

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE AGRONOMÍA
POSTGRAGO



TESIS DE MAESTRÍA

**OPTIMIZACIÓN DEL USO DEL AGUA EN EL LAVADO DEL CAFÉ EN
LOS TANQUES DE FERMENTACIÓN**

CARLOS LÓPEZ BLANCO

LA PAZ – BOLIVIA

2013

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE AGRONOMÍA
POSTGRADO

**OPTIMIZACIÓN DEL USO DEL AGUA EN EL LAVADO DEL CAFÉ EN
LOS TANQUES DE FERMENTACIÓN**

*Tesis de Maestría presentado como requisito parcial para optar el Título de Maestro en
Ciencias en Manejo Sostenible del Agua y Riego en Zonas Áridas.*

CARLOS LÓPEZ BLANCO

Asesor:

Ing. M. Sc. Eduardo Chilon Camacho

Tribunal Examinador:

Ing. Ph. D. Carmen Rosa del Castillo Gutiérrez.....

Ing. Ph. D. Aquiles Arce Laura

Ing. M. Sc. Teresa Ruiz Díaz L. – P.

Aprobada

Presidente Tribunal Examinador

DEDICATORIA

A mis padres: JUSTO LÓPEZ VELIZ y MARTHA BLANCO de LÓPEZ

“Por todo lo que me dieron, mas no puedo pedir”.

A mi esposa: YOLA BLANCA “Por su amor, comprensión y paciencia”.

A mis hijas: KEANE AZUCENA, KARLA ALHELI y KAREN JAZMIN

“Que son mis amores que inspiran mis jornadas”
(Que el futuro les sonría “mis amores”).

A mi hermana y hermanos: DAYSI, RICHARD y RAUL EUGENIO

“Quienes me han brindado su apoyo a lo largo
de mi carrera, gracias totales.”

“Gracias a Dios y a la vida que me ha dado tanto”

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por la vida y la salud física y mental para la escritura del presente trabajo.

A los profesores de la Universidad de Córdoba (UCO) de España: Dr. José Roldan Cañas, Dra. Fátima Moreno Pérez, Dr. José Luis del Pino García y Dr. Emilio Camacho Poyato, por la enseñanza, conocimientos y experiencia transmitidos.

A mi Asesor: Ing. M. Sc. Eduardo Chilon C., por las sugerencias, y el tiempo dedicado para mejorar el presente trabajo de investigación.

Al Tribunal Examinador: Ing. Ph. D. Carmen Rosa del Castillo G., Ing. Ph. D. Aquiles Arce L., e Ing. M. Sc. Teresa Ruiz Díaz L.- P., por sus valiosos aportes en el estudio.

A los coordinadores de la Maestría: Ing. Ph. D. René Chipana e Ing. M. Sc. Hugo Bosque, por su ayuda y orientación en el proceso del curso y elaboración de tesis.

A los Ing. Johnny Paye, Wily Flores y Ángela Palacios, por su amistad incondicional.

Un especial agradecimiento al Ing. Juvenal Quijhua, Lic. Mariana Iturralde y al personal de la empresa AGROTAKESI S.A., por haber permitido realizar el presente estudio, con el apoyo de material, equipos, insumos y mano de obra respectivamente.

Al proyecto: “Revalorización de tecnologías ancestrales de riego y formación de recursos humanos en riego y manejo sostenible del agua en zonas áridas y semiáridas”, financiado por la Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo.

Un profundo agradecimiento al personal docente, administrativo y compañeros de la Maestría “Manejo Sostenible del Agua y Riego en Zonas Áridas” de la Facultad de Agronomía de la Universidad Mayor de San Andrés (UMSA), por la especialización profesional y la amistad en los dos años, que serán inolvidables en mi vida.

INDICE GENERAL

DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTOS	ii
INDICE GENERAL	iii
INDICE DE CUADROS	vi
INDICE DE FIGURAS	viii
INDICE DE ANEXOS	x
RESUMEN	xi
SUMMARY	xii
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Objetivos	2
1.1.1. Objetivo general	2
1.1.2. Objetivos específicos	2
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	3
2.1. El café	3
2.1.1. Origen del café	3
2.1.2. Aspectos agronómicos del café	3
2.1.2.1. Estructura y composición del fruto	4
2.2. Producción y consumo mundial del café	6
2.3. Generalidades de la caficultura en Bolivia	7
2.4. Sistemas de beneficiado del café	14
2.5. Sistema de beneficiado en Bolivia	14
2.5.1. Cosecha	15
2.5.2. Despulpado	16
2.5.3. Fermentación y lavado del café	16
2.5.4. Secado del café	16
2.5.5. Empaque de café	17
2.5.6. Tecnología empleada en el beneficiado del café	17
2.6. Disponibilidad y calidad del agua en el beneficio húmedo del café	20
2.6.1. Gasto de agua en el beneficio convencional	21

2.6.2. Gasto de agua en el beneficio ecológico del café	22
2.7. Contaminación e impacto ambiental en el beneficio húmedo	25
2.7.1. Características de las aguas residuales del café	27
2.7.2. Problemas ambientales en la caficultura yungueña	28
2.7.2.1. Caracterización del impacto ambiental negativo.....	29
2.7.2.2. Medidas de mitigación.....	30
2.8. Gestión ambiental	31
2.8.1. La Norma ISO 14001	31
2.8.2. Consideraciones según la Ley de Medio Ambiente No. 1333	32
2.9. Legislación boliviana con relación al agua	33
2.9.1. Relación de uso del agua con la normativa	34
2.10. Constantes físicas y factores de conversión.....	35
3. LOCALIZACIÓN	37
3.1. Macrolocalización.....	37
3.2. Microlocalización.....	38
3.2.1. Descripción de la caficultura en el área de investigación	40
3.2.2. Fuente de alimentación del agua	42
4. MATERIALES Y MÉTODOS.....	43
4.1. Materiales y equipos	43
4.1.1. Materia prima e insumos	43
4.1.2. Materiales de construcción	43
4.1.3. Infraestructura, equipos y materiales	43
4.1.4. Material de gabinete	43
4.2. Métodos	44
4.2.1. Estudio de calidad y disponibilidad del agua.....	44
4.2.1.1. Evaluación visual de la calidad del agua en campo.....	44
4.2.1.2. Evaluación de la calidad del agua en laboratorio	44
4.2.1.3. Evaluación de la disponibilidad de agua.....	45
4.2.2. Estudio de las constantes físicas y factores de conversión del café	46
4.2.2.1. Recepción y despulpado	46
4.2.2.2. Fermentación y lavado	47

4.2.2.3. Secado y almacenado del café	48
4.2.2.4. Trillado	49
4.2.3. Evaluación de lavado del café	50
4.2.3.1. Estimación del consumo de agua en el lavado convencional	50
4.2.3.2. Evaluación de lavado del café en los tanques modificados	52
4.2.3.2.1. Fabricación, modificación y construcción de tanques de lavado ..	52
4.2.3.2.2. Evaluación de lavado a escala de laboratorio	54
4.2.3.2.3. Evaluación de lavado del café a escala piloto	57
4.3. Método estadístico	58
4.4. Variables de respuesta.....	58
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	60
5.1. Determinación de la calidad y disponibilidad de agua	60
5.1.1. Calidad del agua bajo análisis de campo	60
5.1.2. Calidad del agua bajo análisis de laboratorio.....	61
5.1.3. Disponibilidad de agua para el lavado de café.....	63
5.2. Determinación de las constantes físicas y factores de conversión	64
5.3. Determinación del consumo de agua y drenados en el lavado del café	67
5.3.1. Consumo de agua en el sistema convencional	67
5.3.2. Análisis de lavado del café en los tanques modificados.....	69
5.3.2.1. Análisis a “escala de laboratorio”	69
5.3.2.1.1. Determinación de la velocidad en “cabeza de lavado”	69
5.3.2.1.2. Análisis de lavado del café por enjuagues sucesivos.....	72
5.3.2.2. Consumo de agua en lavado de café a “escala piloto”	75
6. CONCLUSIONES.....	81
7. RECOMENDACIONES.....	83
8. BIBLIOGRAFIA.....	84
ANEXOS	91

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Consumo mundial del café (Evolución 2000 - 2009).....	7
Cuadro 2. Países productores del café (2001 - 2010).	7
Cuadro 3. Regiones productoras de café en Bolivia.....	8
Cuadro 4. Tecnología utilizada en los procesos de transformación del café.	17
Cuadro 5. Plantas pre beneficiadoras de café instaladas en el país.....	19
Cuadro 6. Plantas de beneficio seco en La Paz y El Alto.	20
Cuadro 7. Gasto de agua en el lavado del café, con tecnologías.	25
Cuadro 8. Resultado de muestreos de aguas mieles de beneficios convencionales.	27
Cuadro 9. Composición de las aguas residuales del beneficio húmedo del café.....	28
Cuadro 10. Identificación de impactos ambientales en la caficultura yungueña.	29
Cuadro 11. Límites permisibles para descargas (mg/L), según la Ley 1333.....	34
Cuadro 12. Clasificación del agua para consumo, según la Ley 1333.....	35
Cuadro 13. Clasificación del agua según uso y tipo (Reglamento a Ley 1333).	35
Cuadro 14. Densidad aparente de tipos de café.	35
Cuadro 15. Factores de conversión utilizados por el CCA.	36
Cuadro 16. Factores de conversión del café (simplificado).	36
Cuadro 17. Colindancias de la provincia Sud Yungas.	37
Cuadro 18. Secciones municipales de Sud Yungas.	37
Cuadro 19. Colindancias municipales de Yanacachi.	38
Cuadro 20. División político administrativa.....	38
Cuadro 21. Plantaciones de café en producción e implantadas.	41
Cuadro 22. Producción de café en la empresa.....	42
Cuadro 23. Valoración de la calidad del agua (SVAP).	44
Cuadro 24. Metodología propuesta para lavar café en tanque modificado.	58
Cuadro 25. Valoración visual de calidad de agua en el área de la fuente.	60
Cuadro 26. Análisis químico del agua de la vertiente “El Chuzal”.	61
Cuadro 27. Caudal de oferta y disponibilidad de agua.	63
Cuadro 28. Relación de las constantes físicas del café en AGROTAKESI S.A.	64
Cuadro 29. Factores de conversión simplificada, para la zona AGROTAKESI S.A.	66

Cuadro 30. Consumo de agua en canal de correteo.	67
Cuadro 31. Tiempo de lavado del café en canal de correteo.....	69
Cuadro 32. Características de los drenajes del lavado discontinuo del café.	72
Cuadro 33. Consumo de agua en el lavado del café en tanque convencional modificado.	76
Cuadro 34. Tiempos de lavado del café en tanque modificado.	79

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Características del arbusto <i>Coffea arábica</i> en el proceso productivo.	4
Figura 2. Características de la estructura del fruto del café.	5
Figura 3. Etapas de maduración del fruto del café (color, tamaño y peso).	6
Figura 4. Tipos de plantación de cafetales en la región de los Yungas.	9
Figura 5. Calendario agrícola del café en el municipio de Caranavi, Bolivia.	9
Figura 6. Estructura de los sistemas de producción del café en Bolivia.	11
Figura 7. Mapeo de la cadena de valor del café.	12
Figura 8. Volúmenes de exportación del café boliviano.	13
Figura 9. Destino de exportación del café boliviano.	13
Figura 10. Cosecha del café de forma tradicional y en cosechador en los Yungas.	15
Figura 11. Tecnología tradicional familiar en el pre beneficiado del café.	18
Figura 12. Tecnología convencional mecanizada en el pre beneficiado del café.	18
Figura 13. Tecnologías de Tanque tina y BECOLSUB en el lavado del café.	23
Figura 14. Ubicación de tanques tina, con el uso de drenados en el lavado del café. ...	23
Figura 15. Tecnología ECOLAV, con fermento natural y uso de enzimas pectinolíticas.	24
Figura 16. Modelo de Administración medioambiental para la Norma ISO 14001.	31
Figura 17. Demarcación de la propiedad AGROTAKESI S.A. y ubicación de la Finca. .	39
Figura 18. Vista panorámica: centro minero Chojlla, finca AGROTAKESI, comunidad de Yanacachi y río Takesi.	39
Figura 19. Cadena de producción de café en la empresa AGROTAKESI S.A.	40
Figura 20. Disponibilidad de agua para uso en la operación de lavado del café.	42
Figura 21. Aforo de caudal del agua captada en la vertiente.	45
Figura 22. Operación de recepción, despulpado y selección del café guinda.	47
Figura 23. Actividades de fermentación y lavado del café.	48
Figura 24. Trabajos de secado y almacenado del café pre beneficiado.	49
Figura 25. Beneficio seco en la obtención del grano de café oro verde.	49
Figura 26. Infraestructura convencional para el lavado del café en la empresa.	50
Figura 27. Proceso de lavado del café bajo el sistema convencional.	51

Figura 28. Tanques cilíndricos para lavado del café a “escala de laboratorio” .	52
Figura 29. Modificación y construcción de tanques para el lavado del café.	53
Figura 30. Metodología para las velocidades de drenados en “cabezas de lavado” .	54
Figura 31. Lavado discontinuo del café a “escala de laboratorio” .	55
Figura 32. Gráfica de estimación de concentrados en drenados de lavado del café.	56
Figura 33. Lavado discontinuo del café en el tanque convencional modificado.	57
Figura 34. Características de las aguas residuales en el lavado convencional del café.	68
Figura 35. Tasa de recuperación de líquidos en las “cabezas de lavado” .	70
Figura 36. Retiro de mucilago en “cabezas de lavado” en relaciones de agua/café.	71
Figura 37. Proporción en peso de mucilago seco contenido en cada residuo drenado.	73
Figura 38. Concentración de residuos drenados del contenido final de la mezcla.	73
Figura 39. Proporción de mucilago retirado durante el lavado discontinuo.	74
Figura 40. Características del drenado de fermentación en coloración y viscosidad.	75
Figura 41. Drenado de líquidos en enjuagues sucesivos en el lavado del café.	77
Figura 42. Adición de agua y retiro de flotes en el cuarto enjuague.	78

INDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Ubicación geográfica del área de investigación.....	1
Anexo 2. Uso del suelo en el municipio de Yanacachi.	2
Anexo 3. Mapa de isoyetas (precipitación) en el municipio de Yanacachi.	3
Anexo 4. Mapa de isotermas (temperatura) en el municipio de Yanacachi.	4
Anexo 5. Áreas de terreno, cedidas y utilizadas por AGROTAKESI S.A.	5
Anexo 6. Parámetros del agua, características y valores (Evaluación visual SVAP).	5
Anexo 7. Cosechas de café guinda evaluadas en el lavado convencional (kg).	6
Anexo 8. Cosechas de café guinda evaluadas en el lavado ecológico (escala piloto).	6
Anexo 9. Tanque convencional con esquinas rectas con drenaje al canal de correteo. ..	7
Anexo 10. Tanque convencional modificado, conectado al tanque de drenaje.....	7
Anexo 11. Resultados de análisis químico del agua en laboratorio.	8
Anexo 12. Caudal de oferta de agua en la vertiente “El Chuzal”.	9
Anexo 13. Constantes físicas de granos del café según su humedad.	9
Anexo 14. Factores de conversión del café para AGROTAKESI S.A.....	10
Anexo 15. Gasto de agua en lavado del café, bajo el sistema convencional.....	11
Anexo 16. Calculo de concentración de sólidos totales en aguas residuales del café...	12
Anexo 17. Gasto de agua en lavado del café en tanque modificado (escala piloto).	13
Anexo 18. Costo de reforma y construcción de tanques de lavado y drenaje.....	14
Anexo 19. Diagrama de flujo del beneficio húmedo del café, bajo dos sistemas.	15

RESUMEN

En las zonas productoras del café del país, y en especial en los Yungas paceño, las instalaciones convencionales de pre beneficiado húmedo, usan en la etapa de lavado del café, el agua disponible en grandes volúmenes, proveniente de ríos, quebradas y vertientes, dificultando la estimación de gasto específico en litros por kilogramo de café pergamino seco (L/kg *cps*) y el control de la contaminación que se genera en esta etapa. Con el objeto de caracterizar la etapa de lavado y determinar el gasto de agua, utilizando tecnología adaptada al sistema convencional, se hizo evaluaciones a escala de laboratorio y a escala piloto, lo cual se comparó con el gasto de agua bajo el sistema convencional de lavado en canal de correteo (evaluado para referencia). El estudio se realizó en la empresa AGROTAKESI S.A. Chojlla, municipio de Yanacahi,

A escala de laboratorio, se pondero la relación óptima agua/café para efectuar el primer enjuague y el contenido de sólidos totales que dreno con cada residuo, después de lavar el café con cantidades de agua pre-establecidas, utilizando cuatro enjuagues. A escala piloto, se determinó el gasto de agua, bajo una metodología simple de lavado discontinuo en un tanque de fermentación convencional modificado, con capacidad de 0,57 m³ de café en baba (*cb*), al cual se redondeó sus esquinas (radio de 20 cm), con el drenaje de residuos ubicado en el fondo con malla acerada, conectado con tubería PVC de 4" hacia un tanque auxiliar de vertido de drenados de capacidad de 0,20 m³.

Durante la fermentación natural del café se observó el drenado de un residuo que contiene el 20,70% de mucilago. El primer enjuague o "cabeza de lavado" tomo menos de 5 minutos para drenar y cuando la relación supera los 0,40 L/kg se retira el 44,70% del mucilago. En el segundo, tercero y cuarto enjuague, se retiró el mucilago en 22,50%, 10,10% y 2% respectivamente. Se retiró 19,81 gramos de sólidos totales por kilogramo de café guinda (ST/kg *cg*) (mucilago seco). El gasto específico promedio de agua limpia en la operación de lavado del café en el tanque convencional modificado se estimó en 5,28 L/kg *cps*, con relación al sistema convencional en canal de correteo que presento un promedio de 33,80 L/kg *cps*, lo cual significa un ahorro de agua en 84%.

SUMMARY

In the coffee producing areas of the country, and in particular the Yungas in La Paz, the conventional installations of pre benefited from wet, used in the washing phase of the coffee, the water available in large volumes, from rivers, creeks and springs, making it difficult to assess the specific spending in liters per kilogram of dry coffee parchment (L/kg *cps*) and the control of pollution that is generated at this stage. In order to characterize the washing phase and determine the cost of water, using technology adapted to the conventional system, made assessments on the scale of laboratory and pilot scale, which was compared with the expenditure of water under the conventional system of washing in from nightsticks channel (evaluated for reference). The study was conducted in the company AGROTAKESI S. A. The Chojlla, municipality of Yanacachi,

At laboratory scale, people use the optimal relationship coffee/water for the first rinse and the total solid content that was drained with each residue, after washing the coffee with quantities of water pre-set, using four rinses. To pilot scale, it was determined the cost of water, under a simple methodology of discontinuous washing in a fermentation tank of conventional modified, with a capacity of 0,57 m³ of coffee in baba (*cb*), to which is rounding the corners (radius of 20 cm), with the drainage of waste located in the fund with mesh steel, connected with PVC pipe 4" toward an auxiliary tank disposal capacity drained of 0,20 m³.

During the natural fermentation of the coffee it was noted the drained from a waste that contains 20.7 % of mucilage. The first rinse or "rinsing head" took less than 5 minutes to drain and when the ratio greater than 0,40 L/kg withdrew the 44,70% of the mucilage. In the second, third and fourth rinse, withdrew the mucilage in 22,50 %, 10,10% and 2% respectively. Withdrew 19,81 grams of total solids per kilogram of coffee cherry (ST/kg *cg*) (mucilage dry). The specific cost average of clean water in the washing operation of the coffee in the modified conventional tank was estimated at 5,28 L/kg *cps*, in relation to the conventional system in channel from nightsticks that presented an average of 33,80 L/kg *cps*, which means a savings of water in 84%.

1. INTRODUCCIÓN

Bolivia se caracteriza por ser un país cafetalero, sin embargo su volumen de producción es poco significativo a nivel mundial. Se estima que existen alrededor de 23.000 familias involucradas en el proceso de producción de café, con una superficie de plantación cercana a las 25.000 hectáreas, de las cuales un 95% se encuentran en la región de los Yungas y Norte del Departamento de La Paz.

Los ingresos del café que se reportan para la gestión 2009 es de 14,60 millones de dólares, por un volumen de 74.333,00 sacos/60 kg, aportando al PIB nacional el 1,20% como producto no tradicional. A la fecha se tiene la apertura de nuevos mercados para la venta de cafés especiales y el reconocimiento de la imagen del café boliviano en mercados internacionales; por su calidad se está demostrando que el café boliviano es de buena calidad.

El proceso de transformación del café es por la vía húmeda en un 100%, dentro la denominación de “cafés suaves”, con características propias de la región en lo que se refiere a la calidad de la bebida. A partir del año 2002, en zonas productoras de café, se implementaron plantas centralizadas de pre beneficio húmedo, con el objeto de contar con granos beneficiados homogéneos en características físicas. A la fecha debido a varios factores, entre ellos la falta de agua, solo el 20% de la infraestructura instalada está en pleno funcionamiento, indicando una inversión ineficiente.

El insumo más importante para el pre beneficio húmedo del café es el agua, recurso que se usa en el país en las zonas productoras, como la región de los Yungas de La Paz, para el pelado, transporte y lavado respectivamente. El uso específico de agua en la operación de lavado del café es uno de los parámetros de evaluación para obtener certificaciones de calidad.

La mayoría de las organizaciones cafetaleras cuentan con acceso al agua (malo, regular y bueno), careciendo de este líquido las colonias y plantas pre beneficiadoras

muy alejadas. Actualmente para separar físicamente la pulpa y mucilago del café fermentado, se usa el agua disponible en grandes volúmenes proveniente de ríos, quebradas y vertientes, dificultando la estimación del consumo y manejo del recurso para el control de la contaminación que se genera en esta etapa.

El presente trabajo de investigación determinó comparativamente la cuantificación de consumos de agua específicos en la operación de lavado del café fermentado en la empresa AGROTAKESI S.A., bajo el sistema convencional en planta de pre beneficio húmedo en canal de correteo y la propuesta ecológica con innovación tecnológica de tanques de fermentación modificado a escala de laboratorio y piloto respectivamente.

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo general

Estudiar la optimización del uso del agua en el lavado del café en tanques de fermentación modificado en AGROTAKESI S.A. del municipio de Yanacachi.

1.1.2. Objetivos específicos

- Evaluar la calidad y disponibilidad del agua utilizada en el lavado del café, en AGROTAKESI S.A.
- Establecer las “constantes físicas” y los “factores de conversión” de los diferentes estados del café, para la zona de estudio.
- Determinar el gasto específico de agua limpia en la operación de lavado del café, bajo el sistema convencional centralizado en canal de correteo.
- Determinar el gasto de agua y la contaminación generada en el lavado del café, bajo la tecnología de tanque modificado, a escala de laboratorio y piloto respectivamente.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. El café

2.1.1. Origen del café

El café es originario de Abisinia (Moderna Etiopía) África, desde donde se extendió su cultivo por Arabia y el resto de Oriente Medio. Llegó a Europa en el siglo XVI por mercaderes venecianos. Los holandeses lo introdujeron en las colonias de América del Sur, Guayana, Colombia y las Antillas. América es por su climatología y orografía, donde la semilla del café encontró el lugar idóneo para su cultivo (ADECAFEH, 2005; citado por Gómez y Nicolás, 2006).

