

Optimización del uso del agua en el lavado del café.

Optimization of water use in washing coffee.

Carlos López Blanco.

RESUMEN:

El proceso de transformación del café en Bolivia es por vía húmeda en un 100%, siendo el agua el insumo principal. En zonas productoras como los Yungas paceño, se usa el agua disponible en grandes cantidades, dificultando la estimación de gasto y contaminación. El objetivo del trabajo fue estudiar la optimización del uso de agua en el lavado del café, en tanques de fermentación modificado, realizado en la empresa AGROTAKESI S.A., Chojlla, municipio de Yanacachi, durante el año 2010. Las variables estudiadas fueron: la calidad y disponibilidad del agua, las "constantes físicas" y "factores de conversión", el lavado del café, en el sistema convencional y en tanques modificado (a nivel de laboratorio y piloto). La calidad del agua a nivel de campo y laboratorio se clasificó de buena, sin restricción de uso, con oferta de 0,29 L.s⁻¹, cubriendo la demanda actual. Las constantes y los factores indicaron que el café de la zona es de menor tamaño y peso, requiriendo de 5 kg de cg para obtener 1 kg de cps. El lavado bajo el sistema convencional en canal de correteo manifestó un gasto de agua de 33,8 L.kg⁻¹ cps. En tanque modificado, a "nivel de laboratorio", en lavado discontinuo se obtuvo drenajes con contenidos de mucilago de 20,7; 44,7; 22,5; 10,1 y 2,0% en drenaje de fermento (DF), I, II, III y IV enjuague. Después del II enjuague, se acumuló el 55,1% del total de agua residual con 87,9% de retiro de mucilago, convirtiendo al DF y los enjuagues I y II en las principales fuentes de contaminación. A "escala piloto", el gasto de agua fue de 5,3 L.kg⁻¹ cps. La innovación tecnológica con la adaptación interna del tanque de fermentación convencional para el lavado discontinuo, permitió reducir el gasto de agua en 84%, con relación al lavado convencional.

PALABRAS CLAVE:

Sistema convencional, drenaje, agua residual, mucilago, café pergamino seco (cps).

ABSTRACT:

The process of transformation of coffee in Bolivia is 100% wet, with water being the main input. In producing areas such as the Yungas of La Paz, the available water is used in large quantities, making it difficult to estimate expenditure and pollution. The objective of this work was to study the optimization of water use in coffee washing in modified fermentation tanks carried out at AGROTAKESI SA, Chojlla, Yanacachi municipality, during 2010. The variables studied were: quality and Availability of water, "physical constants" and "conversion factors", coffee washing, in the conventional system and in modified tanks (laboratory and pilot level). The water quality at the field and laboratory level was classified as good, without restriction of use, with supply of 0,29 L.s⁻¹, covering current demand. The constants and the factors indicated that the coffee of the zone is of smaller size and weight, requiring of 5 kg of cg to obtain 1 kg of cps. The washing under the conventional system in runner channel showed a water expense of 33,8 L.kg⁻¹ cps. In a modified tank, at "laboratory level", drains with mucilage contents of 20,7 were obtained in discontinuous washing: 44,7; 22,5; 10,1 and 2,0% in yeast drainage (DF), I, II, III and IV rinse. After the second rinse, 55,1% of the total wastewater was accumulated with 87,9% of mucilage removal, converting DF and rinses I and II into the main sources of contamination. At "pilot scale", the water expenditure was 5,3 L.kg⁻¹ cps. The technological innovation with the internal adaptation of the conventional fermentation tank for the discontinuous washing, allowed to reduce the expenditure of water in 84%, compared to the conventional washing.

KEYWORDS:

Conventional system, drainage, wastewater, mucilage, dry parchment coffee (cps).

AUTOR:

Carlos López Blanco. Docente Investigador Facultad de Agronomía, Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, Bolivia.

Recibido: 30/08/16. Aprobado: 12/12/16.

INTRODUCCION

El proceso de transformación del café en Bolivia es por vía húmeda en un 100%, dentro la calificación de "café suaves", con características propias de calidad.

A partir del año 2002, en zonas productoras, como los Yungas de La Paz, se implementaron plantas centralizadas de prebeneficio húmedo, con el fin de contar con granos homogéneos en características físicas. Debido a varios factores, entre ellos la falta de

agua, solo el 20% de las plantas instaladas está en funcionamiento, indicando una inversión ineficiente.

El agua es el insumo principal para el prebeneficiado del café, en el pelado, transporte y lavado, siendo un parámetro de evaluación para la certificación de calidad. Las organizaciones cafetaleras cuentan con acceso al agua (malo, regular y bueno), proveniente de ríos, quebradas y vertientes. Para separar físicamente la pulpa y mucilago del café fermentado, se usa el agua disponible en grandes volúmenes, dificultando la estimación de gasto y la contaminación. Por consiguiente, el objetivo del trabajo fue estudiar la optimización del uso del agua en el lavado del café, en tanques de fermentación modificado.

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente estudio se realizó en la empresa agrícola AGROTAKESI S.A., Chojlla, municipio de Yanacachi, Provincia Sud Yungas del departamento de La Paz. Geográficamente ubicado a 16° 24' 25'' de Latitud Sur y 67° 41' 10'' de Longitud Oeste, a una altura promedio de 2000 m.s.n.m., la precipitación pluvial oscila entre 950 a 1000 mm. año⁻¹; la temperatura anual entre 19,5 a 21 °C, y la humedad relativa de 81% (FONADAL, 2010). El método de trabajo se basó en las siguientes variables de estudio:

Estudio de la calidad y disponibilidad de agua para el lavado del café en la zona

Calidad del agua a en campo y laboratorio, para campo se utilizó la valoración Stream Visual Assessment Protocol (SVAP), guía de evaluación con indicadores biológicos con puntajes de 1 a 10, adaptada al área de la vertiente “El Chuzal”, comparando los resultados (Cuadro 1). Para *laboratorio*, se envió la muestra de agua recolectada al Instituto de Ingeniería Sanitaria y Ambiental de la UMSA, para su análisis químico. En la *Disponibilidad*, se midió el caudal de oferta de agua en época seca (agosto y septiembre).

Cuadro 1. Valoración de calidad del agua (SVAP).

| Rango de puntaje | Clase de agua |
|------------------|---------------|
| 9,6 a 10,0 | Excelente |
| 7,7 a 8,5 | Bueno |
| 6,1 a 7,0 | Regular |
| 3,1 a 5,3 | Pobre |
| 1,0 a 2,2 | Muy pobre |

Fuente: Mafla *et al.* (2005); cit. por Arce y Leiva (2009).

Estudio de las constantes físicas y factores de conversión del café

Con la recomendación de CENICAFE (1995), se determinó las “constantes físicas” y los “factores de conversión” de los diferentes estados del café para la zona. Los resultados se cotejaron con lo obtenido por el Centro de Preparación del Café (CPC), Colombia, con datos estándar validados con investigación.

