995.
24. ZAMBRANO F., D. Contenido de solubles en la pulpa de café con diversas relaciones de extracción agua-pulpa. Chinchiná, Cenicafé. Disciplina de Química Industrial, 1987. (Oficio interno del 27 de mayo de 1987).
25. ZAMBRANO F., D.; ISAZA H., J.D. Lavado del café en los tanques de fermentación. Cenicafé 45(3):106-118. 1994.
26. ZAMBRANO, D.; ZULUAGA, J. Balance de materia en un proceso de beneficio húmedo del café. Cenicafé 44(2): 45-55. 1993.
27. ZULUAGA V., J. Contribution a l'etude de la composition chimique de la pulpe de cafe *Coffea arabica* L. Neuchâtel, Université de Neuchâtel, 1981. 93p. (These : Docteur ès Sciences)
28. ZULUAGA V., J.; ZAMBRANO F., D. A. Manejo del agua en el proceso de beneficio húmedo del café para el control de la contaminación. Avances Técnicos Cenicafé No. 187:1-8. 1993.