2.1.2. Aspectos agronómicos del café

El café pertenece a la familia Rubiaceae, genero *Coffea*, y apenas dos especies son comerciables en el mundo: *Coffea arábica* (Figura 1), con el 75% de producción mundial y *Coffea canephora* (Café robusta), siendo el 25% restante (Méndez, 2005; citado por Henao *et al.*, 2007).

Según Campos (1989); citado por Gómez y Nicolás (2006), el sistema radical de un cafeto varía según la genética de la planta y de las condiciones ambientales. Del 90 al 98% de las raíces absorbentes se encuentran en los primeros 30 centímetros de profundidad y el resto se localiza hasta los 40 centímetros.

El tallo central es erecto y de crecimiento indefinido, produciendo tres tipos de yemas: las que se originan en el tallo central o *eje ortotrópico*, las que producen las ramas que son los *ejes plagiotrópicos*, y, finalmente, aquéllas que producen las hojas. Las yemas de las ramas se distribuyen en forma alterna y opuesta a lo largo del tallo y entre ellas se presenta una serie de nudos.

Las hojas son opuestas, de forma elíptica y alargadas en ambos extremos. Las yemas florales aparecen en series en las axilas de las hojas. Las flores son hermafroditas, de color blanco.

El fruto del café, es de forma ovoide y está formado por el epicarpio o pulpa, el mesocarpio o mucílago, el endocarpio o pergamino, espermodermo o película plateada y el endospermo o semilla.



Fuente: Fotografías de la zona de los Yungas, Bolivia (2011).

- a) Cafeto joven (breva) en floración.
- b) Cafeto en la formación de frutos.
- c) Cafeto con producción de granos guinda.

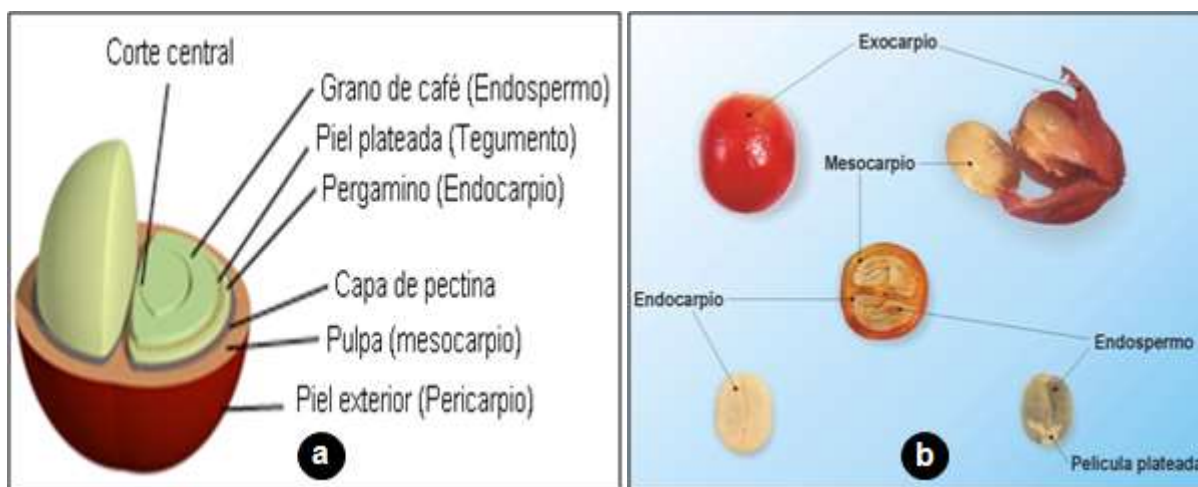
Figura 1. Características del arbusto *Coffea arabica* en el proceso productivo.

2.1.2.1. Estructura y composición del fruto

Desde una perspectiva botánica, el fruto del café es una drupa (Figura 2) (Villalobos, 1985) constituida por:

- Epicarpio o cáscara, es la piel firme y colorida que envuelve el fruto. Es el primer producto que se obtiene en el método usado para el procesamiento del grano de café y representa en base seca alrededor del 29% del peso del fruto. El epicarpio está constituido en su mayor parte por material lignino-celulósico.

- El mesocarpio o mucílago, está localizado entre la pulpa y la cáscara del grano y representa alrededor del 5% del peso del grano de café. El mucílago constituye una capa de 0,5 a 2 mm de espesor y está adherido a la cáscara del grano de café. Desde el punto de vista físico, el mucílago es un sistema coloidal líquido, biofílico, siendo por lo tanto un hidrogel. Químicamente, el mucílago contiene agua, pectinas, azúcares y ácidos orgánicos. La fracción del mesocarpio que queda adherida a la cascarilla en el despulpado, está constituida por tejidos hialinos que no contienen cafeína y taninos, es rica en azúcares, pectinas y nitrógeno (0,15% en base seca).
- El endocarpio, recibe el nombre de pergamino. Es la membrana cartilaginosa que envuelve a cada semilla de café. Su principal constituyente es de naturaleza celulosítica.
- Espermodermo, conocido también como película plateada. Éste rodea el endospermo y se elimina cuando el café en oro entra en proceso de tostado.
- El endospermo, albúmina, almendra o café oro, está envuelta en una película plateada, y es la parte esencial que se consume en la preparación del café.



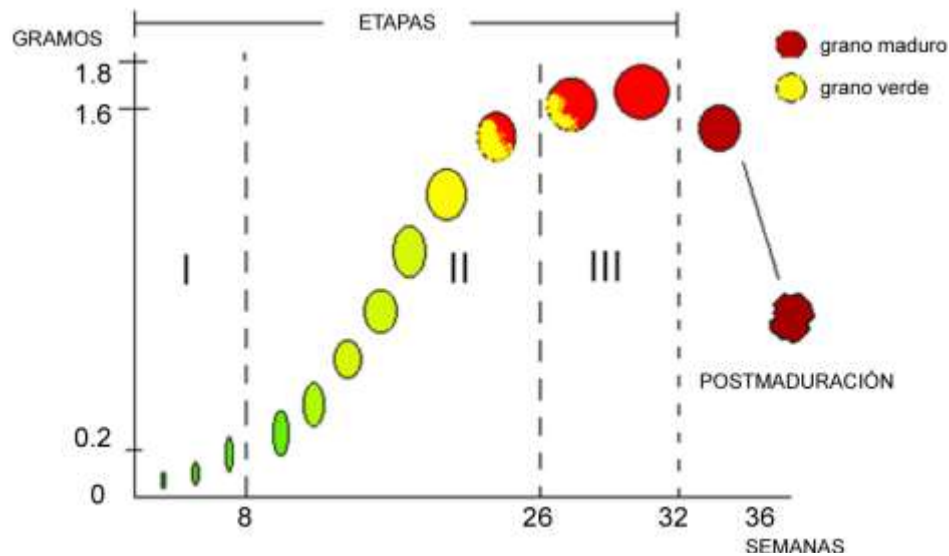
Fuente: Wikipedia (2011) y archivo fotográfico de CENICAFE; citado por Rodríguez (2009).

a) Estructura de un fruto de café (adaptado).

b) Estructura en café cereza (fruto maduro).

Figura 2. Características de la estructura del fruto del café.

Según Bustamante (2004), estudios realizados por el Centro de Investigación del Café (CENICAFE), muestran que el punto óptimo para la cosecha del café, observándose en una curva de maduración la cual está bien correlacionada con el tamaño, el peso y el color del grano en el árbol (Figura 3).



Fuente: Bustamante (2004).

Figura 3. Etapas de maduración del fruto del café (color, tamaño y peso).

2.2. Producción y consumo mundial del café

Según la Organización Internacional del Café (OIC) (2010); citado por la Federación de Caficultores Exportadores de Café de Bolivia (FECAFEB) (2010), el café es uno de los principales productos que se comercializa en el mercado mundial. Actualmente más de 80 países cultivan el café en sus diferentes tipos, de los cuales poco más de 50 países lo exportan, generando ingresos anuales superiores a los 15 mil millones de dólares y dando ocupación a más de 20 millones de personas dedicadas al cultivo, transformación, procesamiento y comercialización en todo el mundo.

Entre la gestión 2000 y 2010, el consumo de café sufre cambios importantes en los grandes centros mundiales, vinculados sobre todo como parte de salud y nivel de vida. Para la gestión 2009, se tuvo un consumo de 132 millones de sacos (Cuadro 1), estimándose para el 2010 un consumo de 134 millones de sacos, con un aumento

significativo en los países consumidores como Brasil y Guatemala que incrementaron notablemente su consumo interno, contribuyendo al crecimiento global del café.

Cuadro 1. Consumo mundial del café (Evolución 2000 - 2009).

Destino	Producción (millones de sacos de 60 kg)		Índice de crecimiento (%)
	2000	2009	
Mundial	105,20	132,00	2,60
Mercados tradicionales	64,90	69,60	0,80
Países productores	26,10	37,70	4,20
Otros mercados	14,30	24,80	6,30

Fuente: OIC (2010); citado por FECAFEB (2010).

El cuadro 2, destaca a los 10 principales países con mayor producción de café en el mundo. En el periodo 2009 se exportó 94,66 millones de sacos de café verde, en términos monetarios de \$us 13,48 billones.

Cuadro 2. Países productores del café (2001 - 2010).

País	Volumen (miles de sacos de 60 kg)	Porcentaje (%)
Brasil	39.470,00	39,09
Vietnam	18.000,00	17,83
Indonesia	10.632,00	10,53
Colombia	9.000,00	8,91
India	4.827,00	4,78
Etiopía	4.500,00	4,46
México	4.200,00	4,16
Honduras	3.527,00	3,49
Guatemala	3.500,00	3,46
Perú	3.315,00	3,28

Fuente: OIC (2010); citado por FECAFEB (2010).

2.3. Generalidades de la caficultura en Bolivia

El sector cafetalero boliviano desde sus orígenes se concentró principalmente en los Yungas paceños, desde el siglo XVIII en la época colonial, donde las misiones franciscanas y otras órdenes introdujeron el cultivo para el consumo de La Paz y la región. El cultivo de café comienza a crecer en superficie cultivada a partir de la década de los cuarenta (Romero, 2003; citado por Flores, 2006).

Según el Ministerio de Agricultura (2001); citado por López (2003), las especies y variedades del café que se cultivan en Bolivia son: la especie “*Coffea arabica*” y las variedades son la típica o criolla en un 80%, el resto de variedades que hace el 20% son Caturra, Catuai (amarillo y rojo), Catimor, Cavimor y Mundo Novo. La variedad Típica en los Yungas, es más importante en términos económicos, siendo apreciado por su calidad superior en aroma y sabor (Cuba, 2007).

La principal región cafetalera del país (Cuadro 3), se encuentran en el departamento de La Paz, concentrando el 95,4% de la producción del café a nivel nacional y ofrece el mayor potencial para la producción de este grano.

Cuadro 3. Regiones productoras de café en Bolivia.

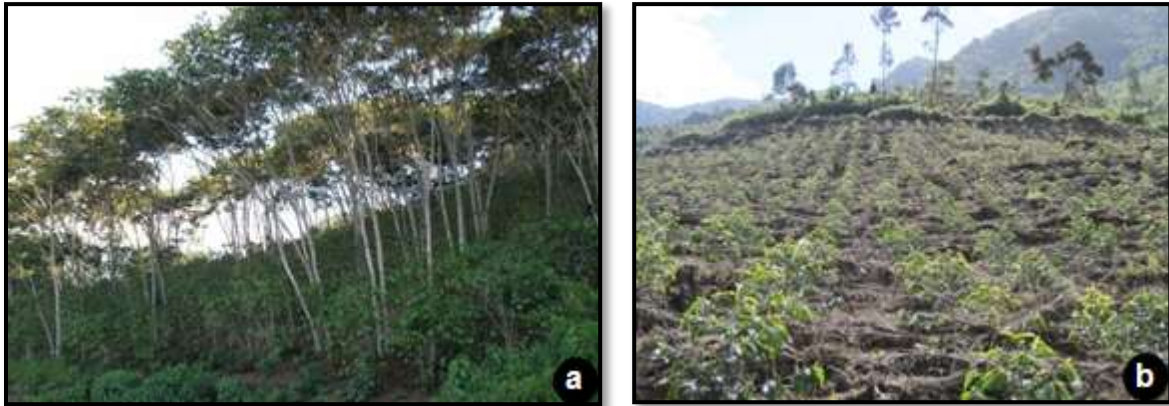
Departamento	Producción (%)	Provincias	Municipios
La Paz	95,4	Caranavi, Nor Yungas, Sud Yungas, Inquisivi, Franz Tamayo, Larecaja e Iturrealde.	Caranavi, Coroico, Cajuata, Chulumani, Irupana, Palos Blancos, Apolo, Guanay, Yanacachi.
Santa Cruz	2,5	San Ignacio de Velasco e Ichilo.	San Ignacio y Buena Vista.
Cochabamba	1,0	Chapare, Carrasco y Ayopaya.	Colomi, Chimore, Ayopaya.
Tarija	0,5	Arce.	Bermejo.
Beni	0,4	José Ballivian, Vaca diez, Itenez, Moxos.	Guayaramerin, Riberalta, San Borja.
Pando	0,2	Nicolás Suarez.	Santa Cruz, Costa Rica.

Fuente: FECAFEB (2010).

El 99% de las plantaciones del café en la región de los Yungas, se encuentran bajo sombra (Figura 4a), establecido de forma natural y en escala menor sin sombra como es el caso de la Empresa AGROTAKESI S.A., que se encuentra en Sud Yungas de La Paz (Figura 4b) (FECAFEB, 2010).

Según Copa (2007), en el municipio de Caranavi el ciclo agrícola del café comprende diferentes actividades y abarca todo el año (Figura 5), empieza después de la última cosecha en los meses de agosto a septiembre. La intensa actividad comprende los meses de abril a octubre, bajando de noviembre a marzo. La comercialización local se

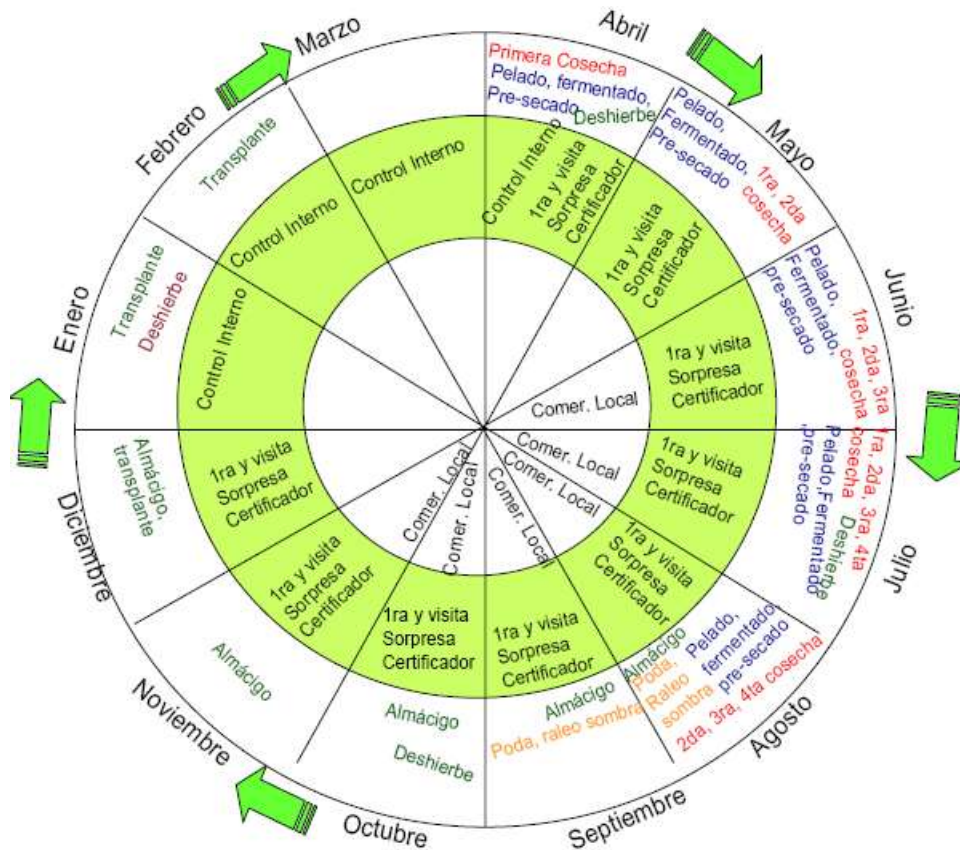
realiza de junio a noviembre, las actividades de control interno, la certificación por parte de la organización local y el manejo del lote (cafetal) de las familias todo el año.



Fuente: Fotografías en APCERL (2010) y AGROTAKESI S.A. (2011).

- a) Cafetal bajo sombra en APCERL (Larecaja Tropical, Municipio de Teoponte).
- b) Cafetal sin sombra en AGROTAKESI S.A. (Sud Yungas, Municipio de Yanacachi).

Figura 4. Tipos de plantación de cafetales en la región de los Yungas.



Fuente: Copa (2007).

Figura 5. Calendario agrícola del café en el municipio de Caranavi, Bolivia.

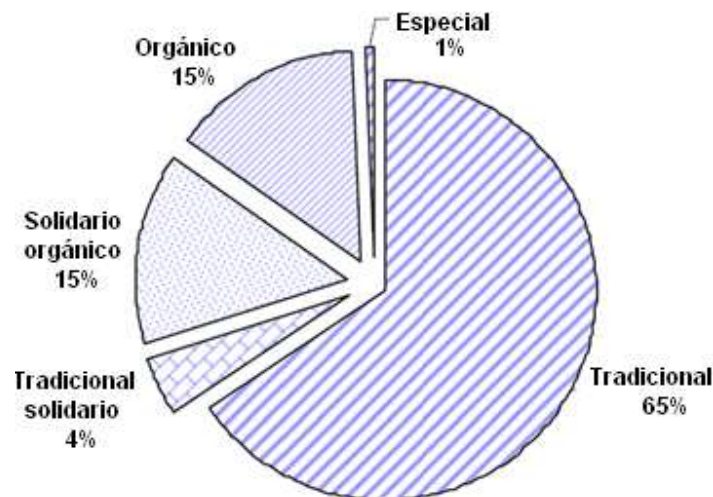
Según IMG CONSULTING (2007), en los Yungas se estimó un rendimiento de café verde de 300 a 350 kg/ha, lo cual está muy por debajo de otros países. Cada productor es propietario de un aproximado de 10 hectáreas, de las cuales, las plantaciones de café por productor, están en el rango de 2 a 5 hectáreas. La edad promedio de las plantaciones de café en el 80% de los casos, oscila entre 15 y 25 años, con la tasa de renovación muy baja. Estos factores explican la reducción de la producción en los últimos años, especialmente a partir del 2001, año en que se tuvo la manifestación del “grano negro” que puso en evidencia la fragilidad de las plantaciones viejas.

Referente a los sistemas de producción del café en Bolivia (Figura 6), se han adoptado distintas estructuras de mercado, dependiendo de los compradores, las más conocidas son las siguientes:

- Tradicional, que comprende la mayoría de los cultivos, sin el empleo de insumos como pesticidas y fertilizantes sintéticos ya que se trata de un sistema de producción que conserva las tradiciones ancestrales.
- Orgánico y/o Ecológico, cumple normas internacionales establecidas para la producción orgánica certificada, con enfoque de un manejo sostenible de los recursos naturales y libre de contaminantes sintéticos. La certificación orgánica representa una inversión que deben realizar las organizaciones de productores para cada ciclo productivo una vez que han cumplido la etapa de transición (36 meses). El proceso de certificación orgánica es realizado por empresas especializadas como BIOLATINA, BOLICERT e IMO-CONTROL.
- Solidario (orgánico y tradicional), denominado también *Fairtrade*, se vende también como café orgánico. Los precios de café son fijos y se mantienen con el fin de favorecer a los productores de escasos recursos que están organizados en cooperativas, corporaciones o asociaciones de productores y que deben cumplir con exigencias de registro en organismos internacionales que controlan este mercado bajo sistemas que permiten mantener a este sector con buenos precios. El objetivo

de esta modalidad es que los miembros de estas agrupaciones mejoren su nivel de vida, especialmente en lo que se refiere a salud y educación.

- Especial o de especialidad, que se basa en la calidad del café en taza denotando sus características organolépticas propias de las zonas de producción que, en la mayoría de los casos, se trata de condiciones de altura que exceden a los 1.000 metros sobre el nivel del mar. Bolivia ha ingresado al mercado internacional de cafés especiales, con volúmenes pequeños, lo que demuestra que se cuenta con cafés de muy buena calidad, que pueden competir fácilmente con cafés de otros orígenes renombrados en el mundo.



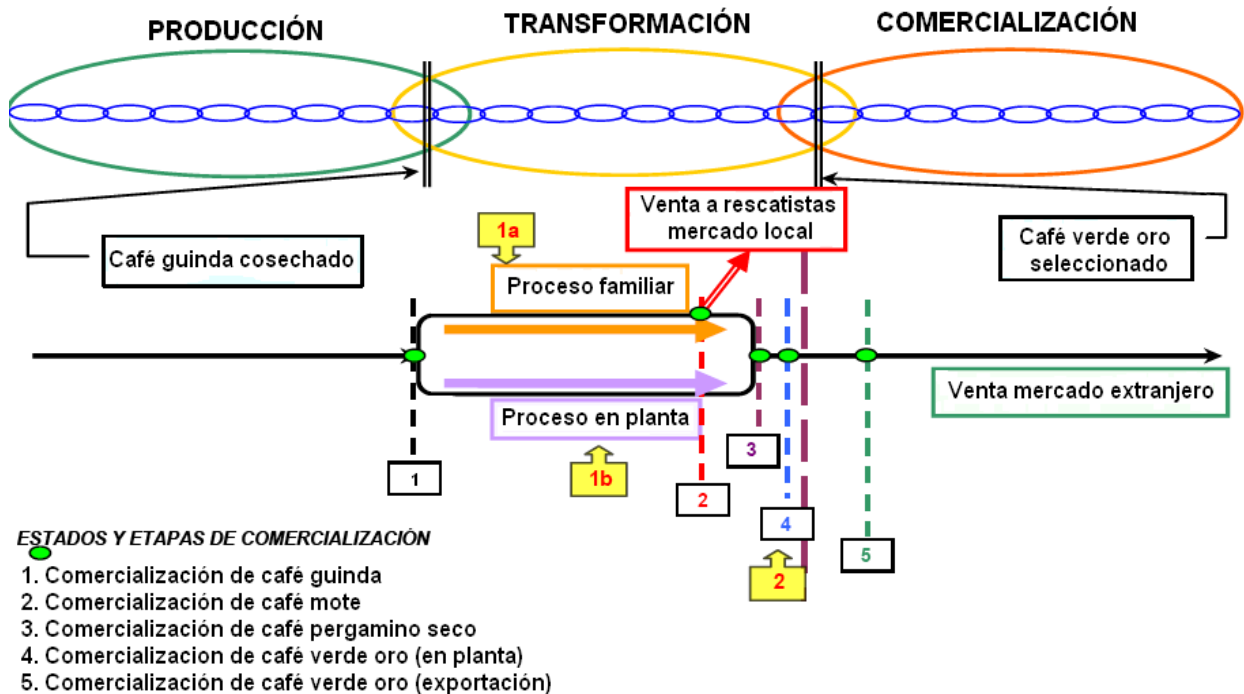
Fuente: IMG CONSULTING (2007).