Evaluación del lavado del café

- Estimación de gasto de agua en el lavado convencional

Realizado en la planta de prebeneficio húmedo de la empresa, se utilizó un tanque de fermentación de capacidad de 1 m³ de café baba (*cb*), y el canal de correteo con pendiente menor a 1%. Se evaluó el gasto de agua en 31 muestras de *cg* (36 a 631 kg), con la participación de personal designado con bastante experiencia. Se determinó la relación volumen de agua/peso de café y el tiempo de operación.

- Evaluación del lavado del café en tanques modificados

• Evaluación del lavado a “escala de laboratorio”

Velocidad de drenado del primer enjuague o “cabeza de lavado”, se utilizó cuatro tanques cilíndricos fabricados, con muestras de 0,30 kg café fermentado, bajo las relaciones de agua/café de 0,30; 0,36; 0,40; 0,43; 0,50; 0,60 L. kg⁻¹. Se evaluó los líquidos drenados en un tiempo establecido de cinco minutos, determinando para cada relación de agua/café el peso seco del mucilago (sólidos totales).

Lavado por enjuagues sucesivos, en siete muestras por triplicado (2,10 kg. tanque⁻¹), se evaluó el drenado

de la fermentación del café (DF) en volumen y en contenido de sólidos totales. Se estableció el gasto de agua de 0,40; 0,30; 0,30 y 0,30 (L.kg⁻¹), para el primer (I), segundo (II), tercero (III) y cuarto (IV) enjuague; determinándose el volumen de residuos drenados y el contenido de sólidos totales para cada enjuague.

• **Evaluación del lavado del café a “escala piloto”**

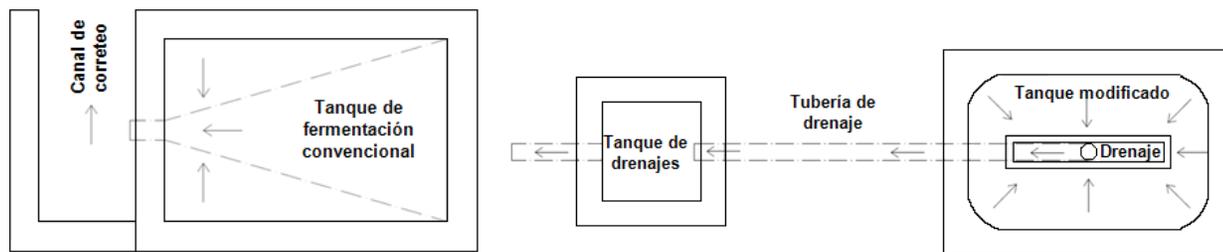
Con la recomendación respectiva (Cuadro 2), se evaluó el lavado del café en el tanque modificado

después de redondear su forma paralelepípeda convencional (Figura 1), en 26 muestras de *cg* con pesos variables (156 a 916 kg). Después de establecer el punto de lavado del café fermentado, esta se sometió a remoción en seco, luego se realizó la mezcla agua/café, con agitación continua en cuatro enjuagues (I, II, III y IV), con los drenajes respectivos, cuantificando el consumo específico de agua.

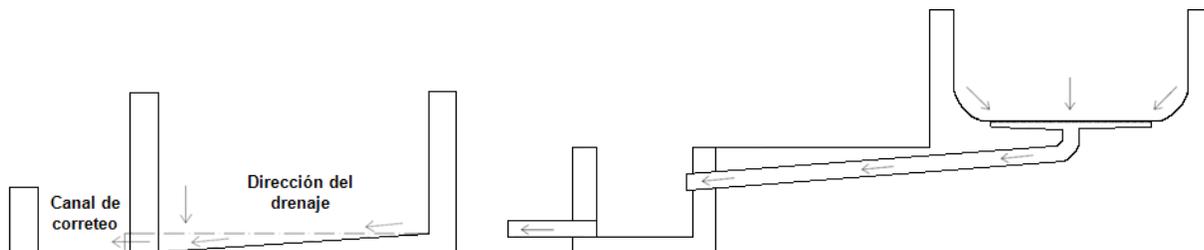
Cuadro 2. Metodología propuesta para lavar el café en tanque convencional modificado.

| Enjuague | Operaciones | Nivel |
|----------|---|-------------|
| I | Con adición simultanea del agua, agitar y/o remover la masa de café fermentado hasta que se sienta que afloje. Drenar el residuo. | Agua > Café |
| II y III | Adición de agua hasta cubrir la masa de café, remoción. Drenar el residuo. | Agua=Café |
| IV | Adición de agua entre 5 a 10 cm por encima de la masa, remoción de masa. Retiro de flotes (granos vanos, palos y otras impurezas). Drenar el residuo. | Agua > Café |

Fuente: Metodología propuesta (2013), en base a Zambrano e Isaza (1994).



Vista de planta



Vista en corte lateral

- Tanque de fermentación convencional, vista de planta y en corte lateral (superior e inferior izquierda)
- Tanque de fermentación convencional modificado, vista de planta y en corte lateral (superior e inferior derecha)

Figura 1. Características de los tanques de fermentación convencional y modificada (vista de planta y lateral). Fuente: Elaboración Propia (2013).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Estudio de la calidad y disponibilidad de agua

- Calidad del agua bajo análisis de campo

La calidad del agua (Cuadro 3), obtenida en base a la valoración visual SVAP, evaluada con parámetros y valores de campo, se cataloga de “buena”, con puntaje promedio óptimo de 8,71 sobre 10.

Cuadro 3. Valoración visual de calidad de agua en el área de la fuente.

| No. | Parámetros | Características | Valoración | Calidad o clase |
|-----|--------------------------|--|------------|-----------------|
| 1. | Apariencia del agua | Muy clara | 10 | Excelente |
| 2. | Sedimentos | El agua se mantiene clara | 10 | Excelente |
| 3. | Sombra | 75% del cauce con sombra | 7 | Bueno |
| 4. | Condición de cauce | Evidencia de mínima alteración en el cauce | 7 | Bueno |
| 5. | Estabilidad de la orilla | Moderadamente estable | 7 | Bueno |
| 6. | Presencia de basura | No hay evidencia de basura y otros sólidos | 10 | Excelente |
| 7. | Presencia de estiércol | No hay animales cerca de la vertiente | 10 | Excelente |

Fuente: Propia (2013), en base Stream Visual Assessment Protocol (SVAP).

El agua de la vertiente “El Chuzal” se clasifica como limpia sin contaminación antrópica, apta para todo uso; por su origen se considera agua de manantial que brota del subsuelo (manto freático). No presentan problemas de sedimentación debido a que el lecho de la quebrada es compacto con poca presencia de materiales en suspensión y arrastre de materiales sedimentarios por efectos de las lluvias.