Figura 6. Estructura de los sistemas de producción del café en Bolivia.

Se debe destacar que las Organizaciones Económicas Campesinas (OECAs), están integradas verticalmente desde la producción hasta la exportación del café, mientras que los actores del sector privado, sólo participan en el eslabón de la comercialización y exportación de café.

Según la FECAFEB (2010), la cadena productiva tradicional del café en Bolivia (Figura 7), está constituido por una red de comerciantes y exportadores locales, que no logra salir de la lógica de volúmenes ni impulsar una dinámica de calidad. Estos actores repercuten directamente en los bajos precios a los productores de café. Sin embargo,

las organizaciones de pequeños productores están haciendo esfuerzos junto a la cooperación internacional por salir de esta lógica al trabajar lo más directamente posible con los importadores y los torrefactores.



Fuente: FECAFEB (2010).

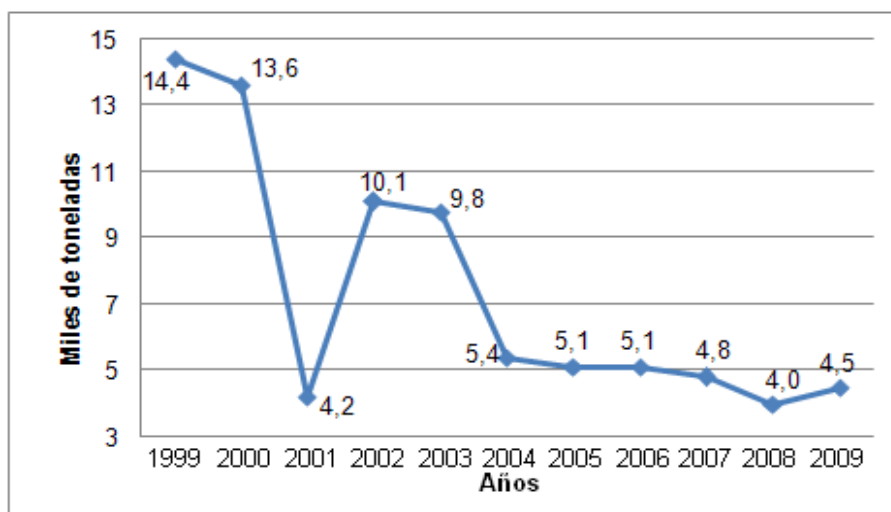
Figura 7. Mapeo de la cadena de valor del café.

Al librarse de la intermediación, las organizaciones de productores optimizan la calidad de su producto mediante la supervisión del proceso desde la parcela hasta el embarque, gracias a estos esfuerzos los volúmenes exportados se han ido incrementando y la participación de los productores ha ido creciendo respecto a las empresas privadas.

Bolivia comercializa más del 99% del café de exportación en grano (café verde oro), como materia prima, el mismo que es utilizado en el exterior por los tostadores para la preparación de *blends* (mezclas de café), en los que intervienen cafés de otros orígenes, con la finalidad de que el consumidor encuentre en la mezcla, los mejores sabores, lo que permite acrecentar el consumo en el mercado internacional (IMG CONSULTING, 2007).

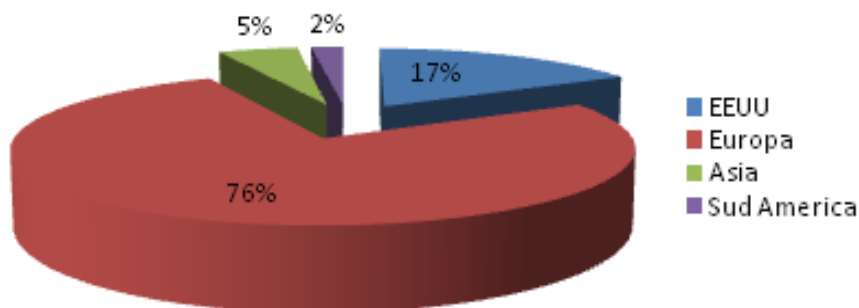
La exportación del café verde (Figura 8), a pesar de tener un pico el año 1999, en los últimos 10 años ha tenido una caída catastrófica de 220% en la producción, lo que significa una disminución de 9,9 millones de toneladas. Las consecuencias de esta disminución se pueden explicar, por el 80% de las plantaciones bajo un sistema tradicional con cafetales viejos y ausencia de manejo agronómico.

Los países que compran en mayor cantidad café a Bolivia son los europeos con 76% y Estados Unidos con 17% seguido de los países Asiáticos en un menor porcentaje (Figura 9). El total de lotes exportados en el año 2009 de octubre a diciembre fue de 115 lotes y el 2010 se exportó 84 haciendo un total de 199 lotes exportados de 17,5/19,6/TM (FECAFEB, 2010).



Fuente: Memoria BCB (2009); citado por FECAFEB (2010).

Figura 8. Volúmenes de exportación del café boliviano.



Fuente: FECAFEB (2010).

Figura 9. Destino de exportación del café boliviano.

2.4. Sistemas de beneficiado del café

Según Alvarado y Rojas (1998); citado por Chacón (2001), la etapa que le sigue a la cosecha es el beneficiado del café, proceso mediante el cual se transforma el fruto en producto comercial. El proceso de beneficio puede incidir en la calidad del grano, manteniendo intacto o deteriorándolo si se emplean métodos inapropiados.

El café maduro presenta una composición en la cual el grano (parte aprovechable para consumo), representa un aproximado de 20% del volumen total del fruto. El proceso de extracción del fruto mediante el beneficiado, genera el restante 80% del volumen procesado en calidad de desecho (Orozco et al., 2005; citado por Guardia, 2012).

Existen dos tipos de procesos de beneficiado: seco y húmedo. El beneficiado húmedo es el método de procesamiento de café más utilizado, donde se utiliza agua como medio facilitador o como medio de transporte. El método surgió como una alternativa para solucionar el problema de la fermentación inmediata y excesiva del café en zonas tropicales (Bello *et al.*, 1993; Cervantes, 1998; citado por Guardia, 2012).

El proceso mediante el cual se transforma el café cereza en café pergamino seco, se conoce con el nombre de “beneficio” y es “húmedo” porque se utiliza agua para el lavado del café. El “beneficiadero” es el establecimiento donde se realiza, la operación de transformación del café (Puerta & Rodríguez, 2001; citado por Rodríguez, 2009).

2.5. Sistema de beneficiado en Bolivia

Copa (2007), señala que el pre beneficio del café se realiza por vía húmeda, existiendo el proceso familiar y centralizado. El primero está en vigencia, y el segundo requiere de recursos económicos y de infraestructura. Dichos procesos se detallan a continuación:

- Pre beneficio familiar, todos los productores de las organizaciones, realizan este proceso, donde intervienen los miembros de la familia, desde la década de los 70.

- Pre beneficio centralizado, donde los productores afiliados a la organización acopian café; y los trabajos de pelado, fermentado, lavado y secado lo realiza la organización.

2.5.1. Cosecha

Para Copa (2007), la cosecha de café en el municipio de Caranavi empieza el mes de abril y se extiende hasta agosto, normalmente realizan 4 cosechas, dependiendo de la altura y la ubicación de los terrenos. Las colonias ubicadas a 800 m.s.n.m., son las primeras en empezar y terminar la cosecha, abril y julio; las colonias ubicadas a nivel medio 1100 m.s.n.m., empiezan en mayo y terminan entre julio y agosto; y las colonias ubicadas a más alto nivel 1.700 m.s.n.m., empiezan entre junio y julio, concluyendo entre agosto y septiembre. En la cosecha se utilizan manteles (mit'iñas) para reunir el café (Figura 10a), y algunas colonias usan un cosechador llamado "coco" (Figura 10b).



Fuente: Fotografías en APCERL (2010).

- a) Cosecha tradicional del café en mantel (mit'iña).
- b) Cosecha tecnificada del café en contenedor (coco).

Figura 10. Cosecha del café de forma tradicional y en cosechador en los Yungas.

Por otra parte es difícil conocer con exactitud el número de veces que una familia cosecha su cafetal, como promedio se estima cuatro veces, sin embargo algunos realizan cinco cosechas incluyendo la sanitaria, lo que significa que se recoge todo el café, incluso frutos verdes con el fin de frenar cualquier tipo de enfermedades y plagas.

2.5.2. Despulpado

Según Copa (2007), una vez cosechado y transportado el café guinda al lugar donde está instalada la despulpadora, todo cosechador procede a “latear” (medir en latas), si se considera necesario, se debe boyar (seleccionar) para que el café pelado no contenga café de mala calidad (brocados, ch’uzos, k’olos). Luego se vacía el café guinda a la despulpadora, para quitar la pulpa (sultana) del café, procedimiento que realizan las familias todas las noches, en todo el tiempo que dura la cosecha.

Los productores cuidan que la máquina peladora esté en buenas condiciones para que no maltrate el grano de café y además se preocupan por despulpar el café ese mismo día evitando así la fermentación del fruto y con él la baja de calidad.

2.5.3. Fermentación y lavado del café

Copa (2007), indica que el café pelado se deposita en las fosas de cemento o en recipientes de madera, controlando el tiempo de fermentación ideal que varía según la temperatura, una vez verificado, los productores proceden a lavar el café fermentado.

El café se lava en horas de la mañana, de 6 a 8 y en días fríos de 9 a 10, eliminando el mucílago. Es importante que quede limpio y en lo posible sin pulpa, cafés partidos, maltratados o con broca; si no es así mientras corre el agua, están son seleccionados.

2.5.4. Secado del café

Según Copa (2007), el secado del café se realiza en tarimas en domicilios y plantas centralizadas por un lapso de 5 días hasta alcanzar la humedad indicado por la organización. La forma de secar es uno de los cambios que las familias tuvieron que realizar al pasar de café convencional a café orgánico. Antes se secaba en el suelo, ahora los productores secan su café en tarimas construidas.

La actividad depende de las condiciones climáticas; si hay buen sol se deja secar el café en la tarima sin recurrir a las carpas acondicionadas con agrofilm, en cambio si no hay seguridad del buen tiempo y cualquier indicio de lluvia es suficiente para instalar la carpa y proteger el café de la lluvia.

2.5.5. Empaque de café

Según Copa (2007), el empaque de café se realiza después de haber secado el café, los productores recogen en bolsas de yute y los depositan en un ambiente cercano al camino carretero listo para entregar a la organización cafetalera.

Cuando el café está con humedad de 25%, y si llueve mucho, se recoge y entrega a la organización, el personal se encarga de terminar el secado hasta la humedad necesaria y luego transportarla a la planta de beneficio en La Paz.

2.5.6. Tecnología empleada en el beneficiado del café

Según FECAFEB (2010), la tecnología utilizada (Cuadro 4) en el proceso de pre beneficio y beneficio del café en el país, va desde lo manual/artesanal (Figura 11), hasta lo tecnificado (local e importado) (Figura 12).

Cuadro 4. Tecnología utilizada en los procesos de transformación del café.

Etapa	Productor no asociado	Productor OECA
Pre beneficio	Despulpadoras manuales, proceso completamente artesanal	Despulpado manual/artesanal, también se efectúa en pre beneficiadoras comunales, en su mayor caso con tecnología medio alta, conseguida con apoyo de las agencias de cooperación internacional
Beneficio	Usan tecnología importada (a través de los rescatistas que transfieren el café mote a plantas establecidas)	Tecnología media/alta. Gran parte de las OECAS están integradas, y acceden al beneficio en la ciudad de La Paz. Aquellas que no tienen la planta, alquilan los servicios de terceros en la ciudad de El Alto, que representa el caso más común.

Fuente: FECAFEB (2010).



Fuente: Fotografías en APCERL (2010).

- a) Peladora y batea de madera para el pre beneficiado del café.
- b) Remoción del café fermentado en batea de madera.
- b) Mesas denominadas “tarima” para el escurrido y secado de café.

Figura 11. Tecnología tradicional familiar en el pre beneficiado del café.



Fuente: Fotografías en las organizaciones cafetaleras ASOCAFE y GENCOOP (2010).

- a) Despulpadora mecanizada del “café guinda”.
- b) Tanques de fermentación del “café baba”.
- c) Canal de correteo para el lavado del “café fermentado”.
- d) Equipo tecnificado para el secado del “café lavado”.

Figura 12. Tecnología convencional mecanizada en el pre beneficiado del café.

Las plantas centralizadas de pre beneficio húmedo resultan eficientes, cuando existe una cierta concentración de las plantaciones de café, facilitando el acopio y permitiendo el ahorro en los costos, manejando volúmenes grandes y homogéneos, mejorando en la calidad del café, eliminando los granos defectuosos y las materias extrañas del producto, justificando de esta manera su instalación. En cambio, cuando las plantaciones del café están muy dispersas, el acopio no solo se dificulta, sino que se incrementan demasiado los costos.

La zona de los Yungas, con sus diferentes municipios y organizaciones tiene 91 plantas instaladas, en Cochabamba y Santa Cruz se tiene 4 y 1 respectivamente (Cuadro 5), con características de infraestructura de capacidades diferentes, para el despulpado y obtención de café pergamino a una humedad ideal y luego trasladarlo a la planta de beneficio seco.

Cuadro 5. Plantas pre beneficiadoras de café instaladas en el país.

Departamento	Municipio	Organización	Número de Plantas
La Paz	Caranavi	ASOCAFE, VILLA ORIENTE, AECAR, ASIPAI, APAEC, AIPRACC, CELCCAR, COAINE, CENAPROC, ALTO SAJAMA, SAN JUAN, CIANA, CORACA CARRASCO, ANTOFAGASTA, GAIC MOSCOVIA, MEJILLONES, AIPEP, U-PROAGRO, PRIVADOS	53
	Coroico	CENCOOP	3
	Teoponte	APCERL	8
	La Asunta	ARPEA	10
	Palos Blancos	AIPAC - Alto Beni, SUMAJ CAFÉ	2
	Irupana	CORACA IRUPANA	2
	Cajuata	PASYBOL	2
	Yanacachi	AGROTAKESI S.A. (privado)	1
	Apolo	APCA - APOLO	10
Cochabamba	Chapare	CAFÉ TROPIC, TROPICAFE	4
Santa Cruz	Buena Vista	BUENA VISTA	1
Total			96

Fuente: FECAFEB y FODUR (2010).

Algunas plantas de beneficio húmedo fueron construidas con el apoyo de instituciones no gubernamentales, prestando servicios a muchos productores cafetaleros organizados e individuales. Respecto a las plantas de beneficio seco (Cuadro 6) en la ciudad de La Paz y El Alto existen 20, donde se realizan el trillado y seleccionado del café verde oro, para su respectiva exportación.

Cuadro 6. Plantas de beneficio seco en La Paz y El Alto.

No.	Plantas de Beneficio Seco - El Alto	Organizaciones que procesan
1.	MEJILLONES	APCERL, MEJILLONES, COOPERATIVA SAN IGNACIO, PROCASY, AIPAC - AB
2.	RUMY YARA	ASOCAFE, ALTO SAJAMA
3.	COAINE	COAINE, APCA - APOLO
4.	ANPROCA	U-PROAGRO, CELCCAR, CIAPEC, AECAR, AGROCAM
5.	DEYSI SRL	SUMAJ CAFÉ
6.	ROYAL	CENAPROC, PASYBOL
7.	MOPRAL	APROCAFE, CIANA, COACS
8.	VILLA ORIENTE	VILLA ORIENTE
9.	CUPILUPACA	CENCOOP
10.	EXIMPAZ	ASIPAI
11.	ECOGRES	SAN JUAN, ARPEA, CIAPEC
12.	VICOPEX	ANTOFAGASTA, AIPRAC, AIPEP
13.	ROMERO	CORACA IRUPANA, CORACA CHULUMANI
14.	JUAN ALEJO	VARIOS
15.	COPACABANA	EMPRESA COPACABANA
16.	ORIENTAL	VARIOS
17.	ANDITRADE	AGRICABV
18.	CARLOS	VARIOS
19.	COLLPANI	VARIOS
20.	FLOR DE CAFÉ	FLOR DE CAFÉ SRL

Fuente: FECAFEB (2010).

2.6. Disponibilidad y calidad del agua en el beneficio húmedo del café

Según Camacho (2005), el consumo de agua per cápita a escala mundial aumenta por la mejora de los niveles de vida y el crecimiento poblacional. En consecuencia el porcentaje de agua utilizada se eleva, y la cantidad de agua existente para los diferentes usos empieza a escasear.

El café fermentado a punto de lavado debe someterse a una operación que elimine los residuos de mucilago, así como las sustancias formadas durante la fermentación, con el objeto de obtener un pergamino áspero y sin restos de mucilago en la hendidura. Este sistema se caracteriza por un elevado consumo de agua (Guardia, 2012).

Chacón (2001), señala que en el lavado del café se debe utilizar agua limpia y no utilizar en lo posible aguas recicladas. Las consecuencias de un mal lavado son: café con olor a fermento, café avinagrado, pergamino manchado, café de regular calidad.

El lavado del café es la operación de quitar la miel que circunda el pergamino por medio de la inmersión, y paso de una corriente de agua. La economía de agua en esta operación complementa la eficacia del sistema de recirculación de agua que debe usarse en las operaciones de beneficiado húmedo de café (Toledo, 2003).

Barrientos (2000), señala que el proceso de pre beneficio del café, debe contar con cantidad suficiente de agua limpia para lavar el café en bateas de madera a nivel familiar y en canal de correteo en plantas centralizadas. El mal lavado ocasiona la pérdida de peso y calidad del café (manchado del pergamino y mal olor).

2.6.1. Gasto de agua en el beneficio convencional

En el beneficio húmedo convencional, los subproductos son removidos durante las etapas de despulpado y lavado, utilizando altas cantidades de agua, alrededor de 40 a 60 L/kg de café pergamino seco (*cps*), volúmenes importantes de agua distribuidos de la siguiente forma: 12,5% en el despulpado, 37,5% en el lavado y transporte del grano y 50% para el transporte de la pulpa (Roa *et al.*, 1999; Pérez *et al.*, 2007).

En el beneficiado húmedo tradicional del café, es necesario la utilización de agua en grandes cantidades como uno de los principales componentes del proceso de transformación y una de sus limitantes es la no reutilización de la misma y el elevado nivel de contaminación ambiental. (Ponce, s.f.; citado por Chacón, 2001).

En los Yungas, cuando los productores se encuentran cerca a ríos, lavan el café en ellos, con redes, con promedio de 3 qq/hr y cuando están alejados de las fuentes de agua, lavan el café en bateas de madera en promedio de 1,60 qq/hr. En las plantas de pre beneficio se tienen canales de lavado donde se usa abundante agua, además esta actividad sirve para una primera clasificación del café (FECAFEB, 2010).

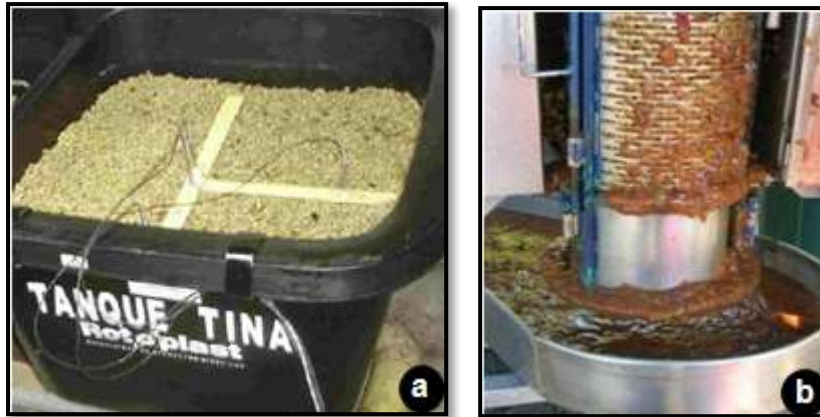
IMG CONSULTING, (2007), señala que en el país, no se tiene conocimientos del volumen de agua utilizado en el pre beneficiado húmedo del café, lo común es que a nivel familiar y centralizado en plantas, se lava con la cantidad de agua disponible (altos volúmenes y uso excesivo), lo cual dificulta la estimación del consumo y manejo del recurso para el control de la contaminación en esta etapa.

2.6.2. Gasto de agua en el beneficio ecológico del café

Según Lema (1998); citado por Chacón (2001), la tecnología de beneficio ecológico del café, tiene su soporte básico en la eliminación del agua en el despulpado y como medio de transporte del café baba y pulpa. Racionaliza igualmente el uso del agua en el proceso de lavado y la utilización óptima de los subproductos (pulpa y mucilago).

Según CENICAFE (2011), el uso eficiente del agua permite disminuir el gasto de 40 a menos de 5 L/kg *cps*, con despulpado por gravedad y transporte de pulpa sin agua, racionalizando su uso en la etapa de lavado, con cuatro enjuagues en Tanque tina (Figura 13a). Asimismo la tecnología BECOLSUB (Beneficio Ecológico del café y aprovechamiento de Subproductos) (Figura 13b), involucra el desmucilaginado mecánico, y permite disminuir el uso de agua a menos de 1 L/kg *cps*.

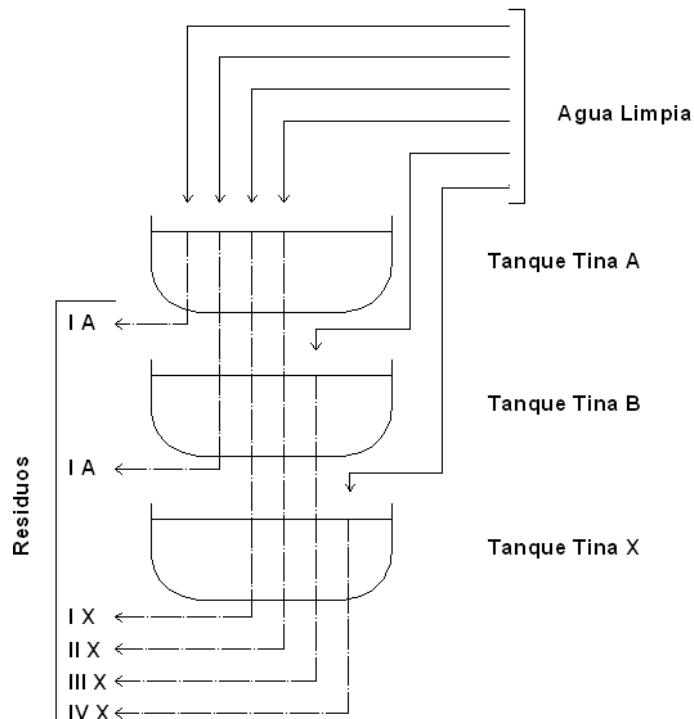
Zambrano e Isaza (1994), señalan que las aguas residuales del lavado de café en Tanque tina, pueden ser aprovechados para lavar el mismo día, otras masas de café y distribuir así la capacidad total en varios tanques tina, ubicados en forma escalonada, para aprovechar el flujo de estos residuos por gravedad, de un tanque a otro (Figura 14), reduciendo, más el consumo de agua durante la operación de lavado discontinuo.



Fuente: Archivo fotográfico CENICAFE; cit. por Rodríguez (2009).

- a) Tanque tina para fermentar y lavar café.
- b) Desmucilaginado mecánico de café cereza (BECOLSUB).

Figura 13. Tecnologías de Tanque tina y BECOLSUB en el lavado del café.



Fuente: Zambrano e Isaza (1994).

Figura 14. Ubicación de tanques tina, con el uso de drenados en el lavado del café.

CENICAFE diseñó el lavador mecánico ECOLAV (Tecnología Ecológica de Lavado del café) con fermentación natural (Figura 15), con uso de agua de 0,30 a 0,40 L/kg de cps, retirando más del 95% del mucílago de los granos, con potencia específica que varía de 0,86 a 1,29 W/h/kg de café lavado, que representa el 10,90% del valor observado en la

tecnología BECOLSUB; con significativa reducción de gasto de agua y los costos de tratamiento, por el menor volumen de aguas residuales generadas (CENICAFE, 2011).



Fuente: Archivo fotográfico CENICAFE (2011).

- a) Vista general del equipo
- b) Detalle de la descarga del tanque de fermentación.
- c) Lavado mecánico del café.
- d) Mieles generadas en el lavado del café.

Figura 15. Tecnología ECOLAV, con fermento natural y uso de enzimas pectinolíticas.

La fermentación natural y la aplicación de enzimas pectinolíticas en el lavado de café con la tecnología ECOLAV, son de gran utilidad de acuerdo a resultados obtenidos, reduciendo el consumo de agua y la contaminación generada (Peñuela *et al.*, 2011; citado por CENICAFE, 2011).

Con la tecnología ECOLAV se logra un avance notorio en la reducción del agua en el pre beneficio húmedo del café (Cuadro 7), al pasar de 20 a 0,30 L/ kg de cps (98,5%) en el caso del canal de correteo. Con relación al Tanque tina y BECOLSUB, la disminución de uso de agua asciende a 92,40% y 57,10%, respectivamente.

Cuadro 7. Gasto de agua en el lavado del café, con tecnologías.

Dispositivo	*CEA (L/kg cps)	Reducción en CEA (%)
ECOLAV	0,30	-
BECOLSUB	0,70	57,10
Tanque tina	4,20	92,40
Canal de correteo	20,00	98,50

Fuente: CENICAFE (2011).

*CEA: Consumo Específico de Agua.

2.7. Contaminación e impacto ambiental en el beneficio húmedo

Según Tortorelli & Hernández (1995); citado por Arce & Leiva (2009), los ecosistemas naturales poseen la capacidad de soportar alteraciones debidas a la presencia de agentes extraños mediante la autodepuración, su deterioro se produce cuando la cantidad y calidad de desechos introducidos superan su capacidad de recuperación.

Pocos cultivos reciben tanta atención respecto a su relación con el ambiente como el café. Continuamente se exige altos estándares de sostenibilidad ambiental en el ámbito de la producción del café, su procesamiento es una de las actividades donde se necesita adaptar sus tecnologías para reducir el impacto ambiental (Guardia, 2012).

En el procesamiento de café por vía húmeda, uno de los principales problemas lo constituye el excesivo uso de agua y la generación de residuales con altos niveles de contaminación orgánica, los cuales se encuentran en un rango de 2.400 a 21.900 mg/L (Bello – Mendoza y Catillo – Rivera, 1998; GTZ – PPP, 2003; Houbron *et al.*, 2003; USAID, 2003; Orosco *et al.*, 2005; Calil *et al.*, 2010; Guardia - Puebla *et al.*, 2010; Selvamurugan *et al.*, 2010; Fia *et al.*, 2012; citado por Guardia, 2012).

Según CENICAFE (2011), la pulpa y el mucílago frescos, cuando no son utilizados en forma adecuada, representan el 72% y el 28%, del problema de contaminación en el proceso de beneficio húmedo del café, lo que indica una contaminación generada por cada kilogramo de fruto beneficiado equivalente a la generada en aguas negras por un habitante por día.

Estudios y diagnósticos realizados revelan la presencia de altas concentraciones de contaminantes en muchas de las cuencas hidrológicas donde se realiza la actividad cafetera, considerada como una de las más contaminantes con serias alteraciones ambientales negativas en países productores, bajo el proceso de beneficio húmedo, sin disponer de un proceso de tratamiento eficiente, ya que las aguas residuales generadas se depositan directamente a las corrientes de aguas superficiales (Guardia, 2012).

La situación se agrava si los centros de procesamiento se encuentran en zonas de montaña, donde los ecosistemas son frágiles, y que el proceso de beneficio se realiza en los meses secos, donde los ríos disminuyen su caudal, aumentando la concentración de las sustancias contaminantes (Sotolongo *et al.*, 2000; citado por Guardia, 2012).

Las aguas residuales del proceso húmedo del café presentan valores de pH bajos (inferiores a 4), por lo que se trata de una forma de contaminación severa del agua, que se da en las épocas de cosecha y que imposibilita su aprovechamiento para consumo humano o alguna otra actividad industrial, afectando también la fauna acuática y limitando los usos recreativos (Fernández, 2005; citado por Guardia, 2012).

La práctica de beneficio húmedo del café genera en los cauces de aguas superficiales aumentos considerables de la contaminación orgánica y la concentración de materia suspendida, la generación de olores desagradables, turbidez y pérdida de la calidad visual (Bello - Mendoza & Castillo – Rivera, 1998; GTZ – PPP, 2003; Houbron *et al.*, 2003; Narasimba *et al.*, 2004; Devi *et al.*, 2008; Selvamurugan *et al.*, 2010; Fia *et al.*, 2012; citado por Guardia, 2012).

Zambrano (1997), señala que el 100% de la contaminación corresponde al vertido de la pulpa y mucílago a las fuentes de agua directamente y representan 3.590 kg demanda biológica de oxígeno (DBO₅)/1.000 @ cps y 3.484 kg sólidos solubles totales (SST)/1.000 @ cps. Con el beneficio ecológico se controla cerca del 92% de la contaminación potencial (subproductos del café), el resto 8% de la contaminación la

constituyen los lixiviados que poseen una carga, en términos de demanda química de oxígeno (DQO), alrededor de 110.000 partes por millón (ppm).

La contaminación potencial por cada kilogramo de café en cereza que se convierte a café seco es de 115,10 gramos de demanda química de oxígeno (DQO). Cuando se utiliza agua solamente para lavar el café la contaminación generada es de 30,27 gramos de demanda química de oxígeno (DQO)/kg de café cereza (cc) procesada (Zambrano e Isaza, 1998).

En un día normal de recolección, un cosechador de café puede recolectar 100 kg de fruto, de los cuales se desprenden la pulpa y el mucílago, durante su beneficio húmedo, con un potencial contaminante 115 veces superior a la excretas y la orina producidas por el recolector en ese mismo día (Zambrano & Rodríguez, 2008).

2.7.1. Características de las aguas residuales del café

El Centro de Investigaciones Ecológicas del Sureste (CIES) (1994); citado por Chacón (2001), reporta el impacto negativo en las fuentes de agua en el beneficio húmedo del café (Cuadro 8), alterando sus características físicas, químicas y biológicas.

Cuadro 8. Resultado de muestreos de aguas mieles de beneficios convencionales.

Etapa	ppm						mg O ₂ /l		
	Temp. °C	pH	ST	SST	SDT	SS	DBO	DQO	OD
Entrada	19,70	6,40	373,00	94,00	278,00	0,00	4,40	0,00	7,80
Lavado	19,50	5,50	2.393,00	908,00	1.485,00	88,0	1.235,0	2.211,00	2,20
Despulpado	21,60	5,30	4.106,00	937,00	3.169,00	64,0	1.651,0	275,00	1,20

Fuente: CIES (1994); citado por Chacón (2001).

Referencias:

ppm = partes por millón; ST = sólidos totales; SST = sólidos solubles totales; SDT = sólidos disueltos totales; SS = sólidos sedimentados; DBO = Demanda Biológica de Oxígeno; DQO = Demanda Química de Oxígeno; OD = Oxígeno Disuelto; mg O₂/L = miligramos de oxígeno por litro.

Las aguas residuales del proceso de despulpe del café (Cuadro 9), se caracterizan por tener valores de pH ácidos, contaminación orgánica alta (expresada DQO total) y disuelta (definida como DQO soluble) (Fernández, 2005; citado por Guardia, 2012).

Cuadro 9. Composición de las aguas residuales del beneficio húmedo del café.

Parámetros	Agua Residual	Agua residual diluida (1:4)
Demanda Química de Oxígeno Total (DQOT mg/L)	15.000±190	2545±142
Demanda Química de Oxígeno Soluble (DQOS mg/L)	11.736±152	2302±175
pH	3,63±1,40	3,79±0,21
Sólidos Totales (ST mg/L)	5.160,00	1228,50
Sólidos Totales Volátiles (STV mg/L)	4.200,00	1141,60
Sólidos Totales Fijos (STF mg/L)	960,00	86,90
Sólidos Suspendidos Totales (SST mg/L)	1.155,00	315,70
Sólidos Suspendidos Totales Volátiles (SSTV mg/L)	1.092,00	271,20
Sólidos Suspendidos Totales Fijos (SSTF mg/L)	630,00	44,50

Fuente: Fernández (2005); citado por Guardia (2012).

Según Rodríguez (1999), los contenidos de contaminantes orgánicos y minerales presentes en las aguas residuales del beneficio del café están directamente relacionados con la variedad de café, el tipo de beneficiado empleado en la transformación y la cantidad y calidad del agua usada en el proceso.

2.7.2. Problemas ambientales en la caficultura yungueña

Según Daza (2003), los problemas ambientales encontrados en la cadena productiva de café en organizaciones cafetaleras en la zona de los Yungas (CENCOOP, ECOGREZ, ANDITRADE, CENAPROC) en trabajo *in situ* fueron los siguientes:

- Volúmenes de pulpa eliminados a campo abierto sin un proceso adecuado de post beneficio. La fermentación de éste desecho se da en condiciones anaeróbicas, provocando sustancias contaminantes (sólidos suspendidos y material orgánico) que se arrastran a través de las aguas utilizadas, aportando contaminantes a las aguas superficiales y subterráneas, afectando la acidez natural, oxigenación y coloración.
- Altos volúmenes de agua utilizados en el despulpado y lavado del café.
- En algunos casos se implemento tanques de sedimentación de sólidos y evaporación de líquidos con el área no adecuada de acuerdo al volumen de agua eliminada o son fosas en sitios cuyo suelo presenta permeabilidad (CENAPROC, CENCOOP).

- Importantes volúmenes de agua miel de lavado, eliminados directamente a cuerpos de agua sin tratamiento previo.
- Acumulación sin manejo de la cascarilla proveniente del beneficio seco, puede ser un factor de riesgo por sus características inflamables.
- Ruido y polvo en el interior de las instalaciones de beneficio seco que pueden derivar en problemas de salud para el personal involucrado.
- En algunos casos faltan acciones para el control de erosión posterior al trabajo de limpieza de terreno y reposición de la cobertura vegetal eliminada.
- Pequeñas cantidades de residuos de mantenimiento y/o construcción que en forma acumulativa pueden derivar en impacto contaminante.

2.7.2.1. Caracterización del impacto ambiental negativo

Según Daza (2003) e IMG CONSULTING (2007), los impactos ambientales negativos identificados en la caficultura de los Yungas son varios, detallándose en el cuadro 10.

Cuadro 10. Identificación de impactos ambientales en la caficultura yungueña.

Actividades y desechos	Salud humana	Flora	Fauna	Aire	Suelo	Agua
Habilitación y preparación de terreno	0	3	3	3	3	0
Plantación de café	0	1	1	0	0	0
Pulpa	0	1	1	0	2	2
Aguas mieles	0	1	1	0	2	3
Seguridad industrial	1	0	0	0	0	0
Cascarilla	1	0	0	0	0	0
Residuos secundarios	0	0	0	0	1	1
Erosión	0	0	0	0	1	0

Fuente: Daza (2003); IMG CONSULTING (2007).

Ref.: Niveles de Impacto:

Ninguno = 0
 Leve = 1
 Moderado = 2
 Severo = 3

2.7.2.2. Medidas de mitigación

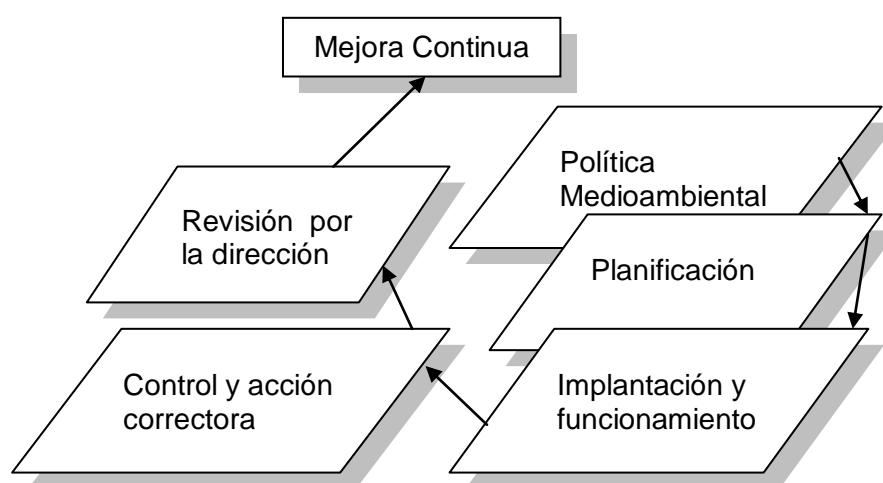
Daza (2003), plantea las siguientes medidas de mitigación para la caficultura yungueña:

- Procesos de gestión ambiental continuos en las organizaciones involucradas a partir de Normas ISO 14001 y según la Ley 1333.
- Utilización de pulpa como abono orgánico en aboneras, planchadas térmicas, etc.
- Obtención de humus a través de la lombricultura.
- Reutilización de cascarilla para mejoramiento de suelos y utilización en hornos.
- Promover el despulpado sin agua o semiseco para los mercados ecológicos.
- Entierro sanitario.
- Construcción de tanques de sedimentación en base al volumen de agua utilizado y parámetros ambientalmente óptimos para eliminación de aguas industriales.
- Control de la erosión de suelos con cobertura vegetal y control de taludes.
- Consideraciones de seguridad industrial para el personal.
- Consideraciones para la disposición adecuada de productos secundarios: Se recomienda un programa de capacitación para el personal que cubra los siguientes puntos: 1) Descripción de los productos utilizados; 2) Características de los productos utilizados; 3) Utilización adecuada de los productos; 4) Disposición adecuada de los residuos de los procesos de mantenimiento.
- Sistema de seguimiento y adecuación ambiental.

2.8. Gestión ambiental

2.8.1. La Norma ISO 14001

Según Salazar (2001), la Norma Internacional ISO 14001 (International Organization for Standardization) especifica los requisitos de un sistema medioambiental. Se escribió para ser aplicable a todos los tipos y tamaños de las organizaciones y para ajustarse a diversas condiciones geográficas, culturales y sociales (Figura 16).



Fuente: Salazar (2001).

Figura 16. Modelo de Administración medioambiental para la Norma ISO 14001.

El éxito del sistema depende del compromiso de todos los niveles y funciones, especialmente de la alta dirección. Un sistema de este tipo capacita a una organización para establecer y evaluar la efectividad de los procedimientos para implantar una política y unos objetivos medioambientales, conseguir conformidad con ellos y demostrar tal conformidad a terceros. El objetivo final de esta Norma Internacional es apoyar la protección medioambiental y la previsión de la contaminación en equilibrio con las necesidades socioeconómicas.

Esta Norma Internacional contiene solamente aquellos requisitos que pueden ser auditados objetivamente con propósitos de certificación/registro y/o auto declaración: La

norma no establece requisitos para el comportamiento medioambiental más allá de un compromiso, en la política medioambiental, del cumplimiento de la legislación y normativa aplicables y la mejora continua.

Es por ello que, dos organizaciones que realizan actividades parecidas pero que tienen diferentes comportamientos medioambientales, pueden las dos cumplir con los requisitos.

2.8.2. Consideraciones según la Ley de Medio Ambiente No. 1333

Antezana *et al.* (2007), indican que la Ley 1333, tiene como objeto principal “La protección y conservación del medio ambiente y los recursos naturales, regulando las acciones del hombre con relación a la naturaleza y promoviendo el desarrollo sostenible con la finalidad de mejorar la calidad de vida de la población” (Artículo 1).

Daza (2003), señala que se toma conciencia del problema del consumo de agua y contaminación de residuos del café, con estudios ambientales en plantas de pre beneficio del café en los Yungas (Proyecto Mapa - USAID), con factores que inciden sobre la situación, buscando soluciones a los impactos ambientales de acuerdo a las normas ISO 14001 y la Ley boliviana 1333, proponiendo alternativas de uso racional del agua, uso de los subproductos del café, en las organizaciones involucradas.

Presenta las siguientes consideraciones para la caficultura en Bolivia:

- Ficha Ambiental (FA): proceso de Evaluación de Impacto Ambiental (EIA), el mismo que se constituye en instrumento para la determinación de la categoría, con ajuste al Artículo 25 de la Ley. Es aconsejable su llenado en la fase de pre factibilidad, cuanto se tenga sistematizada la información del proyecto, obra o actividad.
- Manifiesto Ambiental (MA): Instrumento mediante el cual un proyecto, obra o actividad en proceso de implementación, operación o etapa de abandono informa a

la Autoridad Ambiental Competente (AAC), del estado ambiental en que se encuentra el mismo y propone un plan de adecuación ambiental, si corresponde.

- Reglamento Ambiental para el Sector Industrial y Manufacturero (RASIM): actividades económicas que involucran operaciones y procesos de transformación de materias primas, insumos, y materiales, para la obtención de productos intermedios o finales, con excepción de las actividades del sector primario de la economía. Las plantas beneficiadoras de café no están incluidas en el RASIM por tratarse de actividades de post cosecha, consideradas en el sector agropecuario. Si las plantas involucraran actividades de tostado, molienda, empaquetado y comercialización, se adecuarían según RASIM. En tal caso, es necesario realizar la adecuación de acuerdo a normativa del Reglamento de Control y Prevención Ambiental (RCPA), y el instrumento que aplica es el Manifiesto Ambiental (MA).

2.9. Legislación boliviana con relación al agua

Según la Ley Marco de la Madre Tierra y Desarrollo Integral Para Vivir Bien No. 300 (2012), en el Título III, Capítulo I, Artículo 27 (Agua), párrafo 6 se indica: Promover el aprovechamiento y uso sustentable del agua para la producción de alimentos de acuerdo a las prioridades y potencialidades productivas de las diferentes zonas. A su vez en el párrafo 11 indica, Adoptar, innovar y desarrollar prácticas y tecnologías para el uso eficiente, la captación, almacenamiento, reciclaje y tratamiento de agua.

A su vez, la Ley 1333 (1992), en el reglamento en materia de contaminación hídrica define al agua contaminada como: Alteración de las propiedades físico-químicas y/o biológicas del agua por sustancias ajenas, por encima o debajo de los límites máximos o mínimos permisibles, según corresponda, de modo que produzcan daños a la salud del hombre, deteriorando su bienestar o su medio ambiente. Mediante el Decreto Supremo 24176, se aprobó diferentes reglamentos de la Ley 1333 entre los que se tiene al agua en “materia de contaminación hídrica”. El reglamento prevé los límites máximos para vertidos de aguas residuales a cuerpos receptores.

2.9.1. Relación de uso del agua con la normativa

Antezana *et al.* (2007), señalan que la normativa en el caso de Bolivia, sobre el agua es casi inexistente, pues no se establece claramente su uso. Se tienen leyes sectoriales, que a pesar de los esfuerzos realizados, aun no se articulan suficientemente. Lo que contribuye a la existencia de una suerte de desorden normativo, que a veces se torna confuso y puede ser hasta contradictorio.

Según Camacho (2005), los usuarios no conocen la calidad de agua que utilizan, y mucho menos los gobiernos municipales, no cumpliendo con la función que le confiere la Ley 1333 de realizar acciones de prevención y control de la contaminación hídrica, identificar las fuentes de contaminación, controlar las descargas de aguas residuales crudas o tratadas a los cuerpos receptores y otras. A esto se suma que no existe una normativa clara para el rehusó de aguas, solo existen los parámetros permisibles y que en muchos casos no se adecua a la realidad boliviana. Los cuadros 11, 12 y 13 presentan los límites de descarga y clasificación del agua, según reglamentación.

Cuadro 11. Límites permisibles para descargas (mg/L), según la Ley 1333.

Parámetros	Propuesta		Parámetros	Propuesta	
	Diario	Mensual		Diario	Mensual
Cianuro libre ^a	0,20	0,10	Cinc	3,00	1,50
Cianuro libre ^b	0,50	0,30	Plomo	0,60	0,30
pH	6,90	6,90	Cadmio	0,30	0,15
Temperatura*	± 5 °C	± 5°C	Arsénico	1,00	0,50
Compuestos fenólicos	1,00	0,50	Cromo ⁺³	1,00	0,50
Sólidos suspendidos totales	60,00	-	Cromo ⁺⁶	0,00	0,05
Coliformes fecales (NMP/100 ml)	1000,00	-	Mercurio	0,00	0,00
Aceites y grasas ^b	10,00	-	Hierro	1,00	0,50
Aceites y grasas ^b	20,00	-	Antimonio ^c	1,00	xx
DBO	80,00	-	Estaño	2,00	1,00
DQO ^a	250,00	-	Amonio como N	4,00	2,00
DQO ^b	300,00	-	Sulfuros	2,00	1,00
Cobre	1,00	0,50			

Fuente: Ley 1333; citado por Camacho (2005).

Referencias:

* Rango de viabilidad en relación con la temperatura media del cuerpo receptor.

a. Aplicable a descargas de procesos mineros e industriales en general.

b. Aplicable a descargas de procesos hidrocarburíferos.

c. En caso de derrame de antimonio \geq a 2.500 kg, se reportara a la autoridad ambiental.

Cuadro 12. Clasificación del agua para consumo, según la Ley 1333.

Clase	Usos
A	Aguas naturales de máxima calidad, que las habilita como agua potable para consumo humano sin ningún tratamiento previo, o con simple desinfección bacteriológica en los casos necesarios verificados por laboratorio.
B	De utilidad general, que para consumo humano requiere de tratamiento físico y desinfección bacteriológica.
C	De utilidad general, que para consumo humano requiere de tratamiento físico químico completo y desinfección bacteriológica.
D	Por su elevada turbidez, requiere pre sedimentación y luego un tratamiento físico químico completo y desinfección bacteriológica.