- Calidad del agua bajo análisis de laboratorio

La calidad del agua obtenida en laboratorio (Cuadro 4), se clasifica de “muy buena”, apta para todo uso sin restricción; y según la Ley de Medio Ambiente, como agua de “Clase A” (natural de máxima calidad). Se validó la calidad del agua con la calidad de granos de café lavados, sin alteración organoléptica.

Cuadro 4. Análisis químico del agua de la vertiente “El Chuzal”.

| No. | Parámetro analizado | Método | Unidades | Resultado |
|-----|-----------------------|-------------------|--------------------------------------|-----------------------------------|
| 1 | Conductividad (25 °C) | Potenciómetro | μS/cm | 23,92 |
| 2 | pH (T= 25 °C) | Potenciómetro | - - - | 6,51 |
| 3 | Calcio | Volumétrico | mg Ca ²⁺ .L ⁻¹ | 1,60 |
| 4 | Magnesio | Volumétrico | mg Mg ²⁺ .L ⁻¹ | 0,97 |
| 5 | Sodio | Absorción Atómica | mg Na ⁺ .L ⁻¹ | 1,52 |
| 6 | SAR | Calculo | - - - | 0,23 |
| 7 | Tipo de agua | Calculo | - - - | C ₁ S ₁ (*) |

(*) C₁ Agua de baja salinidad, S₁ Bajo contenido en sodio: uso sin restricciones.

Fuente: Instituto de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, UMSA (2013).

En el lavado de café, se debe utilizar agua limpia para evitar contaminaciones que alteren su calidad, obteniendo cafés lavados, como “propios y brillantes”, menos ácidos y de mejor sabor (Coronel, 2010).

- Disponibilidad de agua para el lavado del café

En época seca (agosto a octubre), donde los picos de producción y volúmenes del café son altos, se tiene un caudal de oferta de $0,29 \text{ L.s}^{-1}$ (Cuadro 5), cubriendo la demanda actual de uso en el lavado del café, bajo el sistema convencional (canal de correteo), a libre disponibilidad. Con las nuevas plantaciones (13 hectáreas) en proceso de crecimiento y la planificación de implante de otras (40 hectáreas) por la empresa, se tendrá a mediano y largo plazo un aumento de volumen del café, requiriendo una demanda adicional de agua, para lo cual se podrá captar de la prolongación de la vertiente aguas abajo.

Cuadro 5. Caudal de oferta y disponibilidad de agua.

| Caudal de oferta (L.s^{-1}) | Disponibilidad de agua | | |
|---|------------------------------|---------------------------------|------------------------------|
| | $\text{m}^3.\text{día}^{-1}$ | $\text{m}^3.\text{semana}^{-1}$ | $\text{m}^3.\text{mes}^{-1}$ |
| 0,29 | 25,06 | 175,39 | 701,57 |

Fuente: Propia (2013), en base a diagnóstico de campo (2010).

La actividad cafetalera no es una actividad solo agrícola, al incluir un componente esencial de proceso industrial como es el prebeneficiado, a partir del cual

se obtiene el producto de comercialización. Este proceso es de alta demanda en agua, por lo que los beneficios se ubican en las cercanías de ríos, tanto para obtener el agua para el proceso mismo como una vía para la expulsión de desechos (Román, s.f.).

Según la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia (FNCC) (1998), el agua para el correcto lavado del café, debe disponerse en cantidad suficiente y limpia. Las malas prácticas de lavado y la baja calidad del agua (sucia) hacen que los granos de buena calidad pasen a convertirse en cafés de calidad inferior (olor a podrido, avinagrado, pergamino manchado), causando pérdidas cuantiosas.

El uso de agua en el proceso de los frutos maduros del café para la producción de “café oro” es importante en varios países tropicales, siendo esencial para obtener granos de café de alta calidad (ANACAFE, 1998; citado por Chacón, 2001).

Determinación de las constantes físicas y factores de conversión

Las “constantes físicas” obtenidas, basado en muestreos y pruebas estadísticas de los diferentes estados de café, de la especie *C. arábica*, variedad típica o criolla, bajo las condiciones de clima y altitud de la zona (Cuadro 6), pueden variar en mayor o menor grado, con otras zonas cafetaleras de los Yungas.

Cuadro 6. Relación de las constantes físicas del café en AGROTAKESI S.A.

| | |
|-----|--|
| 1. | 1 m ³ de café guinda (<i>cg</i>) pesa 654 kg. |
| 2. | 1 m ³ de café recién pelado (<i>cp</i>) pesa 872 kg. |
| 3. | 1 m ³ de sultana fresca sin mojar (<i>sf</i>) pesa 240 kg. |
| 4. | 1 m ³ de café lavado (<i>cl</i>) pesa 668 kg. |
| 5. | 1 m ³ de café mote (<i>cm</i>) pesa 534 kg. |
| 6. | 1 m ³ de café pergamino seco (<i>cps</i>) pesa 422 kg. |
| 7. | 1 m ³ de café oro (<i>co</i>) pesa 720 kg. |
| 8. | 1000 kg de <i>cg</i> dan 450 kg de <i>sf</i> , 550 kg de café baba (<i>cb</i>), 200 kg de <i>cps</i> . |
| 9. | 1000 kg de <i>cl</i> dan 769 kg de <i>cm</i> . |
| 10. | 1000 kg de <i>cl</i> dan 491 kg de <i>cps</i> . |
| 11. | La relación <i>cg/cps</i> es de 5 a 1 (20% del <i>cg</i>). |
| 12. | La merma en la trilla del <i>cps</i> es de 17,5%. |
| 13. | La <i>sf</i> constituye el 45% del peso de <i>cg</i> . |
| 14. | 1 grano de <i>cps</i> pesa 0,20 g. |
| 15. | 1 grano de <i>cg</i> pesa 1,82 g. |
| 16. | 1 grano de <i>co</i> pesa 0,17 g. |
| 17. | 1 lata (*) de 25x25x37 cm, dan 15 kg de <i>cg</i> . 4 latas de estas dan 12 kg de <i>cps</i> . |
| 18. | 1 tanque de fermentación de 1 m ³ tiene la capacidad de 872 kg de <i>cb</i> que viene de 1.586 kg de <i>cg</i> (106 latas) y terminan siendo 317 kg de <i>cps</i> . |

(*) Lata de manteca, medida utilizada en algunas regiones para pagar la recolección de café.

Cotejando, con lo obtenido en el Centro de Preparación del Café (CPC), Colombia, el café de la zona manifiesta mayor densidad aparente (kg/m³), siendo superior en: 9% en los estados *cg* y *cb*; 3% en *cl* y *cm*; 11% en *cps* y 6% en *co*. La *sf*, es inferior en 11%, y tiene el 45% de peso del *cg*, más que el exótico que presenta 40%. En peso por unidad (grano), es inferior en 9% en *cg* y *cps* y 6% en *co*, evidenciando su mayor peso por unidad de volumen. Los granos producidos en AGROTAKESI, son de menor tamaño y peso en relación a otros cafés. La pulpa superior en 5%, indica su grosor sobre el fruto, atribuyendo estas

características fisiológicas, al clima, suelo y la altura extrema en que se encuentran las plantaciones.