Fuente: Reglamento en materia de contaminación hídrica.

Cuadro 13. Clasificación del agua según uso y tipo (Reglamento a Ley 1333).

Orden	Usos	Clase		
		B	C	D
2.	Para recreación de contacto primario: Natación, esquí, inmersión.	Si	Si	
3.	Para recreación de los recursos hidrobiológicos.	Si	Si	No
4.	Para riego de hortalizas consumidas crudas y frutas de cascara delgada, que sean ingeridas crudas sin remisión de ellas.	Si	Si	No
5.	Para abastecimiento industrial	Si	Si	Si
6.	Para la cría natural y/o intensiva (acuicultura) de especies destinadas a la alimentación humana.	Si	Si	No
7.	Para abrevadero de animales.	No	Si	No

Fuente: Ley 1333; citado por Camacho (2005).

2.10. Constantes físicas y factores de conversión

La Federación Nacional de Cafeteros de Colombia (FNCC) (1998), indica la densidad aparente de cada tipo de café, utilizado por el Centro de Preparación del Café (CPC) (Cuadro 14) y para el cambio entre cantidades de un estado a otro, utilizan los factores de conversión obtenidos por el Comité de Cafetaleros de Antioquia (CCA) (Cuadro 15).

Cuadro 14. Densidad aparente de tipos de café.

Producto	Densidad aparente (kg/m ³)
Café cereza	600
Café baba	800
Café lavado	650
Café seco de agua	520
Café pergamino seco	380
Café verde, excelso	680

Fuente: Federación Nacional de Cafeteros de Colombia (FNCC) (1998).

Cuadro 15. Factores de conversión utilizados por el CCA.

Para convertir	a	Multiplicar por:
Café cereza	Café pergamino	0,222
	Café baba	0,60
	Café verde	0,18
	Café seco de agua	0,324
	Café húmedo lavado	0,40
	Pulpa fresca mojada	0,48
Café pergamino seco	Café en cereza	4,50
	Café verde	0,80
	Café baba	2,71
	Café húmedo lavado	1,85
	Café seco de agua	1,46
	Pulpa fresca	1,778
	Pulpa fresca mojada	2,133
Café verde	Café pergamino seco	1,25
	Café baba	3,39
	Café en cereza	5,56
	Café húmedo lavado	2,312
	Café seco de agua	1,825

Fuente: Federación Nacional de Cafeteros de Colombia (FNCC) (1998).

La empresa AGRICABV, con el fin de facilitar la conversión de tipos del café para la zona de Caranavi, determinó los factores de conversión (Cuadro 16), para la obtención de café seco, en base a una lata, medida utilizada para la humedad de café en la zona (AGRICABV, 2007; citado por Avircata, 2007).

Cuadro 16. Factores de conversión del café (simplificado).

Tipo de café	Lata	Humedad (%)	Para seco multiplicar por:
Café pergamino	15	11,0 a 12,0	1,00
	16	12,0 a 13,0	0,99
	17	14,0 a 17,5	0,96
	18	18,0 a 22,5	0,90
	19	23,0 a 27,5	0,84
	20	28,0 a 31,0	0,80
	21	32,0 a 36,5	0,75
	22	37,0 a 40,0	0,70
	23	41,0 a 45,0	0,65
	24	46,0 a 50,0	0,59
Mote (café seco de agua)	25	50,0 a 51,0	0,57
Lavado (café húmedo)	> 25	52,0 a 55,0	0,53

Fuente: AGRICABV (2007); citado por Avircata (2007).

3. LOCALIZACIÓN

3.1. Macrolocalización

A nivel Macro el estudio, se encuentra localizado en la provincia Sud Yungas del departamento de La Paz, ubicada geográficamente en la extremidad Sur-Oeste (Anexo 1) y tiene por límites las siguientes referencias: cuadro 17.

Cuadro 17. Colindancias de la provincia Sud Yungas.

Referencia Cardinal	Provincia
Norte	Nor Yungas, Caranavi
Este	Murillo
Sur	Loayza
Oeste	Inquisivi, Ayopaya (Cochabamba)

Fuente: PDM de Yanacachi (2006).

Con la Ley 769, la provincia está conformada por 5 secciones: cuadro 18.

Cuadro 18. Secciones municipales de Sud Yungas.

Sección	Municipio	Capital
Primera	Chulumani	Chulumani
Segunda	Irupana	Irupana
Tercera	Yanacachi	Yanacachi
Cuarta	Palos Blancos	Palos Blancos
Quinta	La Asunta	La Asunta

Fuente: PDM de Yanacachi (2006).

La extensión de la provincia de Sud Yungas es de 5.770 km², del cual el municipio de Yanacachi cubre un área estimada de 577 km², correspondiente al 10,06% del total de la superficie de la provincia; ubicada entre las coordenadas 16° 27' de Latitud Sur, 67° 56' de Longitud Oeste y 16° 25' de Latitud Sur, 67° 36' de Longitud Oeste, a una altura comprendida entre 1500 a 4500 metros sobre el nivel del mar.

Según el Fondo Nacional de Desarrollo Alternativo (FONADAL) (2010), Yanacachi pertenece a la tercera sección municipal de la provincia Sud Yungas, forma parte de la cuenca amazónica. Los límites del municipio se referencian en el cuadro 19.

Cuadro19. Colindancias municipales de Yanacachi.

Puntos Cardinales	Colindancias municipales
Norte	Municipio de Coroico
Nor - Este	Municipio de Coripata
Este	Municipio de Chulumani
Sur - Este	Municipio de Irupana
Sur	Municipio de Irupana y Palca
Sur - Oeste	Municipio de Irupana y Palca
Oeste	Municipio de Palca y ciudad de La Paz

Fuente: PDM de Yanacachi (2006).

El municipio forma parte de la Cordillera Oriental y abarca a 3 eco regiones: los Yungas, con el 52%, los bosques secos interandinos con 4% y la puna norteña con el 44%, con sus respectivas categorías de suelos (Anexo 2). El municipio, tiene 3 cantones, 28 comunidades rurales, 5 distritos y 5 centros poblados (Cuadro 20), comparando con el resto de municipios de los Yungas (6,68% del total), es la de menor concentración en población (Plan de Desarrollo Municipal, 2006).

Cuadro 20. División político administrativa.

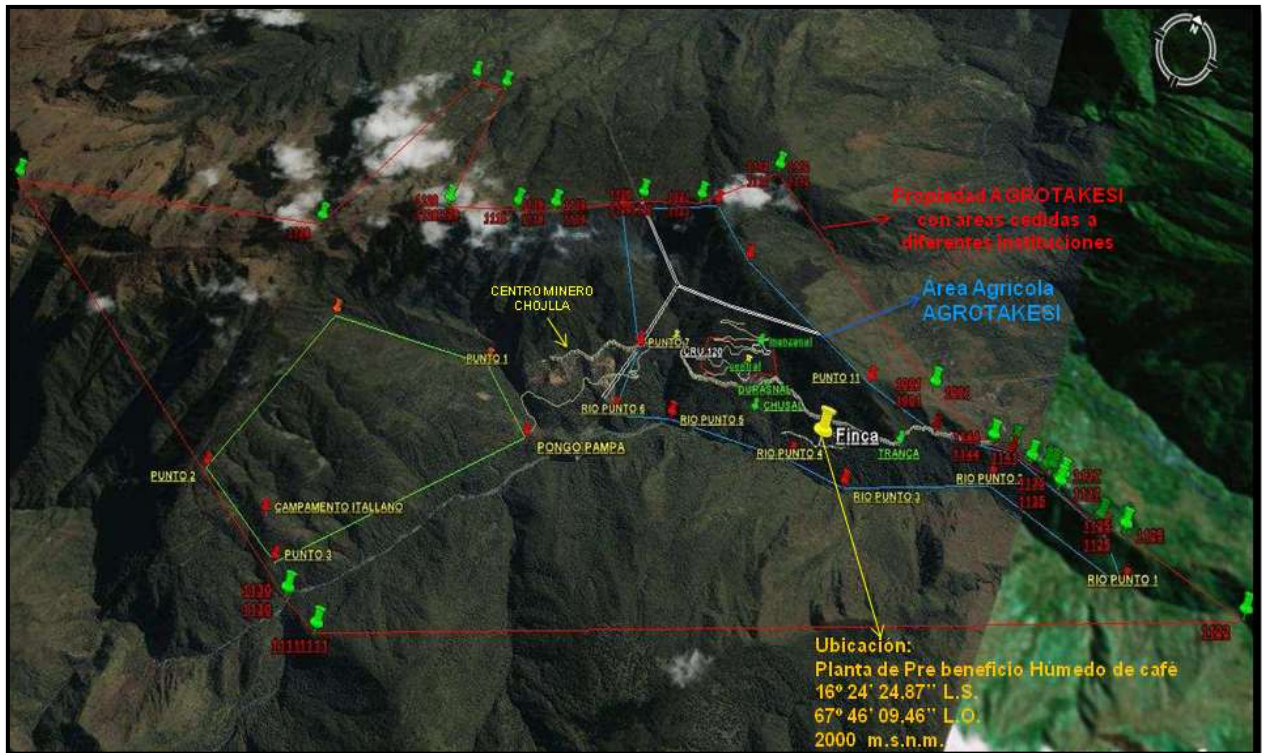
Cantón	Distrito	Centros Poblados/Comunidades
Yanacachi	1	Yanacachi (Centro Poblado)
	2	Mina Chojlla (Centro Poblado)
Villa Aspiazu	3	Villa Aspiazu (Centro Poblado)
	4	Puente Villa (Centro Poblado)
Yanacachi	5	Takesi (Comunidad)

Fuente: PDM de Yanacachi (2006).

3.2. Microlocalización

La investigación se llevó a cabo en predios del centro de procesamiento de café de la empresa agrícola AGROTAKESI S.A. (Figura 17 y 18), ubicado en la ecoregión de los Yungas, Cantón Yanacachi, en las coordenadas 16° 24' 24,87" de Latitud Sur y 67° 41' 09,46" de Longitud Oeste, a una altura promedio de 2000 metros sobre el nivel del mar, a 82 km de La Paz. La vía de acceso a la zona es por carretera, con el trayecto de la ciudad de La Paz, Villa Fátima (zona este), por Chuquiaguillo hacia la cumbre, descendiendo a Unduavi, pasando por las comunidades de Yerbani, Cascada Velo de la Novia, Chaco, Pichu, Sirupaya, Florida, Yanacachi y Chojlla respectivamente.

Según el FONADAL (2010), la precipitación pluvial de la zona se manifiesta entre 950 a 1000 mm/año (Anexo 3). La temperatura anual oscila entre los 19,50 a 21,00 °C (Anexo 4), y una humedad relativa de 80,79%.



Fuente: Empresa AGROTAKESI S.A. (2011).

Figura 17. Demarcación de la propiedad AGROTAKESI S.A. y ubicación de la Finca.



Fuente: Fotografía en AGROTAKESI S.A. (2011).

Figura 18. Vista panorámica: centro minero Chojlla, finca AGROTAKESI, comunidad de Yanacachi y río Takesi.

3.2.1. Descripción de la caficultura en el área de investigación

La empresa AGROTAKESI S.A., cuenta con 2.166,33 hectáreas, saneada y titulada por el Instituto Nacional de Reforma Agraria (INRA); del total, 543,53 están cedidas a diferentes instituciones, 36 con cultivos, quedando 1.587,62 entre aprovechables, no aptas y áreas protegidas (Anexo 5).

A partir del año 2001, la empresa se especializó en la producción de café orgánico de alta calidad en altitudes extremas de 1900 a 2400 metros sobre el nivel del mar (Figura 19), con características diferentes, muy atractivo para el mercado de cafés especiales. Se tiene la promoción de su producto "café Takesi", para el mercado nacional e internacional, siendo el más alto del mundo, con cualidades excepcionales y de sostenibilidad; ganador de la "taza de excelencia" el año 2009, con puntaje de 93,36.



Fuente: Fotografías en AGROTAKESI S.A. (2011).

- a) Producción de plantines de café en vivero.
- b) Cafetales implantados en campo en pleno desarrollo.
- c) Fructificación del café (estado en verde y guinda).
- d) Almacenado del café pre beneficiado.
- e) Transporte del café para su beneficio seco.
- f) Presentación del producto "Café Takesi".

Figura 19. Cadena de producción de café en la empresa AGROTAKESI S.A.

A su vez la empresa, cuenta con una planta de pre beneficio húmedo, laboratorio de calidad y contrata los servicios de la empresa ANDITRADE- AGRICABV S.A., para el beneficio seco en la ciudad de La Paz.

A la fecha 14,18 hectáreas del cultivo de café, están en producción (Cuadro 21) bajo el sistema de plantación 100% sin sombra, con identificación de lotes, superficie, fecha de plantación y altitud. Asimismo se tiene implementados 13 hectáreas de nuevas plantaciones, las cuales entraran en producción en los próximos 3 años. La variedad predominante es la típica o criolla con el 99% y el restante 1% con la variedad mejorada caturra. La producción es orgánica certificada, cumpliendo las normas establecidas de manejo sostenible de los recursos naturales. El proceso de certificación orgánica es realizado por la empresa CERES, para los mercados de Europa y Estados Unidos respectivamente.

Cuadro 21. Plantaciones de café en producción e implantadas.

No. Lote	Nombre del lote	Superficie (Ha)	Fecha de plantación	Altitud (m.s.n.m.)
1	El Tapado (1)	0,89	15/05/02	1960
	El Tapado (2)	0,25	05/02/03	1960
2	El Yucal	1,49	28/05/02	1960
3	La Playa	1,50	15/05/02	1960
4	Las Víboras	0,65	28/05/02	1960
5	El Chuzal (1)	2,00	25/05/02	2000
	El Chuzal (2)	1,00	15/06/03	2000
6	El Duraznal	1,24	15/02/02	2100
7	El Platanal	0,74	15/02/06	1990
8	La Central	1,07	15/02/04	2200
9	El Troncal	0,78	20/02/06	2050
10	La Casona	2,00	15/02/06	2200
11	El Estanque	0,19	15/02/04	1990
12	El pico	0,38	15/11/06	2450
13	Sin nombre	13,0	2009 - 2010	2200 - 2400

Fuente: Empresa AGROTAKESI S.A. (2011).

Los rendimientos de producción del cultivo del café en la empresa son variables (Cuadro 22), con cosechas que duran casi todo el año, por las condiciones climáticas, la altitud de la zona, y por el manejo agronómico que se realiza, especialmente en podas sanitarias y podas de renovación conocida como “pillu” en cafetales viejos.

Cuadro22. Producción de café en la empresa.

Gestión (años)	Producción de café en guinda (kg)
2007	13.458,50
2008	9.746,50
2009	19.698,00
2010	22.859,13
2011	12.919,26

Fuente: Empresa AGROTAKESI S.A. (2011).

3.2.2. Fuente de alimentación del agua

La fuente de agua se encuentra dentro los predios de la empresa AGROTAKESI S.A., proviene del nacimiento de una vertiente natural subterránea de flujo permanente denominada “El Chuzal”, ubicada a 350 metros del centro de procesamiento del café. Su captación, almacenado y conducción está en base a obras civiles (obra de toma, red de conducción y tanques de almacenamiento y distribución). Señalar que por efecto de aporte en la microcuenca, se acumula su caudal aguas abajo de forma significativa que la empresa aun no utiliza para los fines consiguientes.

El agua captada de la vertiente (Figura 20), cubre la demanda de uso actual en el lavado del café. Referente a los derechos del agua, la empresa no tiene problemas con derechos de terceros por ser propietaria de los terrenos, protegiendo las fuentes de agua existentes, cercanas y alejadas, que pueden ser captadas en caso de su carencia.



Fuente: Fotografías en AGROTAKESI S.A. (2011).

- a) Agua captada con obra de toma.
- b) Derivación del agua a tanque de almacenamiento y distribución.
- c) Caudal de flujo continuo de la vertiente aguas abajo.

Figura 20. Disponibilidad de agua para uso en la operación de lavado del café.

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Materiales y equipos

4.1.1. Materia prima e insumos

Se usó como materia prima el grano del café en todos sus estados, proveniente de la recolección de los campos de producción de AGROTAKESI S.A. de la especie *C. arábica*, variedad típica o criolla. El insumo más importante para el lavado del café fue el agua proveniente de la vertiente “El Chuzal”, utilizando a su vez las aguas residuales generadas en esta etapa de los tanques modificados. Otro insumo importante fue la energía eléctrica para el despulpado y secado mecánico del café lavado en silo.

4.1.2. Materiales de construcción

Para la modificación interna del tanque de fermentación convencional y la construcción del tanque de drenajes, se empleó: cerámica, ladrillo de 6 huecos, cemento portland, áridos (arena y piedra), alambre, clavos, tubería PVC y malla acerada de drenaje.

4.1.3. Infraestructura, equipos y materiales

Se utilizó los siguientes: tolva, peladora, canal de correteo, tanques (convencional, modificado, drenaje y de plástico), tarimas, silo de secado, balanzas, calculadora, flexómetro, cámara fotográfica, vidriería, termómetro, cronometro, humidímetro, calibrador vernier, estufa, papel filtro, papel de secado, tablero y planillas de registro.

4.1.4. Material de gabinete

Como material de gabinete se utilizó los siguientes: Papelería, computadora, escáner, impresora, internet, material bibliográfico, carta IGM, mapas elaborados (SIG), software para cálculos y redacción (Programa estadístico, Word, Excel, Power Point y Auto Cad).

4.2. Métodos

4.2.1. Estudio de calidad y disponibilidad del agua

4.2.1.1. Evaluación visual de la calidad del agua en campo

Se utilizó la valoración denominada Stream Visual Assessment Protocol (SVAP) de Mafla *et al.* (2005) citado por Arce & Leiva (2009), siendo una guía para evaluaciones ecológicas rápidas con indicadores biológicos, adaptando a las características de la fuente de agua de la zona de estudio, con la asignación de puntajes entre 1 a 10. Para su evaluación se tomo 7 parámetros (Anexo 6) de 15, excluyendo 8 por su no aplicabilidad, en una longitud aproximada de 400 metros aguas abajo.

El método consistió en valorar los parámetros, aplicando puntajes altos (9 a 10) para condiciones sanas y bajos puntajes (1 a 2) para condiciones en mal estado. Mencionar que se trata de una evaluación subjetiva basando en la valoración de las características del sector. Los resultados obtenidos se compararon en base al cuadro 23, dando como resultado la clase de agua respectiva.

Cuadro 23. Valoración de la 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).

4.2.1.2. Evaluación de la calidad del agua en laboratorio

En base a una planificación previa, se tomó la muestra de agua de la fuente para su envío a laboratorio para su análisis químico, para lo cual se utilizó un recipiente limpio de botella Pett de 2,5 litros, que se homogeneizó con la misma agua, tomando la

muestra hasta 1/3 en las primeras horas de la mañana, 1/3 al medio día y 1/3 en las últimas horas de la tarde, con tapado hermético, evitando burbujas de aire. Se procedió a identificar la muestra (etiquetado), con el lugar, la hora y la fecha de recolección.

Se envió la muestra de agua recolectada al laboratorio del Instituto de Ingeniería Sanitaria y Ambiental dependiente de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Mayor de San Andrés (UMSA), para su respectivo análisis químico.

4.2.1.3. Evaluación de la disponibilidad de agua

El caudal se define como el volumen de agua que pasa por una sección en determinado tiempo. Para su medida se utilizó el método de balde-cronómetro (Figura 21), adecuado para vertientes, anotando el tiempo de llenado del agua en recipiente de volumen conocido, repitiendo la operación por 10 veces y promediando para su mayor exactitud.

Se midió el caudal disponible captado de agua en la época de estiaje (agosto y septiembre), coincidiendo con los picos de producción altos de café y por consiguiente con una mayor demanda de agua para su lavado. Se determinó la cantidad total de agua disponible en un tiempo establecido (L/s, m³/día, m³/semana, m³/mes).



Fuente: Fotografías en AGROTAKESI S.A. (2011).

a) Aforo de caudal de agua captada.

b) Planilla y cronometro para registro de aforos.

Figura 21. Aforo de caudal del agua captada en la vertiente.

4.2.2. Estudio de las constantes físicas y factores de conversión del café

Con la recomendación de CENICAFE (1995), se determinó las “constantes físicas” y el “factor de conversión” de los diferentes estados del café para la zona de AGROTAKESI S.A., bajo densidades aparentes, contenido de humedad y otros aspectos, tomando en cuenta su transformación, desde el café guinda hasta el café oro.

En el presente estudio, fue de mucho interés conocer las constantes y factores citados para facilitar su utilización en el lavado de café, bajo la relación agua/café (L/kg cc, L/kg cps), según la relación de transformación que se obtenga para la zona (kg cc/kg cps).

Para dicho trabajo, se tomó muestras representativas de cada estado del café en el proceso de pre beneficio húmedo del café guinda (recepción, despulpado, fermentación, lavado, pre secado, secado y trillado), evaluando la relación peso/volumen (kg/m^3), peso/peso (kg/kg) y unidad/peso respectivamente. Los resultados obtenidos se compararon con lo obtenido por el Centro de Preparación del Café (CPC) y el Comité de Cafetaleros de Antioquia (CCA) de Colombia, ya que en nuestro medio no se cuenta con este tipo de datos estándar (datos validados con investigación).

4.2.2.1. Recepción y despulpado

La cosecha de “café guinda”, estuvo a cargo de los trabajadores de la empresa, de forma seleccionada (frutos maduros) y procediendo a su pesaje en la balanza digital para su control, depositándose luego en la tolva de recepción (Figuras 22a y 22b).

Con la ayuda de la maquina despulpadora metálica de café (marca colombiana Antioqueña), adaptado a energía eléctrica, se procedió con el despulpado del café guinda, separando por fricción la sultana y el grano (Figuras 22c, 22d y 22e), obteniendo el “café baba”, seleccionando manualmente aquellos cafetos mal pelados, sobre maduros y enfermos, con el objeto de tener la homogeneidad en la fermentación anaeróbica natural.



Fuente: Fotografías en AGROTAKESI S.A. (2011).

- a) Registro y pesaje del café guinda cosechado.
- b) Recepción del café guinda en tolva.
- c) Despulpado y obtención del café baba.
- d) Selección de granos defectuosos en el despulpe.
- e) Obtención de la sultana fresca después del despulpe.

Figura 22. Operación de recepción, despulpado y selección del café guinda.

4.2.2.2. Fermentación y lavado

El café despulpado (café en baba), se depositó en el tanque convencional para su respectiva fermentación natural en seco a temperatura ambiente, a un tiempo promedio de 18 a 20 horas, con el objeto de degradar el mucilago por efecto de enzimas y facilitar su lavado. El “punto de lavado” de fermentación del café se determinó por el método de fricción (sonido a cascajo) (Figura 23a).

El café fermentado se lavó cuidadosamente, sacando el mucilago, hasta llegar al estado denominado “café pergamino húmedo”. En esta etapa se continuo con la selección de granos de café defectuosos, especialmente los vanos o ch’uzos, pintones, picados y sobre maduros (Figuras 23b y 23c).



Fuente: Fotografías en AGROTAKESI S.A. (2011).

- a) Punto de lavado del café fermentado.
- b) Restos del lavado (granos vanos y pulpa).
- c) Selección de granos defectuosos después del lavado.

Figura 23. Actividades de fermentación y lavado del café.

4.2.2.3. Secado y almacenado del café

El café recién lavado se llevó a las mesas fabricadas de madera denominadas “tarimas”, para su respectivo escurrido, oreado y pre secado, aprovechando la energía solar y el aire del medio ambiente, en capas no mayores de 5 a 6 centímetros, removiendo de 3 a 4 veces al día para su uniformización (Figura 24a).

El grano del café, es uno de los más difíciles de secar, para tal fin para garantizar el secado, la empresa AGROTAKESI S.A. cuenta con un silo de secado mecánico que funciona con energía eléctrica (Figura 24b), generado a través de un motor y estufa, por tubería con aire seco y caliente con flujo continuo, pasando por la masa de café entre 50 a 55 °C (controlado con termostato), con movimientos cada 4 horas para su uniformidad en el secado de los granos de café pergamino (Figura 24c). Este silo de secado ayuda a prevenir las condiciones lluviosas intermitentes y la alta humedad relativa de la zona, especialmente en las noches.

El secado se realizó de 24 a 36 horas de acuerdo al volumen de café, hasta adquirir la humedad comercial de 11 a 12%, lo cual se verifico con la ayuda del humidímetro de café (140 g/muestra) (Figura 24d). Posteriormente el café pergamino seco, se almaceno en sacos de yute sobre parihuelas para su posterior beneficiado seco (Figura 24e).



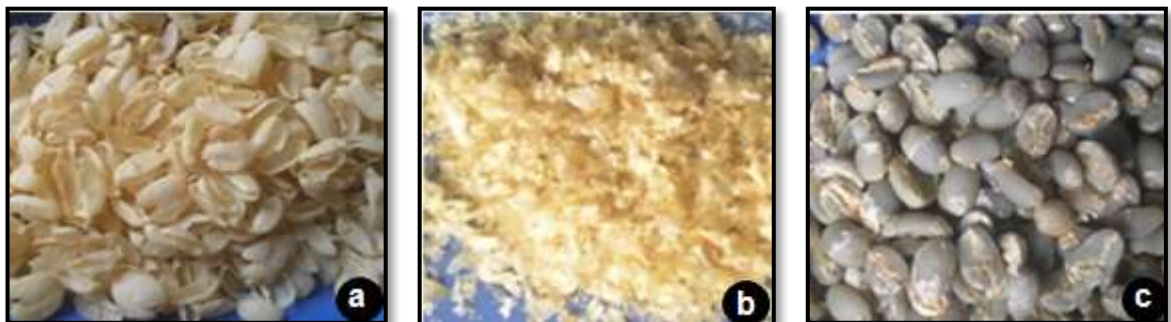
Fuente: Fotografías en AGROTAKESI S.A. (2011).

- a) Oreado y pre secado del café lavado.
- b) Silo de secado mecánico (vista frontal y posterior).
- c) Remoción del café dentro el silo.
- d) Control de humedad del café seco en humidímetro.
- e) embolsado y almacenado del café seco.

Figura 24. Trabajos de secado y almacenado del café pre beneficiado.

4.2.2.4. Trillado

La figura 25, muestra el proceso de trillado del café pergamino seco (beneficio seco), donde se separo el pergamino y la película plateada del grano, obteniendo el “café oro”.



Fuente: Fotografías en AGROTAKESI S.A. (2011).

- a) Obtención del pergamino del café después del trillado.
- b) Obtención de la película plateada del café.
- c) Obtención de granos del café oro.

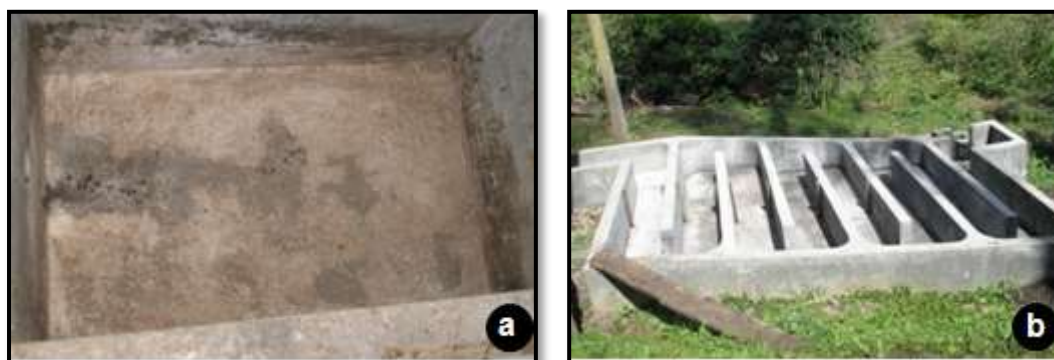
Figura 25. Beneficio seco en la obtención del grano de café oro verde.

4.2.3. Evaluación de lavado del café

El lavado del café tuvo el propósito de desprender la miel o mucilago del pergamino, con la ayuda del agua, cuando este ha alcanzado su punto óptimo de fermento. Para cuantificar el consumo de agua en el lavado de café, bajo el sistema convencional y/o en tanques modificados, se utilizó muestras representativas de café fermentado.

4.2.3.1. Estimación del consumo de agua en el lavado convencional

El lavado convencional de café se evaluó en la planta de pre beneficio de la empresa (Figura 26), utilizando un tanque de fermentación de capacidad de 1m³ de cb, y el canal de correteo con pendiente menor a 1%, diseñado para un flujo laminar constante.



Fuente: Fotografías en AGROTAKESI S.A. (2011).

a) Tanque de fermentación convencional (vista de planta).

b) Canal de correteo para el lavado de café en forma continúa.

Figura 26. Infraestructura convencional para el lavado del café en la empresa.

Se empleó 31 muestras de café guinda, con pesos de 36 a 631 kg, entre los meses de abril a julio de la gestión 2010 (Anexo 7). En el lavado del café, participaron de uno a tres trabajadores designados por la empresa con bastante experiencia, ya que esta labor implica un despliegue de esfuerzo y conocimiento en el correcto lavado del café.

El gasto de agua en la operación específica de lavado del café (Figura 27), se evaluó bajo aforos, con los requerimientos necesarios (L y m³) para obtener un producto de calidad con sus características reconocidas por el mercado. Se determinó la relación

volumen de agua/peso de café y el tiempo de operación bajo este sistema. Los pasos de lavado fueron los siguientes:

- Medición del punto de fermentación óptima del café baba en tanque y su remoción en seco mediante pisoteo suave, facilitando la separación del mucilago.
- Mezcla de agua/café con agitación fuerte en tanque, para liberar el mucilago.
- Evacuación de la mezcla a canal de correteo y su lavado continuo por inmersión.
- Retiro del café lavado para su respectivo escurrido y oreado en tarimas.



Fuente: Fotografías en AGROTAKESI S.A. (2011).

- Remoción del café fermentado en tanque convencional.
- Mezcla de agua/café para la dilución del mucilago.
- Evacuación de la mezcla agua/café del tanque a canal de correteo.
- Lavado continuo del café en el canal de correteo.
- Retiro del café lavado libre de mucilago.
- Deposito del café lavado en tarimas para su escurrido y oreado.

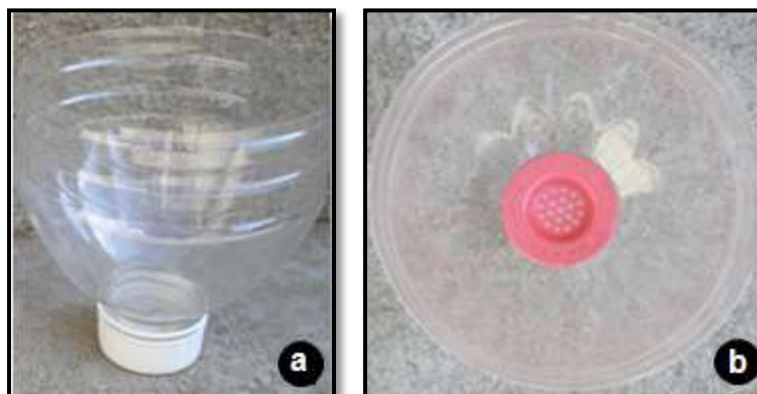
Figura 27. Proceso de lavado del café bajo el sistema convencional.

4.2.3.2. Evaluación de lavado del café en los tanques modificados

El lavado del café en tanques modificados, se realizó bajo la metodología de Zambrano e Isaza (1994), mediante enjuagues sucesivos, a escala de laboratorio y piloto respectivamente, lo que permitió la economía del agua y la reducción de la contaminación generada, logrando retirar en un bajo volumen de agua casi la totalidad del mucílago fermentado.

4.2.3.2.1. Fabricación, modificación y construcción de tanques de lavado

Para la evaluación del lavado a “escala de laboratorio”, se fabricaron de forma sencilla y práctica, tanques cilíndricos de plástico (Figura 28) de fondo cónico, con una altura de 15 cm y diámetro de 17 cm, dotado al fondo con drenaje que permitió la salida de los líquidos drenados y la retención del café. A la salida del recipiente se contó con un tapón que permitió controlar la salida de los líquidos residuales del lavado del café.



Fuente: Fotografías en AGROTAKESI S.A. (2011).

- a) Tanque cilíndrico de plástico (vista lateral).
- b) Tanque de fondo cónico con drenaje (vista de planta).

Figura 28. Tanques cilíndricos para lavado del café a “escala de laboratorio”.

Para el lavado a “escala piloto”, se adaptó el interior de un tanque de fermentación convencional (Figura 29a y 29c) (Anexo 9 y 10), con dimensiones internas de 0,94 m ancho x 1,46 m de largo x 0,70 m de alto con un espejo de agua de 1,33 m², con capacidad de 0,57 m³/cb, con el redondeo de sus esquinas ($r = 20$ cm), cubierto con

cerámica para evitar su deterioro, por la acidez de la masa de café (pH = 5,6 a 5,8) en la fermentación; la modificación también tuvo el objeto de facilitar el movimiento de café durante el lavado discontinuo, dentro del mismo.

En el fondo de la parte media del tanque se ubicó el drenaje de aguas residuales, y retención de granos de café, con malla acerada de orificios cuadrados de dimensiones de 6,70 x 6,70 mm, los cuales ofrecían un área de drenado de 44,89 mm².

Se instaló una tubería de descarga de PVC de 4" con una longitud de 2,40 m, conectada al tanque de drenajes (construido) de dimensión interna de 0,6 m x 0,6 m x 0,56 m (0,20 m³ de capacidad) (Figura 29b y 29d), provista al final de un tapón con rosca que permitió retener y drenar los líquidos antes y después de cada enjuague.



Fuente: Fotografías en AGROTAKESI S.A. (2011).

- a) Modificación interna del tanque convencional.
- b) Construcción de tanque auxiliar de drenados.
- c) Tanque modificado, con drenaje vertical y rejilla horizontal.
- d) Tanque auxiliar de aguas residuales.

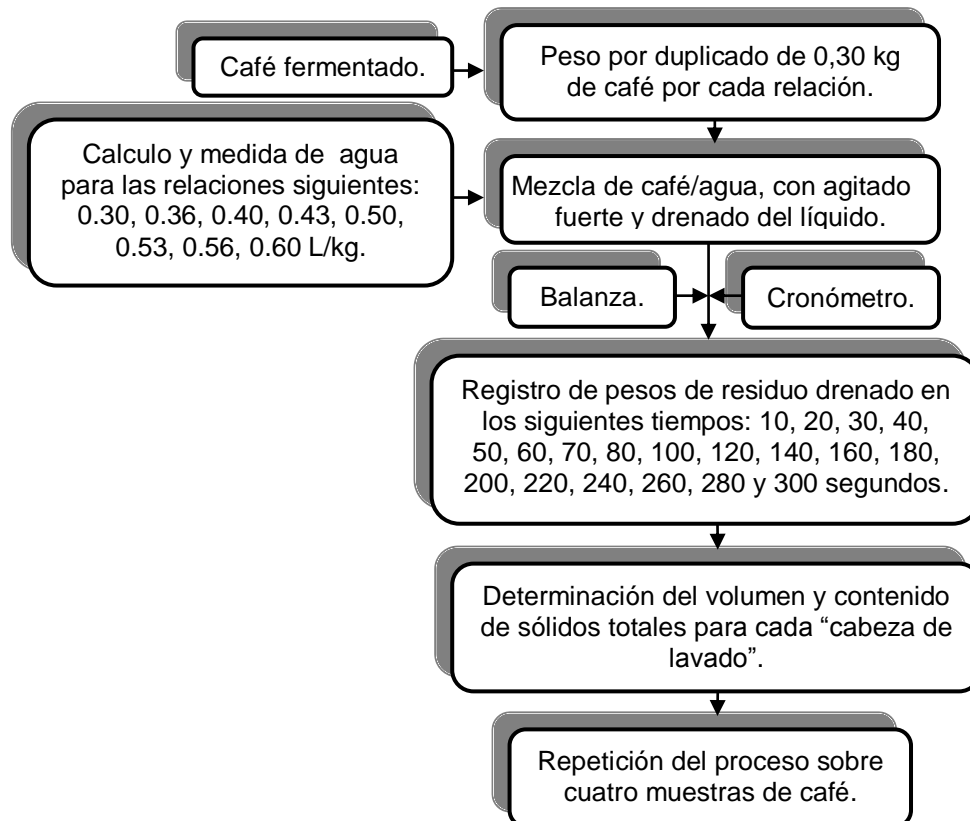
Figura 29. Modificación y construcción de tanques para el lavado del café.

4.2.3.2.2. Evaluación de lavado a escala de laboratorio

a) Velocidad de drenado del primer enjuague o “cabeza de lavado”

Se obtuvo la velocidad de drenaje del primer enjuague o “cabeza de lavado”, cuya viscosidad dependió de la relación agua/café. Se utilizó muestras de 0,30 kg café fermentado, bajo la relación agua/café de 0,30 hasta 0,60 L/kg. Se evaluó los líquidos drenados luego de cinco minutos, con la ayuda de un cronómetro y una balanza digital de precisión.

Para cada relación de agua/café se determinó el peso seco del mucilago (sólidos totales) contenido en el líquido, siguiendo el método registrado por la APHA (American Public Health Association). La evaluación se realizó sobre 4 muestras, utilizando dos repeticiones como se describe en la figura 30:

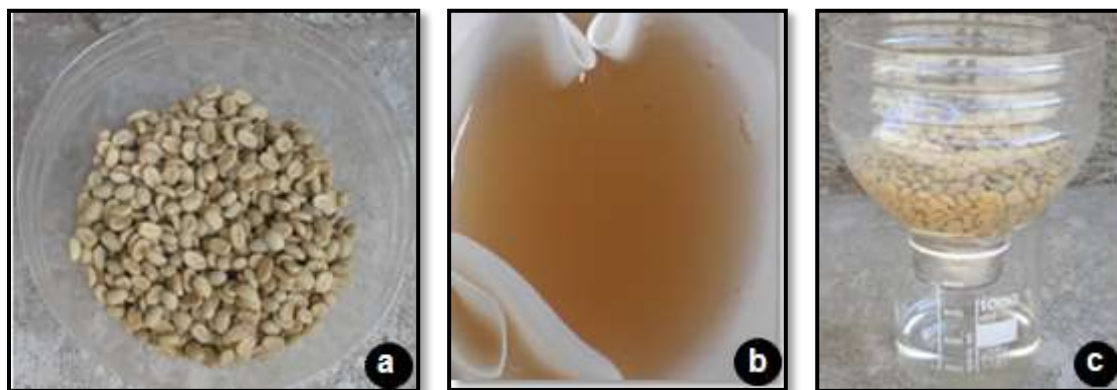


Fuente: Elaboración en base a Zambrano e Isaza (1994).

Figura 30. Metodología para las velocidades de drenados en “cabezas de lavado”.

b) Lavado del café por enjuagues sucesivos

En base a las pruebas en las “cabezas de lavado”, se procedió a lavar el café (Figura 31), utilizando 3 tanques cilíndricos fabricados, evaluando 7 muestras por triplicado (2,10 kg/tanque). El mucilago que drene libremente durante la fermentación (DF) se recibió en vaso precipitado para su evaluación de volumen generado y el contenido de sólidos totales respectivamente.



Fuente: Fotografías en AGROTAKESI S.A. (2011).

- a) Tanque de plástico con contenido de café baba.
- b) Drenaje de fermentación (DF) en recipiente con papel filtro.
- b) Drenaje del lavado del café en vaso precipitado (IV enjuague).

Figura 31. Lavado discontinuo del café a “escala de laboratorio”.

El lavado del café se efectuó en cuatro enjuagues con la adición de agua limpia, con la agitación fuerte de la masa fermentada y el drenado respectivo de residuos. Se estableció el gasto de agua de 0,40; 0,30; 0,30 y 0,30 (L/kg *cb*), para el primer (I), segundo (II), tercero (III) y cuarto enjuague (IV) respectivamente. Se determinó el volumen de residuos drenados y el contenido de sólidos totales para cada enjuague o lavado del café.

La relación de 0,40 L/kg *cb* se estableció para el primer enjuague, teniendo en cuenta que a partir de este valor, el mucilago drene libremente de la mezcla agua/café, obteniendo el mismo volumen adicionado en menos de 5 minutos. La relación de 0,30 L/kg *cb* para los tres enjuagues restantes permitió cubrir la masa del café fermentado y con agitación fuerte se obtuvo el drenado libre de líquidos en un tiempo menor.

Siguiendo la recomendación de Zambrano e Isaza (1994), se estimó la concentración global de sólidos totales (ST) de las aguas residuales generadas en la operación de lavado del café en los enjuagues respectivos, bajo la fermentación natural, mediante la siguiente expresión:

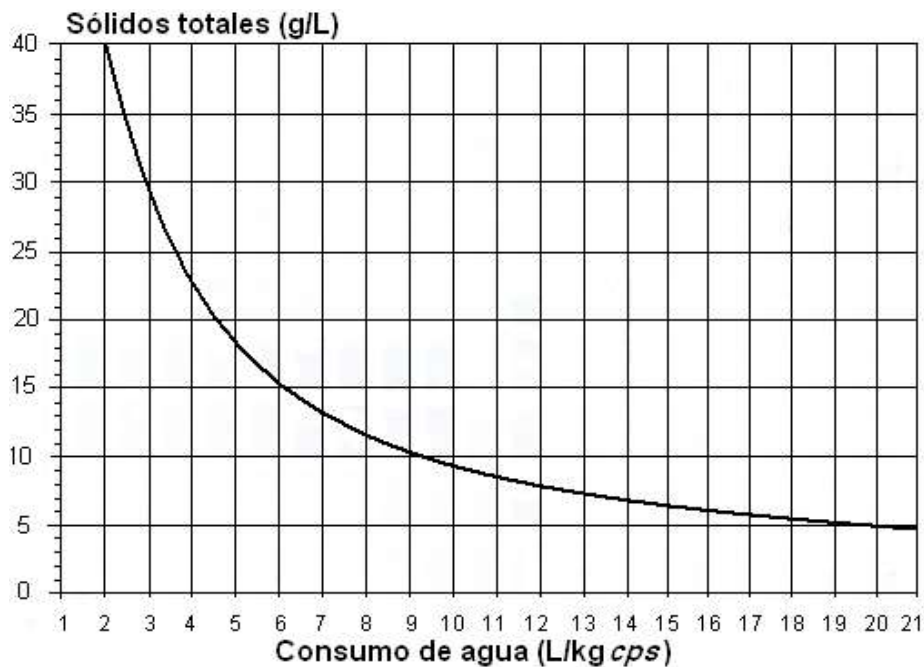
$$[ST] = 99000 / (V + 0,455)$$

Dónde:

[ST] = Concentración de sólidos totales (mg/L ó ppm).

V = Volumen de consumo de agua en la operación de lavado (L/kg cps).

Asimismo, se utilizó otra alternativa válida de estimación de concentrados de aguas residuales en el lavado discontinuo del café, bajo fermentación natural (Figura 32), que indica un gasto específico de agua en la operación de lavado de 2 a 21 L/kg cps, con lo cual se determinó gráficamente la concentración de sólidos totales de los respectivos drenados de lavado del café y del mismo modo sirvió como punto de comparación con el método anterior.



Fuente: Zambrano e Isaza (1994).

Figura 32. Gráfica de estimación de concentrados en drenados de lavado del café.

4.2.3.2.3. Evaluación de lavado del café a escala piloto

Con la recomendación respectiva (Cuadro 24), se evaluó el gasto específico de agua en el lavado discontinuo del café en el tanque modificado después de redondear su forma paralelepípeda convencional, en 26 muestras de café guinda, con pesos que variaron entre 156 a 916 kg (Anexo 8).

Después de establecer el punto de lavado del café fermentado, esta se sometió a remoción en seco con pisoteo suave por 10 minutos, luego se realizó la mezcla agua/café, con agitación continua de la masa del café en cuatro enjuagues (I, II, III y IV), con los drenajes respectivos, cuantificando el consumo específico de agua (Figura 33).



Fuente: Fotografías en AGROTAKESI S.A. (2011).

- a) Determinación del “punto de lavado” en café fermentado.
- b) Remoción de la masa del café (pisoteo suave).
- c) Mezcla de agua/café en la “cabeza de lavado”.
- d) Café lavado libre de mucilago (IV enjuague).
- e) Retiro del café lavado para su pre secado.
- f) Lavado del tanque modificado, después del lavado de café.

Figura 33. Lavado discontinuo del café en el tanque convencional modificado.

Cuadro 24. Metodología propuesta para lavar café en tanque modificado.

Enjuague	Operaciones	Nivel
I	Con adición simultanea del agua, agitar fuertemente la masa de café fermentado hasta que se sienta que afloje. Drenar el residuo	Agua > Café
II y III	Adicionar agua hasta cubrir la masa de café. Agitar fuertemente la masa de café. Drenar el residuo,	Agua=Café
IV	Adicionar agua entre 5 y 10 cm por encima de la masa. Agitar fuertemente. Retirar flotes (granos vanos, palos y otras impurezas). Drenar el residuo.	Agua > Café

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

4.3. Método estadístico

La evaluación de consumo específico de agua y retiro del mucilago en la operación de lavado del café, bajo el sistema convencional en canal de correteo y la propuesta ecológica en tanques modificados de fermentación, se realizó con muestras representativas, empleando para su análisis de comparación la estadística de tendencia central como las medias, medidas de variabilidad como la varianza, desviación típica o estándar, coeficiente de variación, la prueba de distribución de *t* Student (con *n* grados de libertad), el límite de confianza al 95% (error $\alpha \leq 5\%$) y medidas en porcentajes; a su vez los datos se tabularon e interpretaron en cuadros y curvas de distribución (Steel & Torrie, 1988).