Como complemento con el fin de facilitar y agilizar el cambio del café de un estado a otro, se obtuvo los “factores de conversión” (Cuadro 7) para la zona. La instrucción de uso es: buscar en la columna estado del café, el tipo que se desee convertir (con su peso), ubicando de forma horizontal la columna donde se encuentre el tipo de café (factor de conversión), y multiplicado se obtendrá el estado del café deseado.

Cuadro 7. Factores de conversión simplificada, para la zona de AGROTAKESI S.A.

| Columna: Estado del café | Café guinda | Café baba | Café lavado | Café mote | Café perg. Seco | Café oro | Sultana fresca |
|---|------------------------|----------------------|------------------------|----------------------|--------------------------------|---------------------|---------------------------|
| Café guinda (<i>cg</i>) | - | 0,550 | 0,408 | 0,313 | 0,200 | 0,170 | 0,450 |
| Café baba (<i>cb</i>) | 1,821 | - | 0,740 | 0,567 | 0,363 | 0,304 | - |
| Café lavado (<i>cl</i>) | 2,449 | 1,351 | - | 0,769 | 0,490 | 0,411 | - |
| Café mote (<i>cm</i>) | 3,199 | 1,748 | 1,293 | - | 0,634 | 0,532 | - |
| Café pergamino seco (<i>cps</i>) | 4,993 | 2,757 | 2,037 | 1,565 | - | 0,839 | 2,220 |
| Café oro (<i>co</i>) | 5,890 | 3,291 | 2,430 | 1,867 | 1,193 | - | - |
| Sultana fresca (<i>sf</i>) | 2,134 | - | - | - | 0,450 | - | - |

Fuente: Elaboración propia (2013), en base a CENICAFE (1995).

La variedad de café, el clima donde se cultiva, el estado del suelo, son factores que influyen en el tamaño del fruto, siendo el color de maduración una propiedad relacionada con la variedad (Bustamante, 2004).

Según CENICAFE (1995), las “constantes físicas” y los “factores de conversión” facilitan los cálculos para determinar la capacidad y la dimensión de los diferentes dispositivos empleados en los beneficiaderos y el gasto de agua necesario para el proceso de beneficiado completo del café.

Determinación del consumo de agua y drenados en el lavado del café

- Gasto de agua en el sistema convencional

El gasto de agua bajo el sistema convencional centralizado en canal de correteo (Cuadro 8) (Figura 2) se basó en las constantes físicas y los factores de conversión de la zona, obteniendo una relación de 5 kg $cg.kg^{-1} cps$. El gasto de agua bajo este sistema, tiene un promedio de $6,8 \pm 0,15 L.kg^{-1} cg$, equivalente a $33,8 \pm 0,74 L.kg^{-1} cps$, obteniendo granos de café lavados de alta calidad, calificados para exportación.

Cuadro 8. Consumo de agua en canal de correteo.

| | Agua/café (L.kg⁻¹cg) | Agua/café (L.kg⁻¹cps) |
|----------------|--|---|
| Máximo | 7,75 | 38,73 |
| Mínimo | 5,84 | 29,21 |
| Promedio ± *LC | $6,76 \pm 0,15$ | $33,80 \pm 0,74$ |
| CV (%) | | 5,97 |

*LC: Límite de Confianza al 95%.

Fuente: Propia (2013).

En la empresa AGROTAKESI se utiliza el agua, solo en la etapa de lavado del café, descartando gastos adicionales en despulpe y transporte del café y pulpa. Las aguas mieles obtenidas se vierten a una fosa de tierra, donde se infiltra y sedimenta, sin causar contaminación en quebradas aledañas.

La oferta de agua de $25,39 m^3.día^{-1}$ (100%) en relación a volúmenes variables de café (36 a 631 kg cg), tiene una demanda de gasto de $4,88 m^3. qq^{-1} cps$ (19,23% del 100%), garantizando su disponibilidad para la producción actual, bajo este sistema de lavado.

El tiempo de lavado, con volúmenes variables de café fermentado, es de 0,30 a 1,35 horas, con promedio de $0,75 \pm 0,10$ horas, con personal calificado. El lavado lo realiza una sola persona cuando los volúmenes de masa de café son mínimos y de dos a tres personas cuando los volúmenes son altos.

El lavado del café en canal de correteo tiene gastos variables de agua, entre 7,3 a $19,3 L.kg^{-1} cps$ y entre 28 y $54 L.kg^{-1} cps$. El proceso de beneficio convencional, presenta una contaminación unitaria equivalente a 115 g de DQO. kg^{-1} café cereza (cc), originándose el 73,7% en el despulpado y transporte de pulpa y 26,3% durante las operaciones de lavado y clasificación (Castro, 1987; Zambrano, 1989).



Fuente: Reporte fotográfico, AGROTAKESI S.A. (2013).

- a) Relación agua/café con alto contenido de mucilago.
- b) Agua con mediana concentración de mucilago con granos vanos flotando.
- c) Escurrido del residuo drenado en canal de correteo.
- d) Relación agua/café con muy bajo contenido de mucilago.
- e) Relación agua/café libre de mucilago.
- d) Muestra del café lavado libre de mucilago.

Figura 2. Características de las aguas residuales en el lavado convencional del café.

Análisis de lavado del café en los tanques modificados

- Análisis a “escala de laboratorio”

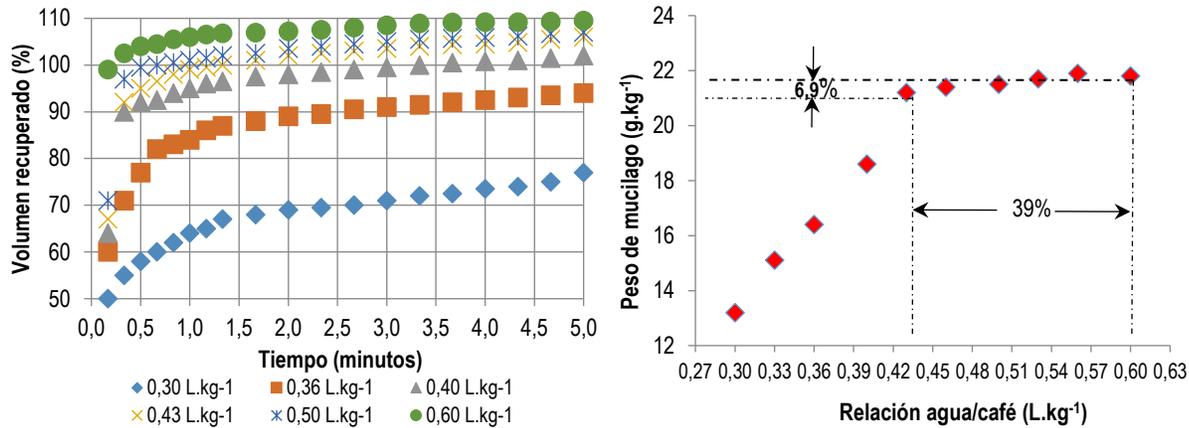
• Determinación de la velocidad en el primer enjuague “cabeza de lavado”

Los drenados obtenidos en este primer enjuague (Figura 3) durante 5 minutos, con muestras de 0,30 kg de café fermentado, bajo relaciones de agua/café (0,30 a 0,60 L.kg⁻¹), se recuperó volúmenes de líquido adicionado, superado la relación 0,40 L.kg⁻¹, la fluidez de la mezcla, permitió agitar fácilmente la masa de café dentro el tanque, bajando la viscosidad y subiendo la velocidad de drenado. Se obtuvo drenados superiores al 100% de recuperación del líquido adicionado, correspondiendo al volumen de mucilago retirado. Superado la relación 0,43 L.kg⁻¹, el mucilago retirado, no tuvo aumentos significativos,

ocurriendo lo contrario con el agua, con aumento del 39%, solo incremento el 6,9% de mucilago retirado.

Es muy importante en esta etapa de lavado (primer enjuague o cabeza de lavado) obtener la relación mínima de agua/café que permita la máxima remoción del mucilago, con fluidez y velocidad de drenaje adecuados. El uso excesivo de agua, no influye en un mayor retiro del mucilago, debiéndose tomar este dato para el lavado del café a escala mayor.

Zambrano e Isaza (1994), evaluaron “cabezas de lavado” del café con muestras de 0,50 kg, utilizando relaciones de agua/café de 0,30 a 0,60 L.kg⁻¹ con tiempo de drenado de 5 minutos, recuperando el volumen adicionado, superado la relación de 0,40 L.kg⁻¹. A partir de la relación 0,43 L.kg⁻¹, el peso del mucilago retirado, no tuvo aumentos significativos, ocurriendo lo contrario con el volumen de agua. Un aumento de 39,5% de agua solo incremento un 7,2% de mucilago retirado.



- Rescate de líquidos en el primer enjuague o “cabezas de lavado” (Figura izquierda).
- Retiro de mucilago en el primer enjuague o “cabeza de lavado” (Figura derecha).

Figura 3. Rescate de líquidos y retiro de mucilago en drenajes de “cabezas de lavado”.
Fuente: Propia (2013), en base a Zambrano e Isaza (1994).

• **Análisis de lavado del café por enjuagues sucesivos**

Los resultados por enjuagues sucesivos, descritos en términos de *cg* (Cuadro 9), detallan los gastos de agua, los drenajes residuales, el contenido de sólidos totales y sus equivalencias porcentuales del mucilago total retirado. Con la remoción de masas de café

fermentado, se retiró mucilago en 20,7; 44,7; 22,5; 10,1 y 2,0% para el drenado de fermento (DF), primer (I), segundo (II), tercero (III) y cuarto (IV) enjuague. Es importante la remoción del café en los enjuagues para la calidad final de lavado, dada la reducción significativa del mucilago retirado en el tercer y cuarto (III y IV) enjuague (10,1 y 2,0%).

Cuadro 9. Características de los drenajes del lavado discontinuo del café.

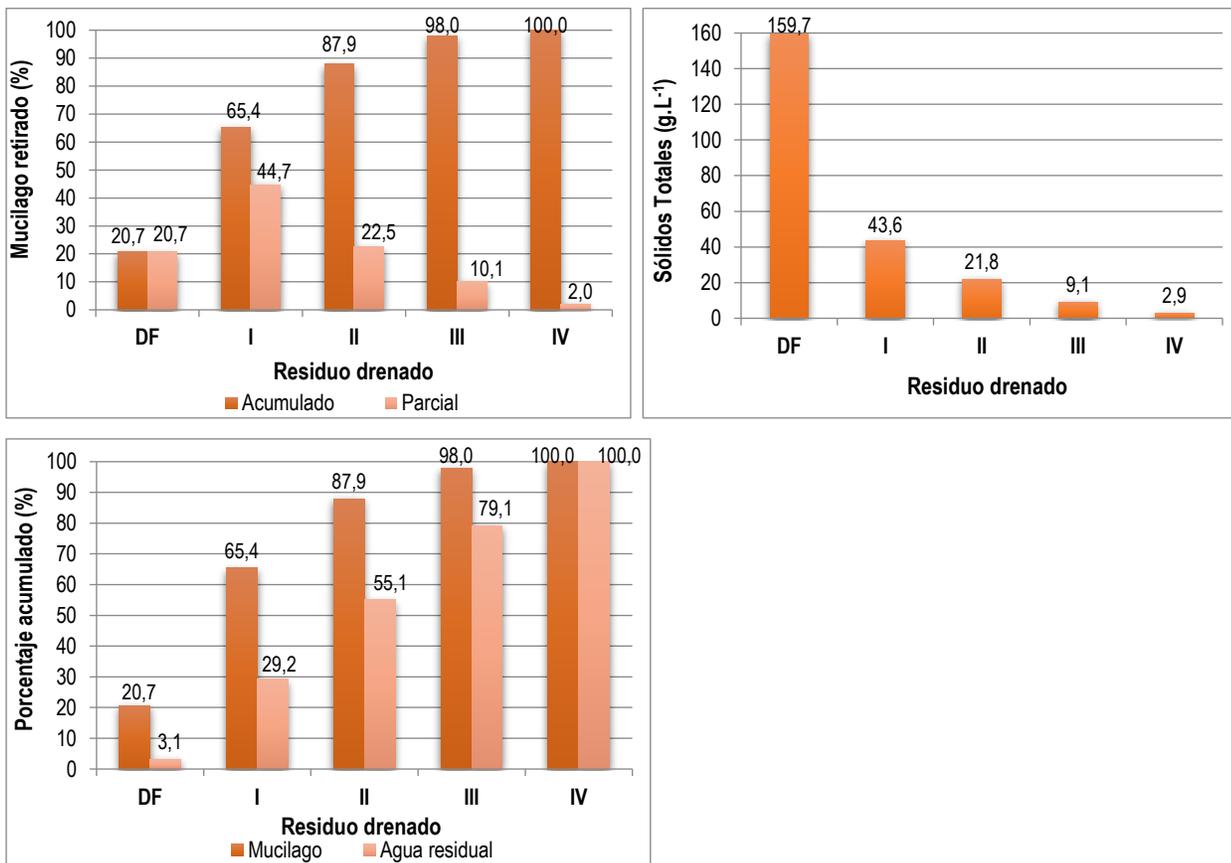
| Residuos drenados | Uso de agua (ml.kg ⁻¹ cg) | Volumen residuo (ml.kg ⁻¹ cg) | | Sólidos totales (mg.L ⁻¹) | | Mucilago retirado (%) | |
|--------------------------|--------------------------------------|--|-----------|---------------------------------------|-----------|-----------------------|------|
| | | Max: | Min: | Max: | Min: | Max: | Min: |
| Drenado de Fermento (DF) | 0 | 23 | 29 | 159.880 | 184.920 | 20,7 | 28,9 |
| | | 10 | 10 | | 125.997 | | 10,9 |
| | | CV: 25,0% | CV: 14,5% | | CV: 30,2% | | |
| Primer enjuague (I) | 200 | 193 | 210 | 43.693 | 47.259 | 44,7 | 50,6 |
| | | 164 | 164 | | 29.330 | | 40,7 |
| | | CV: 8,9% | CV: 14,5% | | CV: 8,3% | | |
| Segundo enjuague (II) | 150 | 192 | 209 | 21.856 | 34.820 | 22,5 | 18,9 |
| | | 165 | 165 | | 15.930 | | 18,6 |
| | | CV: 8,7% | CV: 18,5% | | CV: 10,5% | | |
| Tercer enjuague (III) | 150 | 178 | 200 | 9.124 | 15.380 | 10,1 | 12,8 |
| | | 164 | 164 | | 6.835 | | 6,8 |
| | | CV: 6,7% | CV: 25,8% | | CV: 18,5% | | |
| Cuarto enjuague (IV) | 150 | 155 | 164 | 2.967 | 5.240 | 2,0 | 3,5 |
| | | 146 | 146 | | 1.909 | | 1,6 |
| | | CV: 5,8% | CV: 14,5% | | CV: 14,5% | | |