4.4. Variables de respuesta

- Determinación de la calidad y disponibilidad de agua para el lavado del café:
 - a) Evaluación visual subjetiva en base a la valoración de calidad SVAP de acuerdo a los parámetros de campo del área de la vertiente (7 de 15), obteniendo la calidad del agua (muy pobre, pobre, regular, bueno y excelente).
 - b) Análisis químico del agua en laboratorio, midiendo la CE, pH, Mg, Na, SAR y tipo de agua, determinando la calidad agronómica, biológica y de consumo (Clase según la Ley 1333).

- c) Caudal de oferta de agua captada en la vertiente (L/s), en época de estiaje, por el método indirecto de aforo de balde- cronómetro, y su disponibilidad en m³/día, m³/semana y m³/mes.
- Determinación de las “constantes físicas” y los “factores de conversión”, para la obtención de la densidad (kg/m³) aproximada de los diferentes estados del café (café guinda, café baba, café lavado, café mote, café pergamino seco, café oro y pulpa) y su transformación entre cantidades de un estado a otro. Su aplicación en la relación agua/café de lavado del café (L/kg *cg* a L/kg *cps*) con ajuste de precisión al 5%.
 - Determinación del gasto de agua en el lavado del café bajo el sistema convencional centralizado en canal de correteo (L/kg *cg* y L/kg *cps*), y el tiempo de operación empleado (horas/volumen de café).
 - Determinación del gasto de agua y drenados generados en el lavado de café bajo la tecnología de tanque modificado, bajo las siguientes modalidades de trabajo:
 - a) A “escala de laboratorio”, se determinó la velocidad de drenado del primer enjuague o “cabeza de lavado” bajo las relaciones de agua/café entre 0,30 a 0,60 L/kg *cb*, en un tiempo de 5 minutos, obteniendo para cada relación la recuperación de líquidos adicionados y el retiro de mucilago (L/kg, % y g/kg). Asimismo en el lavado discontinuo del café, se determinó el drenado de fermento (DF) en la fase de fermentación del café, y con gastos pre establecidos de agua en cuatro enjuagues, se determinó los volúmenes de drenados (ml/kg *cg*), el contenido de sólidos totales (mg/L) y el mucilago total retirado (%).
 - b) A “escala piloto”, en base a la modificación de la estructura interna del tanque de fermentación convencional, se determinó el consumo total de agua limpia, bajo enjuagues sucesivos (I, II, III, y IV), en L/kg *cg* y L/kg *cps*, con sus respectivos equivalentes porcentuales.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Determinación de la calidad y disponibilidad de agua

5.1.1. Calidad del agua bajo análisis de campo

Los resultados de calidad del agua, obtenidos con la valoración visual de parámetros con sus respectivas características y valores de la zona de acción de la vertiente “El Chuzal” se muestran en el cuadro 25.

Cuadro 25. 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 alteración en el cauce.	7	Bueno
5.	Estabilidad de la orilla	Moderadamente estable.	7	Bueno
6.	Presencia de desechos sólidos (basura)	No hay evidencia de basura y otros sólidos.	10	Excelente
7.	Presencia de estiércol	No hay estiércol o evidencia de animales cerca de la vertiente.	10	Excelente

En base al criterio de valoración de calidad Stream Visual Assessment Protocol (SVAP) (Cuadro 23), el resultado de calidad del agua en la vertiente es “buena”, con puntaje promedio óptimo de 8,71; presentando las siguientes características: apariencia del agua clara sin sedimentación, presencia de árboles que hacen sombra, mínimo grado de alteración en su cauce (captación y aducción), moderadamente estable por la vegetación o cobertura boscosa existente, no hay la evidencia de vertidos y residuos sólidos (basura) que altere la calidad del agua, no se evidencia la crianza de ganado de ningún tipo y por consiguiente la presencia de estiércol (ausencia de coliformes), los cafetales se encuentran alejados de la fuente de agua para la preservación de la fuente.

A su vez, el agua de la vertiente “El ChuzaI” se clasifica como limpia sin contaminación antrópica, apta para el lavado del café; por su origen se considera agua de manantial que brota del sub suelo debido a la existencia de mantos freáticos en la zona. 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.

Según la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia (FNCC) (1998), el agua para el correcto lavado del café (bien lavado y sin manchas) en canal de correteo y tanques modificados, debe disponerse en cantidad suficiente y limpia, no utilizando en lo posible aguas recicladas. Las malas prácticas de lavado y la baja calidad de aguas (sucias) hacen que los granos de buena calidad pasen a convertirse en cafés de calidad inferior (olor a podrido, avinagrado, pergamino manchado), causando pérdidas cuantiosas.

5.1.2. Calidad del agua bajo análisis de laboratorio

Los resultados de análisis químico del agua de la vertiente, remitido por el laboratorio especializado, se detallan en el anexo 11 y cuadro 26 respectivamente.

Cuadro 26. Análisis químico del agua de la vertiente “El ChuzaI”.

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	1,60
4	Magnesio	Volumétrico	mg Mg ²⁺ /L	0,97
8	Sodio	Absorción Atómica	mg Na ⁺ /L	1,52
9	SAR	Calculo	- - -	0,23
10	Tipo de agua	Calculo	- - -	C ₁ S ₁ (*)

Fuente: Instituto de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, UMSA (2011).

(*) C₁ Agua de baja salinidad. Riego sin temor a perjuicios. El lavado natural es suficiente.

S₁ Bajo contenido en sodio. Puede usarse sin esperar perjuicios en el desarrollo vegetal.

En base a los resultados del cuadro anterior y considerando los índices de calidad de agua más importante (CE, pH y SAR) se realizan los siguientes análisis:

Según la conductividad eléctrica (CE) (C_1), se clasifica como agua de calidad muy buena, de baja salinidad (casi pura), apta en todo los casos para su utilización en riego, no afectando las cualidades del café en el lavado.

El pH del agua (parámetro importante de calidad de aguas naturales como residuales), presenta un valor de 6,51 (ligeramente ácido), que está dentro de las condiciones de la existencia de vida biológica, no induce a riesgo alguno de cultivos y al consumo humano, ya que el intervalo adecuado para la existencia de vida biológica está entre los rangos de 5 a 9, y los valores inferiores a 5 y superiores a 9 son de difícil tratamiento. Por otra parte se relaciona con la naturaleza de los suelos atravesados por el agua. En general, los suelos graníticos son más bien ácidos y los suelos calcáreos básicos.

La clasificación según el RAS (S_1), se clasifica como agua de baja alcalinidad, con bajo contenido en sodio, apta para todo uso en la mayoría de los casos, recomendado para usar en casi todos los suelos en caso de riego.

Según la Ley de Medio Ambiente 1333, se clasifica como agua de “Clase A” (agua natural de máxima calidad que puede requerir tratamiento previo o simple desinfección bacteriológica para su consumo), lo cual se evidencia con el uso actual de consumo doméstico y lavado de café en la empresa, sin causar ningún problema de salud y/o alteración organoléptica de la calidad de granos de café.

Coronel (2010), indica que en el proceso de lavado de café, debe utilizarse solamente agua limpia para evitar contaminaciones que alteren la calidad superior del café. Así se obtienen cafés lavados, como “propios y brillantes”, menos ácidos y de mejor sabor.

Según Mitchell *et al.* (1991), citado por Arce & Leiva (2009), son muchos los factores que pueden afectar la calidad de agua de un sistema hídrico, así es frecuente que las condiciones de estos fluctúen, por eso es importante realizar mediciones periódicas para evaluar las tendencias de calidad del agua. Existen varias estrategias para la elaboración del diagnóstico de la calidad del agua de un ambiente determinado, tales

como: la determinación de parámetros físico-químicos y bioquímicos, la detección de bioindicadores de contaminación y la realización de bioensayos en laboratorio y campo.

5.1.3. Disponibilidad de agua para el lavado del café

Los resultados de caudal de oferta de agua captada de la vertiente “El Chuzal”, en la época seca o de estiaje entre los meses de agosto a septiembre, se muestran en el anexo 12 y cuadro 27 respectivamente.

Cuadro 27. Caudal de oferta y disponibilidad de agua.

Caudal de oferta (L/s)	Disponibilidad de agua		
	m ³ /día	m ³ /semana	m ³ /mes
0,29	25,06	175,39	701,57

Los resultados de disponibilidad de agua captada de la vertiente en época de estiaje, donde los picos de producción y volúmenes del café para el lavado en AGROTAKESI son altos, manifiesta un caudal de oferta promedio de 0,29 L/s, cubriendo la demanda actual de requerimiento básico y consumo específico de agua en la operación de lavado del café, bajo el sistema convencional en canal de correteo, a libre disponibilidad.

Con las nuevas plantaciones (13 ha) en proceso de crecimiento y la planificación de implante de otras por la empresa, se tendrá a mediano y largo plazo un incremento de volumen de café, requiriendo una demanda de gasto adicional de agua, para lo cual se cuenta con la prolongación de la vertiente aguas abajo, que podrá ser captada en caso de su necesidad.

Román (s.f.), manifiesta que la actividad cafetalera no es una actividad exclusivamente agrícola, al involucrar un componente esencialmente de procesamiento industrial como es el pre beneficiado, a partir del cual se obtiene el producto de comercialización. Este proceso es altamente demandante en agua, por lo que los beneficios se ubican en las cercanías de los ríos, tanto para obtener el agua para el proceso mismo como una vía para la expulsión de desechos.

CENICAFE (1995), indica que el beneficiado húmedo convencional requiere grandes cantidades de agua, pero la tendencia actual va encaminada hacia el menor consumo de agua posible. Asimismo, 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).

5.2. Determinación de las constantes físicas y factores de conversión

Las “constantes físicas” obtenidas para AGROTAKESI S.A. (Cuadro 28) (Anexo 13), se basaron en las medidas de muestreos con sus respectivas pruebas estadísticas de los diferentes estados del café, válidos para la especie *C. arábica*, variedad típica o criolla, bajo las condiciones de clima y altitud de la zona; estos resultados pueden variar en mayor o menor grado, con otras zonas cafetaleras de los Yungas.

Cuadro 28. Relación de las constantes físicas del café en AGROTAKESI S.A.

1.	1 m ³ de café guinda pesa 654 kg
2.	1 m ³ de café recién pelado pesa 872 kg
3.	1 m ³ de pulpa fresca sin apisonar, pesa 561 kg
4.	1 m ³ de sultana fresca sin mojar pesa 240 kg
5.	1 m ³ de café lavado pesa 668 kg
6.	1 m ³ de café mote pesa 534 kg
7.	1 m ³ de café pergamino seco pesa 422 kg
8.	1 m ³ de café oro pesa 720 kg
9.	1000 kg de café guinda dan 450 kg de sultana fresca, 550 kg de café baba, 200 kg de café pergamino seco
10.	1000 kg de café lavado dan 769 kg de café mote
11.	1000 kg de café lavado dan 491 kg de café pergamino seco
12.	La relación café guinda/café pergamino seco es de 5 a 1 (20% del café guinda)
13.	La merma en la trilla del café pergamino seco es de 17,5%
14.	La sultana fresca constituye el 45% del peso de café guinda
15.	1 grano de café pergamino seco pesa 0,20 g
16.	1 grano de café guinda pesa 1,82 g
17.	1 grano de café oro pesa 0,17 g
18.	1 lata (*) de 25 x 25 x 37 centímetros, dan 15 kg de café guinda. 4 latas de estas dan 12 kg de café pergamino seco.
19.	1 tanque de fermentación de 1 m ³ tiene la capacidad de 872 kg de café baba que viene de 1.586 kg de café guinda (106 latas) y terminan siendo 317 kg de café pergamino seco.

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

Comparando los resultados de las constantes físicas de los estados del café de la zona de estudio, con lo obtenido por el Centro de Preparación del Café (CPC) de Santafé de Bogotá (Acápite 2.10.) (Cuadro 14), el café de la zona manifiesta mayor densidad aparente (kg/m^3), respecto al café colombiano, siendo superior en: 9% en los estados café guinda y café baba; 3% en café lavado y café mote; 11% en café pergamino seco y 6% en café oro. La sultana fresca, manifestó inferioridad en 11%, debido a que tiene el 45% de peso del café guinda, siendo mayor al café exótico que presenta el 40%. Tomando el peso por unidad (grano), es inferior en 9% en café guinda y café pergamino seco y 6% en el café oro, justificando su mayor peso por unidad de volumen.

Los resultados indican que los granos del café producidos en AGROTAKESI S.A., son de menor tamaño y peso en relación al café exótico. La pulpa con peso superior en 5%, indica su engrosamiento sobre el fruto del café. Se atribuye estas características fisiológicas de producción, al factor clima, suelo y especialmente por la altura extrema en que se encuentran las plantaciones del café.

Para CENICAFE (1995), las constantes físicas del café son las relaciones existentes entre el peso y el volumen, el contenido de humedad y otros aspectos, teniendo en cuenta los diferentes estados en que se puede transformar, siendo de mucho interés para facilitar las operaciones comerciales y para el cálculo de la capacidad de los beneficiaderos, así como las dimensiones de los diferentes dispositivos y maquinas empleadas en el proceso de pre beneficio del café.

A su vez Prieto (2002), indica que existen factores que influyen en la densidad aparente del café, siendo necesario conocerlos. Es muy importante conocer la procedencia del café, ya que dentro la especie arábica existe gran cantidad de variedades, además la cosecha y procesado es diferenciado en los países productores.

Para Bustamante (2004), la variedad de café, el clima donde es cultivado y el estado del suelo, son algunos de los factores que influyen en el tamaño del fruto, siendo el color de maduración una propiedad relacionada con la variedad del café.

En base a las “constantes físicas” y como complemento de uso, se obtuvo los “factores de conversión” del café para la zona de la finca AGROTAKESI S.A., con el fin de facilitar y agilizar la transformación o cambio entre cantidades de un estado a otro (Anexo 14), detallándose en el cuadro 29 de forma simplificada.

Cuadro 29. Factores de conversión simplificada, para la zona AGROTAKESI S.A.

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

Fuente: Elaboración en base a CENICAFE (1995).

Las instrucciones de uso de los factores de conversión obtenidos en el cuadro anterior, son: buscar en la columna estado del café, el tipo de café que se desee convertir (con su respectivo peso), trasladándose horizontalmente hasta la columna donde se encuentre el tipo de café a obtener. Allí se encontrara el respectivo factor de conversión, y multiplicado se obtendrá el estado del café deseado.

Los resultados obtenidos, comparando con los factores de conversión utilizados por el Comité de Cafetaleros de Antioquia (CCA) de Colombia (Cuadro 15), presentan variabilidad general en los valores de los factores de cada estado del café, lo cual tiene la relación estrecha con las características de las constantes físicas obtenidas, siendo válido para la zona de estudio, pudiendo variar con otras zonas productoras del café.

Según CENICAFE (1995), 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. A su vez indica, que las “constantes físicas” como los “factores de conversión” no dan cifras exactas y los resultados que se obtienen con ellos son aproximados.

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

5.3.1. Consumo de agua en el sistema convencional

El cuadro 30 y el anexo 15, presentan los resultados del consumo específico de agua en la operación de lavado del café en canal de correteo en AGROTAKESI S.A. Se detallan la relación volumen/peso con los consumos máximo, mínimo y promedio de lavado del café en los estados café guinda y café pergamino seco respectivamente.

Cuadro 30. Consumo de agua en canal de correteo.

	Agua/café (L/kg <i>cg</i>)	Agua/café (L/kg <i>cps</i>)
Máximo	7,75	38,73
Mínimo	5,84	29,21
Promedio ± *LC	6,76 ± 0,15	33,80 ± 0,74
CV (%)	5,97	-

*LC: Límite de Confianza al 95%.

Los resultados de gasto de agua limpia bajo este sistema convencional en canal de correteo se baso en las constantes físicas y los factores de conversión de la zona, obteniendo una relación de 5 kg *cg*/kg *cps*. El consumo de agua limpia bajo este sistema, tiene un promedio de 6,76 ± 0,15 L/kg *cg*, lo que equivale a 33,80 ± 0,74 L/kg *cps*, obteniendo granos de café lavados de alta calidad, calificados para exportación.

La figura 34, muestra el proceso de lavado del café en canal de correteo, con agua disponible hasta conseguir granos libres de mucilago. En AGROTAKESI S.A. en relación con otras plantas de prebeneficio húmedo en los Yungas, se utiliza el recurso hídrico solo en la operación específica de lavado del café, descartando el gasto adicional de agua en otras operaciones como el despulpe y transporte del café y pulpa.

Las aguas mieles obtenidas de lavado del café se vierten a una fosa de tierra, donde se sedimenta e infiltra, sin causar contaminación a los arroyos y quebradas aledañas a la zona. La empresa a corto plazo tiene planificado la mejora de la fosa de vertidos residuales y su tratamiento de forma óptima, bajo los parámetros ambientales exigidos.



Fuente: Fotografías en AGROTAKESI S.A. (2011).

- 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.
- f) Muestra del café lavado libre de mucilago.

Figura 34. Características de las aguas residuales en el lavado convencional del café.

Realizando un análisis de la disponibilidad de agua para el lavado del café bajo el sistema convencional: La oferta de agua captada de la vertiente “El ChuzaI” (25,39 m³/día) en relación a la demanda de volumen de masa de café más alto (631 kg *cg*/126,20 kg *cps*), tiene un promedio máximo de gasto de agua de 4,88 m³/qq *cps*, siendo la demanda de 19,23% del 100% ofertable, garantizando su disponibilidad para la producción actual, bajo este sistema de lavado convencional.

El cuadro 31, detalla los tiempos de operación de lavado del café bajo volúmenes variables, entre 0,30 a 1,35 horas, con un promedio de 0,75 ± 0,10 horas con personal altamente calificado. El lavado del café bajo este sistema convencional en canal de correteo se realiza con una sola persona cuando los volúmenes de masa de café son mínimos y de dos a tres personas cuando los volúmenes son altos.

Cuadro 31. Tiempo de lavado del café en canal de correteo.

	Tiempo (Hr)	Peso del café (kg cg)	Uso de agua (L)
Máximo	1,35	631,00	4327,09
Mínimo	0,30	36,00	210,28
Promedio ± *LC	0,75 ± 0,10	304,77 ± 57,85	2075,13 ± 396,76
CV (%)	31,36	-	-

*LC: Límite de Confianza al 95%.

En este sentido Castro (1987), en el lavado del café en canal de correteo registro consumos de agua entre 7,3 a 19,3 L/kg *cps* y consumos entre 28 y 54 L/kg *cps*, lo cual indica que el consumo de agua en el lavado de café es variable. El proceso de beneficio húmedo convencional, presenta una contaminación unitaria equivalente a 115 g de DQO/kg *cc*, originándose el 73,70% en las operaciones de despulpado y transporte de pulpa y 26,30% durante las operaciones de lavado y clasificación (Zambrano, 1989).

Torres (1990); citado por Orosco (2003), señala que el lavado del café en canal de correteo tiene un gasto de agua de 20 L/Kg *cps*. El proceso es una tarea dispendiosa que utiliza gran cantidad de mano de obra y se pueden perder apreciables volúmenes de café de alta calidad (hasta un 19%) que escapan con los granos separados.

Según Veenstra (1995), la contaminación unitaria producida diariamente por un habitante corresponde en promedio a 100 g de DQO, lo que significa que la pulpa y el mucílago procedentes del beneficio húmedo convencional de 1 kg de *cc*, produce una contaminación similar a la ocasionada por una persona durante el día.

5.3.2. Análisis de lavado del café en los tanques modificados

5.3.2.1. Análisis a “escala de laboratorio”

5.3.2.1.1. Determinación de la velocidad en “cabeza de lavado”

Observaciones preliminares durante el lavado de café por cubrimientos sucesivos mostraron que el líquido que se obtuvo después del primer enjuague presento

viscosidad que dependió de la relación agua/café, lo que determinó la velocidad de drenado del primer enjuague denominada “cabeza de lavado”.

Analizando los resultados de drenados obtenidos en este primer enjuague (Figura 35) durante un tiempo establecido de 5 minutos, con muestras de 0,30 kg de café fermentado, bajo diferentes relaciones de agua/café (0,30 a 0,60 L/kg), se recuperó el mismo volumen de líquido adicionado, después de superado la relación de 0,40 L/kg.

A partir de esta relación, se observó que la fluidez de la mezcla agua/café, permitió agitar fácilmente la masa de café fermentado dentro del tanque, bajando la viscosidad y aumentando la velocidad de drenado. Se obtuvo valores de volúmenes drenados superiores al 100% de recuperación del líquido adicionado, lo que corresponde a la parte del volumen que ocupó el mucilago fermentado que se retiró.

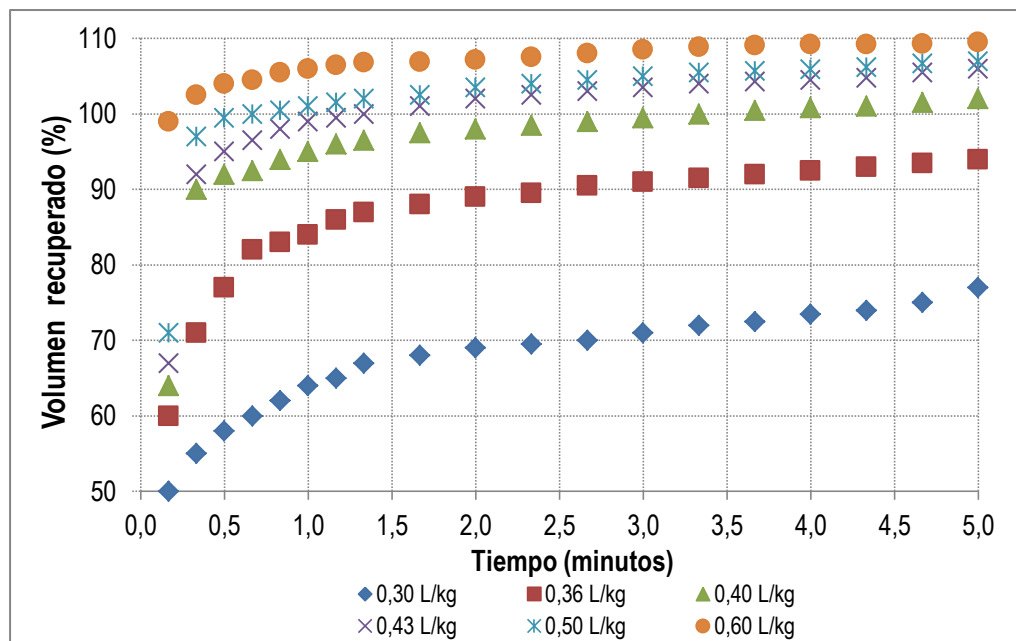


Figura 35. Tasa de recuperación de líquidos en las “cabezas de lavado”.

Después que la relación de agua/café supero los 0,43 L/kg (Figura 36), el peso de mucilago retirado en las “cabezas de lavado”, no tuvo aumentos significativos, ocurriendo lo contrario con el consumo de agua. Un aumento del 39% de agua, solo incremento el 6,9% de mucilago retirado.