Fuente: Propia (2013), en base a Zambrano e Isaza (1994).

Zambrano e Isaza (1994), con la remoción del café en cuatro enjuagues, con 8 kg de *cb*, obtuvo: 20,9; 44,8; 23,5; 9,0 y 1,8%, en el DF, en el primer (I), segundo (II), tercer (III) y cuarto (IV) enjuague.

La Figura 4 en base al Cuadro 9, presenta los porcentajes parcial y acumulado del mucilago contenido en cada residuo, la concentración residual, el volumen total de agua residual producida, y el mucilago retirado. El valor promedio calculado para el contenido final de la mezcla fue de 26.721,0 mg

ST.L⁻¹, de un volumen total de 3,71 L.kg⁻¹ *cps* (agua + mucilago). Después del segundo enjuague (II), se acumula el 55,1% del volumen total de agua residual producida, y el mucilago retirado asciende a 87,9% del total obtenido, lo que convierte al drenado de fermento y los dos primeros enjuagues, en las principales fuentes de contaminación del lavado de café. El 100% corresponde a 741 ml.kg⁻¹ *cg* para la fase líquida y 19,81 g ST.kg⁻¹ *cg* para el mucilago seco.



- a) Proporción en peso de mucilago seco contenido en cada residuo drenado.
- b) Concentración de residuos drenados del contenido final de la mezcla.
- c) Proporción de mucilago retirado durante el lavado discontinuo.

Figura 4. Proporción de mucilago retirado durante el lavado discontinuo.
Fuente: Propia (2013), en base a Zambrano e Isaza (1994).



a) Drenaje de fermentación de color ámbar y aspecto gelatinoso (a baja temperatura).
 b) Drenaje de fermentación de coloración café, con alta concentración de sólidos totales.
 c) Drenaje de fermentación con viscosidad similar al agua.

Figura 5. Características del drenado de fermentación (DF) en coloración y viscosidad.
 Fuente: Reporte fotográfico, AGROTAKESI S.A. (2013).

El drenado de fermento (Figura 5), presentó una coloración ámbar y/o marrón oscuro (variable con la temperatura), constituye el 20,7% de la contaminación generada, el 3,1% del volumen total de las aguas residuales del café; con la concentración más alta en sólidos totales de 159.880,0 mg.L⁻¹, similar al agua en viscosidad, contrario al primer enjuague, cuya viscosidad aumenta cuando se reduce el gasto de agua.

En este sentido Zambrano e Isaza (1994), señalan que el drenado de fermentación es un líquido de color ámbar, rico en sólidos solubles (SS) (97%), que representa el 20,9% de la contaminación generada por el mucilago fermentado, contenido en el 3,1% del volumen total de las aguas residuales obtenidas en

experiencias de lavado; presenta la concentración más alta en sólidos totales (160.000,0 mg.L⁻¹).

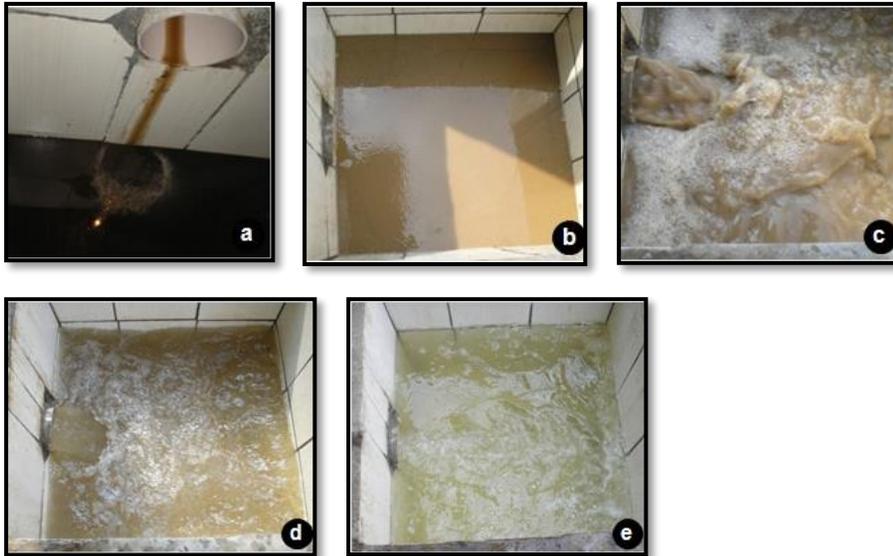
- Consumo de agua en lavado de café a “escala piloto”

Los resultados a escala piloto, en tanque convencional modificado (Cuadro 10), detalla en términos de *cg* y *cps*, el gasto total y los porcentajes de uso de agua en enjuagues. No existen diferencias significativas con el tamaño de muestras del café, se estimó un gasto de agua de 1,06±0,05 L.kg⁻¹ *cg*, equivalente a 5,28±0,26 L.kg⁻¹ *cps*. La descarga residual de enjuagues del café, recepcionado en el tanque de drenados (Figura 6), evidencia la mayor concentración residual en el drenaje de fermento, primer y segundo enjuague, con reducción del contenido de mucilago en el tercer y cuarto enjuague respectivamente.

Cuadro 10. Consumo de agua en el lavado del café en tanque convencional modificado.

| | Consumo total de agua limpia | | Porcentaje de consumo de agua utilizado en los enjuagues sucesivos | | | |
|------------|---------------------------------|----------------------------------|--|----------|----------|----------|
| | (L.kg ⁻¹ <i>cg</i>) | (L.kg ⁻¹ <i>cps</i>) | I | II | III | IV |
| Máximo | 1,08 | 5,40 | 26,72 | 22,6 | 26,8 | 31,4 |
| Mínimo | 0,95 | 4,75 | 22,55 | 20,0 | 23,3 | 27,7 |
| Promedio ± | | | | | | |
| *LC | 1,06±0,05 | 5,28±0,26 | 23,9±0,4 | 21,3±0,4 | 26,0±0,4 | 28,8±0,5 |
| CV (%) | 9,2 | | 3,3 | 3,1 | 2,9 | 3,5 |

*LC: Límite de Confianza al 95%.

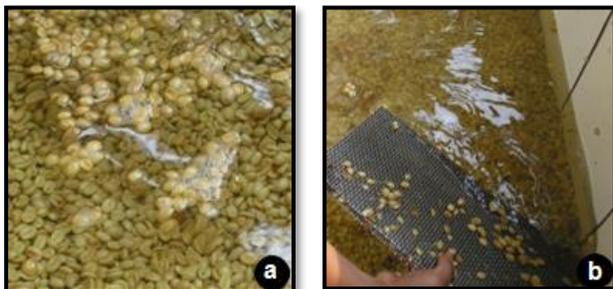


- a) Drenado de fermentación (DF), en la etapa de fermentado natural del café.
- b) Drenado del primer enjuague (I) o "cabeza de lavado".
- c) Drenado del segundo enjuague (II).
- d) Drenado del tercer enjuague (III).
- e) Drenado del cuarto enjuague (IV).

Figura 6. Drenado de líquidos en enjuagues sucesivos en el lavado del café.
Fuente: Reporte fotográfico, AGROTAKESI S.A. (2013).

El cuarto enjuague (Figura 7), implica la adición de agua por encima del nivel de masa del café entre 5 a 10 cm, para la operación simple de retiro de flotes de

granos vanos (ch'uzos). Esta práctica representa un volumen constante de agua adicional, sin importar la cantidad de café que se lave.



- a) Adición de agua por encima del nivel de masa del café.
- b) Retiro de flotes de los granos vanos (ch'uzos) del café.

Figura 7. Adición de agua y retiro de flotes en el cuarto enjuague.
Fuente: Reporte fotográfico, AGROTAKESI S.A. (2013).

La oferta de agua de $25,4 \text{ m}^3 \cdot \text{día}^{-1}$ en relación a los volúmenes de café (156 a 916 kg *cg*), se tiene una demanda de $0,05 \text{ m}^3 \cdot \text{qq}^{-1} \text{ cg}$ equivalente a $0,25 \text{ m}^3 \cdot \text{qq}^{-1}$

¹ *cps* (1% de 100%), garantizando su disponibilidad para la producción actual y adicional de las plantaciones de café en proceso de desarrollo y las

que se implementaran en la empresa. Las aguas de los enjuagues III y IV, hacen pensar en su rehusó, para lavar el mismo día otras masas de café, y aprovechar las aguas residuales de mayor concentración (DF y I), en la elaboración de compost, y biol, reduciendo la contaminación generada bajo este sistema de lavado.

En este sentido Zambrano e Isaza (1994), indican que los concentrados de residuos de lavado se pueden aprovechar por gravedad de un tanque a otro es decir ubicados en forma escalonada, reduciendo de esta forma, más el consumo específico de agua durante la operación de lavado discontinuo del café.

Pomacosi (2010), señala que las aguas mieles concentradas del lavado de café, se aprovechan en la elaboración de “biol” mediante fermentación anaeróbica. Su preparado (2 L biol, 1 Lb ceniza y 18 L agua) y aplicación en cafetales enfermos (roya y ojo de gallo) y en rebrotes en podas de renovación (pillu),

tuvo resultados de control en 15% de las enfermedades y con manifestación de vigor en los rebrotes.

El tiempo promedio de lavado bajo este sistema, con volúmenes variables de café, es de $0,64 \pm 0,09$ horas (Cuadro 11), tomando de 10 a 15 minutos en la remoción en seco de la masa de café fermentado, de 15 a 25 minutos en la remoción de la mezcla agua/café fermentado y de 5 a 10 minutos en la adición de agua limpia y retiro de flotes del tanque. Los tiempos promedio de drenajes residuales fue de: 17,7; 17,8; 22,9 y 19,7 segundos, en el primer (I), segundo (II), tercer (III) y cuarto (IV) enjuague. En relación al sistema convencional, requiere menos mano de obra (una persona), con menor tiempo y esfuerzo, sacando el café lavado en forma conjunta para su escurrido, pre secado y secado en tarimas y silo respectivamente.

Cuadro 11. Tiempo de lavado del café fermentado en tanque modificado.

| | Tiempo de lavado café (h) | Peso de la guinda (kg) | Peso de café (kg) | Gasto de agua en el lavado (L) |
|--------------------|----------------------------------|-------------------------------|--------------------------|---------------------------------------|
| Máximo | 1,05 | 915,60 | | 988,85 |
| Mínimo | 0,35 | 155,60 | | 147,82 |
| Promedio \pm LC* | $0,64 \pm 0,09$ | $481,11 \pm 121,93$ | | $505,96 \pm 129,70$ |
| CV (%) | 27,41 | | | |

*LC: Límite de Confianza al 95%.

Fuente: Propia (2013).

Bajo la condición actual de pre-beneficio húmedo del café en la zona de los Yungas, la tecnología propuesta se convierte en una alternativa para optimizar el uso eficiente del agua en la etapa de lavado, economizando el 84% en relación al sistema convencional. Al reducir el gasto de agua, se tiene vertidos residuales más cargados de materia orgánica, debiendo tomar las medidas respectivas, convirtiendo el problema en algo útil, con un pre-beneficio con responsabilidad ambiental. Queda el camino por recorrer en la conversión de beneficiadoras convencionales a ecológicas, esfuerzos que deberán

realizar los productores con recursos propios, y en asociaciones con el apoyo del gobierno nacional e Internacional.

Tate (s.f.), señala que el concepto de "uso eficiente del agua" incluye cualquier medida que reduzca la cantidad de agua que se usa por unidad de cualquier actividad, y que favorezca el mantenimiento o mejoramiento de la calidad de agua.

CONCLUSIONES

La calidad del agua de la vertiente “El Chuzal”, en base a la valoración SVAP, se cataloga de “buena”,

con puntaje de 8,71 sobre 10. Según el análisis químico la calidad de “muy buena”, apta para todo uso sin restricción; según la ley de Medio Ambiente 1333, el agua es de “Clase A”, natural de máxima calidad, lo cual garantiza la calidad del café en sus características organolépticas después de su lavado.

El caudal de oferta de agua de $0,29 \text{ L}\cdot\text{s}^{-1}$, captada en época seca, cubre la demanda de uso actual, bajo la producción actual de café y sistema convencional de lavado. Se tiene plantaciones nuevas de café y otras planificadas, lo cual demandará un gasto adicional de agua, para lo cual se cuenta con el recurso en la parte baja, que podrá ser captada en caso de su necesidad.

Las “constantes físicas”, obtenidas para la variedad típica en AGROTAKESI, cotejado con lo obtenido por el CPC, Colombia, presenta mayor densidad en peso/volumen ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$), en los diferentes estados del café, indicando que los frutos producidos en la zona son de menor tamaño y peso, atribuyendo estas características fisiológicas al clima, suelo y la altura extrema en que se encuentran las plantaciones; pudiendo variar en mayor o menor grado con otras zonas cafetaleras de los Yungas. Asimismo, con el fin de facilitar y agilizar el cambio del café de un estado a otro, se obtuvo los “factores de conversión” para la zona, con la instrucción de uso respectivo, requiriendo de 5 kg de *cg* para obtener 1 kg de *cps*.

El gasto de agua en el lavado del café, bajo el “sistema convencional” en canal de correteo, es de $6,8 \text{ L}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ cg}$, equivalente a $33,8 \text{ L}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ cps}$; en un tiempo promedio de 0,75 horas, con personal calificado (1 a 3 personas), sin gasto adicional en despulpe, clasificación y transporte del café.

A nivel de “Laboratorio”, en el primer enjuague o “cabeza de lavado”, con tiempo de drenaje de 5 minutos, muestras de 0,30 kg de café, bajo la relación agua/café de 0,30 a $0,60 \text{ L}\cdot\text{kg}^{-1}$; superado la relación de $0,40 \text{ L}\cdot\text{kg}^{-1}$ se recuperó el líquido total adicionado más el retiro de mucilago; superado la relación de $0,43 \text{ L}\cdot\text{kg}^{-1}$, con un volumen adicional en 39% de agua, solo aumento un 6,9% de retiro de mucilago.

En el lavado discontinuo del café a “escala de laboratorio” en 3 repeticiones con remoción continua, se obtuvo contenidos de mucilago de 20,7; 44,7; 22,5; 10,1 y 2,0% en el drenado de fermento (DF), en el primer (I), segundo (II), tercer (III) y cuarto (IV) enjuague. Después del II enjuague, se acumuló el 55,1% del volumen total de agua residual, con retiro de mucilago de 87,9% del total lavado, lo que convierte al DF y los dos primeros enjuagues en las principales fuentes de contaminación de lavado del café.

A “escala piloto”, el gasto promedio de agua en la operación de lavado discontinuo del café en tanque de fermentación convencional modificado fue de $1,06 \text{ L}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ cg}$, equivalente a $5,28 \text{ L}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ cps}$, en un tiempo promedio de 0,64 horas, con menos mano de obra (1 persona) y esfuerzo.

En términos generales, la innovación tecnológica con la adaptación interna del tanque de fermentación convencional para la operación de lavado discontinuo del café en la empresa AGROTAKESI S.A., permitió la reducción de gasto específico de agua limpia en 84%, con relación al lavado convencional.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGROTAKESI S.A. 2011. Datos generales de la empresa (copia electrónica). Chojlla, Bolivia.
- ARCE, M., M. F.; LEIVA, C., M. A. 2009. Determinación de la calidad de agua de los ríos de la ciudad de Loja y diseño de líneas generales de acción para su recuperación y manejo. Universidad Técnica Particular de Loja. Tesis para optar al Título de Ingeniero en Gestión Ambiental. Loja, Ecuador. 93 p.
- BUSTAMANTE, G., A. 2004. Prototipo para la selección automática de café en cereza. Universidad Nacional de Colombia. Departamento de Electricidad, Electrónica y Computación. Manizales, Colombia.
- CASTRO, Q., G. 1987. Estudio comparativo del lavado y clasificación del café fermentado en canalón y canal semi-sumergido. Universidad Nacional de

Colombia. Centro Nacional de Investigación del Café, CENICAFE. Chinchina, Colombia. 68 p.

CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DEL CAFÉ (CENICAFE). 1995. Avances técnicos de CENICAFE. Números: 1 al 113. Tomo I. Chinchina, Caldas, Colombia. 137 – 142 p.

CORONEL, F., M. A. 2010. Estudio del café especial ecuatoriano. Fundación Universitaria Iberoamericana. Proyecto Final de Máster para obtener el título de Máster Internacional en Nutrición y Dietética. Quito, Ecuador. 65 p.

CHACON, C., E. O. 2001. Evaluación de los sistemas tradicional y ecológico de beneficio húmedo del café. Universidad Zamorano. Tesis para optar a Ingeniero Agrónomo. Zamorano, Honduras. 52 p.

FEDERACION NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA (FNCC). 1998. Café, generalidades de su proceso. Publicación del Centro de Preparación del Café. Edición Escala. Santafé de Bogotá, Colombia. 325 p.

FONDO NACIONAL DE DESARROLLO ALTERNATIVO (FONADAL). 2010. Dossier Diagnostico de Yanacachi. Proyecto Sistema de Manejo del Uso de Suelos y Monitoreo en los Yungas de La Paz y el Trópico de Cochabamba AD/BOL/01/f57. Edición David Fernández Candia. La Paz, Bolivia. 83 p.

INSTITUTO DE INGENIERIA SANITARIA Y AMBIENTAL (IIS). 2011. Resultado de análisis químico de agua (laboratorio). Universidad Mayor de San Andrés. Facultad de Ingeniería. La Paz, Bolivia.

LEY No. 1333. 1992. Ley de Medio Ambiente. Promulgada el 27 de abril de 1992. Publicada en la Gaceta Oficial de Bolivia el 15 de junio de 1992. Bolivia. 129 p.

POMACOSI, M., L. M. 2010. Incidencia y severidad de plagas y enfermedades en el cultivo de café *Coffea arabica* y su efecto en la calidad y rendimiento en el Municipio de Teoponte. Universidad Mayor de San Andrés (UMSA). Trabajo Dirigido para optar al título de Ingeniero Agrónomo. La Paz, Bolivia. 65 p.

ROMAN, M., J. G. (s.f.). El beneficiado del café ¿Fue un factor de contaminación en la segunda mitad del siglo XIX? Resumen de Maestría de Geografía UCR. 22 p.

TATE, D., M. (s.f.). Principios de uso eficiente del agua. http://www.imta.mx/marco_enlacesimta.htm/http://www.agualtiplano.net/revista/art13.htm. 13 p.

ZAMBRANO, F., D. A. 1989. Resultados de los estudios de laboratorio. *In*: Informe anual de actividades octubre 1988 – septiembre 1989. Chinchina (Colombia). 23 p.

ZAMBRANO, F., D. A.; ISAZA, H., J. D. 1994. Lavado del café en los tanques de fermentación. CENICAFE (Colombia). 45(3):106-118.