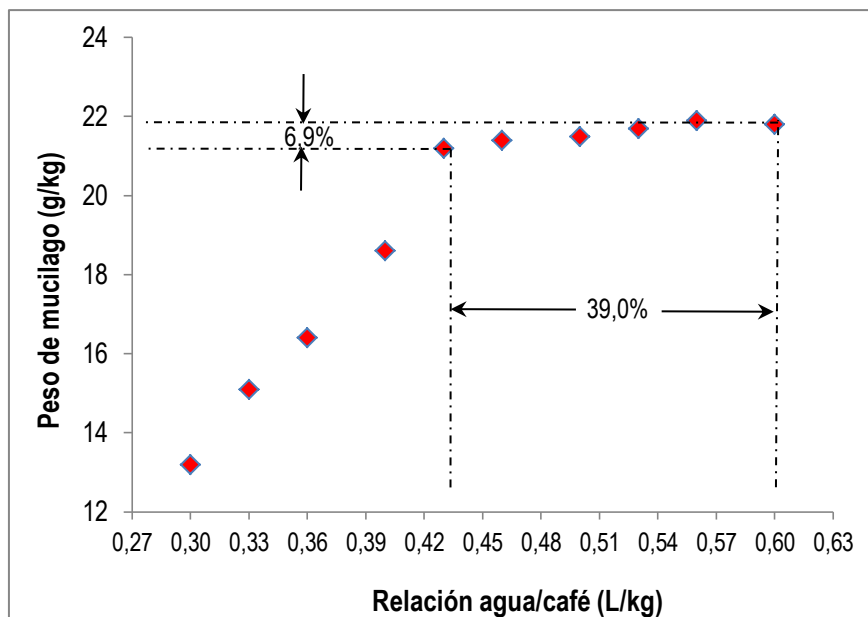


Figura 36. Retiro de mucilago en “cabezas de lavado” en relaciones de agua/café.

Los resultados obtenidos hacen notar lo importante que es determinar la “cabeza de lavado”, para obtener la relación mínima de agua/café que permita la máxima remoción del mucilago fermentado, con fluidez (viscosidad) y velocidad de drenaje adecuados.

El uso excesivo de agua, no influye en un mayor retiro del mucilago fermentado, en esta primera etapa de lavado, debiéndose tomar en cuenta este dato para el lavado del café a escala mayor, en esta fase de enjuague en los tanques de fermentación modificado de forma discontinua.

Se confirma con Zambrano e Isaza (1994), quienes evaluaron en cuatro repeticiones las “cabeza de lavado” de café con muestras de 0,50 kg, utilizando relaciones de agua/café entre 0,30 a 0,60 L/kg con tiempo de drenado de 5 minutos, obteniendo la recuperación del volumen adicionado después de superado la relación de 0,40 L/kg.

A su vez los autores señalan que superado los 0,43 L/kg, el peso del mucilago que se retiró de la “cabeza de lavado”, no tuvo aumentos significativos, ocurriendo lo contrario con el aumento de volumen de agua. Un aumento de 39,50% en el volumen de agua adicionado solo incremento un 7,20% de mucilago retirado.

5.3.2.1.2. Análisis de lavado del café por enjuagues sucesivos

Los resultados de lavado del café por enjuagues sucesivos se presentan en el cuadro 32, descritos en términos de café guinda. Se detallan los gastos de agua limpia/enjuague, los valores máximos, mínimos y coeficientes de variación de drenados en la fermentación y en cada enjuague, el contenido de sólidos totales y sus equivalentes porcentuales del mucilago total retirado.

Cuadro 32. Características de los drenajes del lavado discontinuo del café.

Residuos drenados	Uso de agua (ml/kg cg)	Volumen residuo (ml/kg cg)	Sólidos totales (mg/L)		Mucilago retirado (%)		
			Max	Min	Max	Min	
Drenado de Fermento (DF)	0	23	Max: 29	159880	Max: 184920	20,70	Max: 28,90
			Min: 10		Min: 125997		Min: 10,90
			CV: 25,00%		CV: 14,50%		CV: 30,20%
Primer enjuague (I)	200	193	Max: 210	43693	Max: 47259	44,70	Max: 50,60
			Min: 164		Min: 29330		Min: 40,70
			CV: 8,90%		CV: 14,50%		CV: 8,30%
Segundo enjuague (II)	150	192	Max: 209	21856	Max: 34820	22,50	Max: 18,90
			Min: 165		Min: 15930		Min: 18,60
			CV: 8,70%		CV: 18,50%		CV: 10,50%
Tercer enjuague (III)	150	178	Max: 200	9124	Max: 15380	10,10	Max: 12,80
			Min: 164		Min: 6835		Min: 6,80
			CV: 6,70%		CV: 25,80%		CV: 18,50%
Cuarto enjuague (IV)	150	155	Max: 164	2967	Max: 5240	2,00	Max: 3,50
			Min: 146		Min: 1909		Min: 1,60
			CV: 5,80%		CV: 14,50%		CV: 14,50%

Analizando el cuadro 32, sobre el lavado del café, con la agitación fuerte de la masa del café, se obtuvo contenidos de mucilago de 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 respectivamente. A partir de esto se deduce la importancia que tiene la agitación fuerte de la masa del café en los respectivos enjuagues para la calidad final de lavado, dada la reducción significativa del mucilago retirado en el III y IV enjuague (10,1 y 2,0%).

Zambrano *et al.* (1991), en evaluación de 7 muestras de 13 kg *cb* con 3 repeticiones, obtuvieron contenidos de mucilago de 20,8; 42,5; 21,3; 10,3 y 5,1% para el DF, I, II, III y IV lavado, con agitación fuerte de masa del café, solo durante el primer enjuague. Con

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

Las figuras 37 y 38 en base al cuadro 32, presentan los porcentajes parcial y acumulado del mucilago contenido en cada residuo y la concentración de los drenados, cuyo valor promedio calculado para el contenido final de la mezcla fue de 26.721,00 mg ST/L o ppm, de un volumen total de 3,71 L/kg *cps* (agua + mucilago) (Anexo 16).

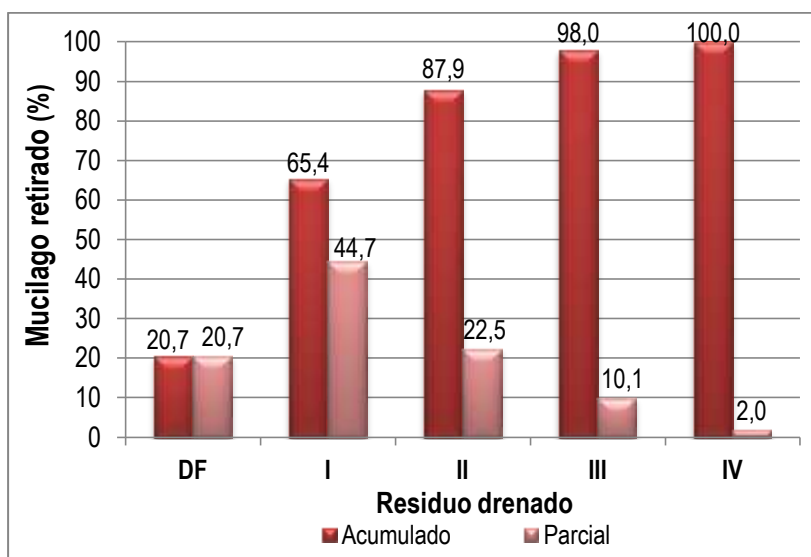


Figura 37. Proporción en peso de mucilago seco contenido en cada residuo drenado.

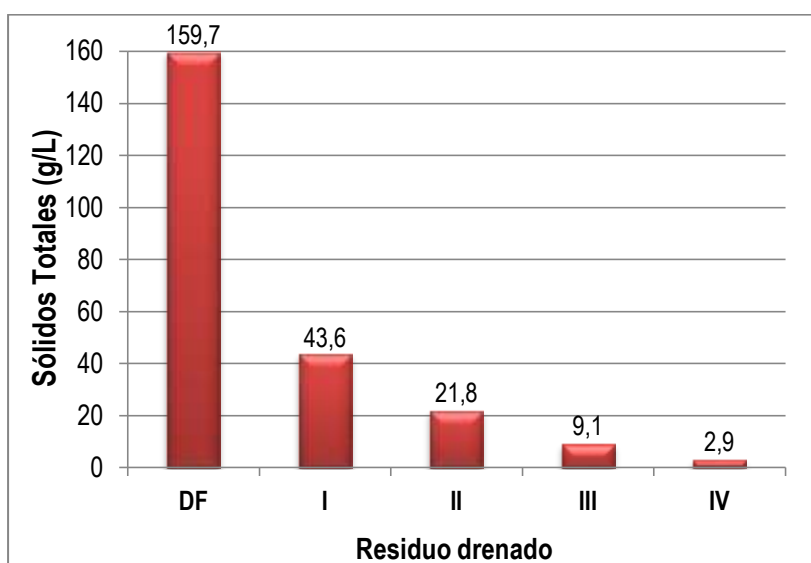


Figura 38. Concentración de residuos drenados del contenido final de la mezcla.

La figura 39, en base al cuadro 32, muestra que después del segundo enjuague (II), se acumula el 55,10% del volumen total de agua residual producida, y el mucilago retirado asciende a 87,90% del total obtenido en la operación de lavado, lo que convierte al drenado de fermentación y los dos primeros enjuagues de la masa de café, en las principales fuentes de contaminación durante el lavado del café. El 100% corresponde a 741 ml/kg *cg* para la fase líquida y 19,81 g ST/kg *cg* para el mucilago seco.

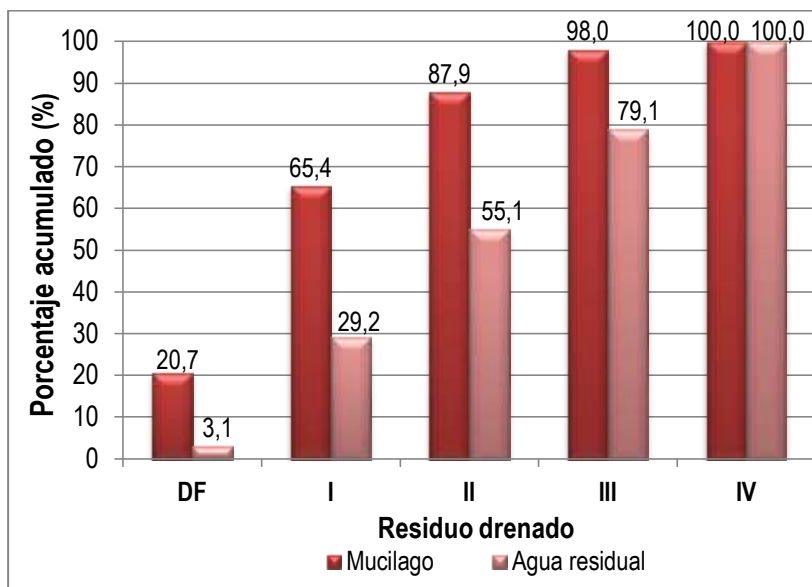
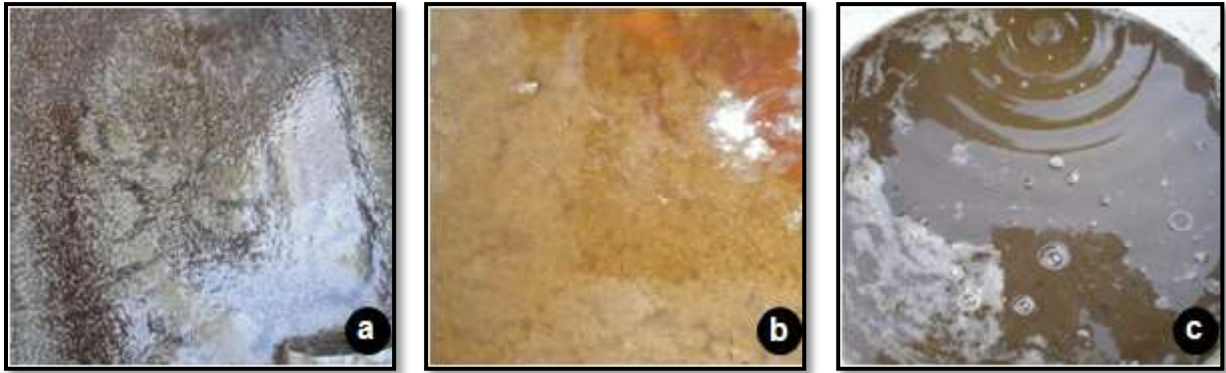


Figura 39. Proporción de mucilago retirado durante el lavado discontinuo.

El drenado de fermentación (DF) (Figura 40), presenta una coloración ámbar y/o marrón oscuro (cambiante con la temperatura). Según el cuadro 32, representa el 20,70% de la contaminación generada y el 3,10% del volumen total de las aguas residuales de lavado del café. Presenta la concentración más alta en sólidos totales de 159.880,00 mg/L, con viscosidad similar al agua, contrario a lo observado en el primer enjuague o “cabeza de lavado”, cuya viscosidad aumenta cuando se reduce el gasto específico de agua.

En la operación de lavado ocurre la dilución del mucilago que depende del volumen de gasto específico de agua. Para el caso, el mucilago fermentado generado a partir del café guinda (*cg*) cosechado en la empresa AGROTAKESI S.A., es de 91 ml/kg *cg* en su fase líquida, que contiene 19,81 g ST/kg *cg* en su fase seca (mucilago seco), equivalente a 455 ml/kg *cps* y 99 g ST/kg *cps* respectivamente.



Fuente: Fotografías en AGROTAKESI S.A. (2011).

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

Figura 40. Características del drenado de fermentación en coloración y viscosidad.

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 20,90% de la contaminación generada por el mucilago fermentado, contenido en el 3,10% del volumen total de las aguas residuales obtenidas en experiencias de lavado; presenta la concentración más alta en sólidos totales (160.000 mg/L).

A su vez Zambrano *et al.* (1991), manifiestan que el mucilago procedente del café cereza con diferentes estados de madurez, pueden considerarse como una constante, ya que se obtiene 91 ml/kg cc que contiene 19,80 g de ST, equivalentes a 455 ml y 99 g de ST/kg cps, constituyendo el 26,30% de contaminación potencial de subproductos del proceso de beneficio húmedo, correspondiendo el 73,70% restante a la pulpa.

5.3.2.2. Consumo de agua en lavado de café a “escala piloto”

El cuadro 33 y el anexo 17, presentan los gastos de agua limpia, durante el periodo de lavado del café a escala piloto, en el tanque modificado. Se detalla el uso máximo, mínimo y promedio, los coeficientes de variación y los porcentajes de agua consumidos. Los resultados indican que no existen diferencias significativas con el tamaño de muestras en el lavado del café, estimando el gasto promedio de $1,06 \pm 0,05$ L/kg cg, equivalente a $5,28 \pm 0,26$ L/kg cps, según el factor de conversión de la zona.

Cuadro 33. 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 <i>cg</i>)	(L/kg <i>cps</i>)	I	II	III	IV
Máximo	1,08	5,40	26,72	22,55	26,80	31,43
Mínimo	0,95	4,75	22,55	20,00	23,28	27,66
Promedio ± *LC	1,06±0,05	5,28±0,26	23,85±0,41	21,30±0,35	26,02±0,40	28,83±0,53
CV (%)	9,23		3,29	3,12	2,93	3,45

*LC: Límite de Confianza al 95%.

Es posible retirar el mucilago fermentado del café con bajos volúmenes de agua, para el caso con promedio de 506 L/481 kg *cg* y 96 kg *cps*, facilitando la operación de lavado la buena recolección de frutos (maduros), su despulpe sin agua, la selección de granos indeseables (verdes, pintones y sobremaduros) y la fermentación natural del café.

Según Zuluaga (1981); citado por Zambrano e Isaza (1994), la presencia de pulpas y frutos verdes en la masa de fermentación, conllevan a un lavado incompleto, ya que se liberan azúcares y compuestos fenólicos que están presentes en la pulpa, oscureciendo rápidamente el agua, aun en el último enjuague de masa.

Respecto a la disponibilidad del recurso hídrico, tomando el volumen más alto de masa del café (916 kg *cg*) bajo esta tecnología, se requiere un volumen de 0,05 m³/qq *cg*, equivalente a 0,25 m³/qq *cps* (1% del 100%), garantizando el caudal de oferta de la vertiente para la producción adicional de las plantaciones en proceso de desarrollo.

La figura 41, muestra la descarga de las aguas residuales de los enjuagues del café en el tanque convencional modificado al tanque de drenados, evidenciándose la mayor concentración residual en el drenaje de fermentación, primer y segundo enjuague, con reducción del contenido de mucilago en el tercero y cuarto enjuague respectivamente.

Los concentrados menores de los enjuagues (III y IV), hace pensar en su uso, para lavar el mismo día otras masas del café (zonas con déficit de agua), y aprovechar los enjuagues de mayor concentración (DF y I), en la elaboración de compost, y biol (fertilizante foliar), reduciendo la contaminación generada bajo este sistema de lavado.



Fuente: Fotografías en AGROTAKESI S.A. (2011).

- 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 41. Drenado de líquidos en enjuagues sucesivos en el lavado del café.

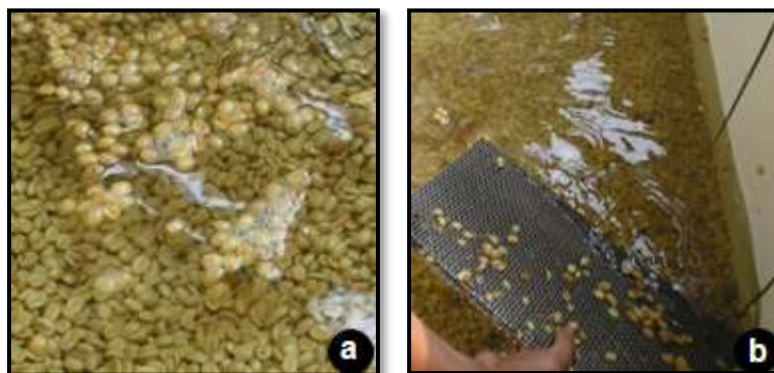
En este sentido Zambrano e Isaza (1994), indican que los concentrados de residuos de lavado se pueden aprovechar por gravedad de un tanque a otro es decir ubicados en forma escalonada, reduciendo de esta forma, más el consumo específico de agua durante la operación de lavado discontinuo del café.

Zambrano *et al.* (1991), señalan que el drenado de fermentación y la “cabeza de lavado”, son “líquidos insaturados”, que contienen las 2/3 partes del mucilago fermentado, que se retira de la operación de lavado del café. Si estos residuos concentrados se asperjan sobre la pulpa en fosas sin agua, se reduce como mínimo el 80% del potencial contaminante de los subproductos del pre beneficiado húmedo del café, además de enriquecer en materia orgánica la pulpa que se transforma en abono, aumentando su peso alrededor de un 30% al ser humedecida con estos residuos.

Pomacosi (2010), señala que en los Yungas (APCERL), se aprovecha las aguas mieles concentradas de lavado del café en la elaboración de “biol” mediante fermentación anaeróbica. Su preparado (2 L biol, 1 Lb ceniza y 18 L agua) y aplicado por aspersion en cafetales enfermos (roya y ojo de gallo) y en rebrotes de podas de renovación (pillu), tuvo resultados de control en 15% de las enfermedades y con vigor en los rebrotes.

Zambrano (1991), indica que el concentrado de materia orgánica en aguas residuales de lavado del café, cuando se usa menos agua para lavar el café fermentado (1 L/kg cc); su composición química y su alto porcentaje de sólidos solubles, las hacen muy apropiadas como sustrato en la producción de biogás por digestión anaerobia.

El cuarto enjuague (Figura 42), implica la adición de agua por encima del nivel de masa del café entre 5 a 10 centímetros, para la operación simple de clasificación de retiro de flotes de granos vanos (ch'uzos). Esta práctica representa un volumen constante de agua adicional para retirar los flotes, sin importar la cantidad de café que se lave.



Fuente: Fotografías en AGROTAKESI S.A. (2011).

- 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 42. Adición de agua y retiro de flotes en el cuarto enjuague.

El cuadro 34, detalla los tiempos de lavado del café en el tanque modificado, con volúmenes variables, con valores máximo, mínimo y promedio respectivamente. Los resultados tomaron en cuenta el tiempo de remoción en seco (pisoteo suave), la remoción de la mezcla agua/café y los tiempos de drenado en cada enjuague.

Cuadro 34. Tiempos de lavado del café en tanque modificado.

	Tiempo en lavar (Hr)	Peso del café (kg cg)	Gasto de agua (L)
Máximo	1,05	915,60	988,85
Mínimo	0,35	155,60	147,82
Promedio ± LC*	0,64 ± 0,09	481,11 ± 121,93	505,96 ± 129,70
CV (%)	27,41		

*LC: Límite de Confianza al 95%.

El tiempo de lavado depende del volumen de masa del café a lavar, presentando en la remoción en seco de 10 a 15 minutos, en la remoción de la mezcla agua/café de 15 a 25 minutos y de 5 a 10 minutos en la adición de agua limpia y retiro de flotes del tanque. Los tiempos promedio de drenaje de las aguas residuales fue de: 17,67; 17,84; 22,91 y 19,72 segundos en el primero, segundo, tercero y cuarto enjuague respectivamente.

En relación al sistema convencional, requiere menos mano de obra (una persona), con menos tiempo y esfuerzo, sacando la masa del café lavada de forma conjunta para su respectivo escurrido y pre secado en tarimas.

La modificación interna del tanque de fermentación convencional, más la construcción del tanque de vertido de residuos, tuvo un costo aproximado de 1.590,33 Bs (Anexo 18), para una producción aproximada de 350 kg co, para áreas de cultivo de café entre 2 a 5 hectáreas, lo cual corresponde a más del 70% de productores en los Yungas.

Bajo las condiciones actuales de pre beneficio convencional del café con consumos de altos volúmenes de agua y la alta contaminación generada en el lavado del café en las zonas productoras de los Yungas, la tecnología propuesta se convierte en una alternativa para reducir el gasto de agua (84% menos en relación al sistema convencional), especialmente en zonas donde el recurso hídrico es escaso. El esquema de las tecnologías de pre beneficio húmedo bajo el sistema convencional y en tanque modificado se detalla en el anexo 19.

Al reducir el gasto de agua en el lavado del café, se tendrá aguas residuales más cargadas de materia orgánica, las que se deben tratar y acompañar con la disposición y

utilización de subproductos como abonos orgánicos, convirtiendo el problema en algo útil, y a partir de ese momento se podrá hablar de un beneficio húmedo ecológico, produciendo un café de calidad con responsabilidad ambiental. Queda el camino por recorrer en la reconversión de beneficiadoras convencionales a ecológicas, esfuerzos que deberán realizar los productores con recursos propios, y en el caso de asociaciones con el apoyo de la cooperación del gobierno nacional e Internacional.

Según Zambrano (1991), cualquier alternativa de tratamiento y/o aprovechamiento de aguas residuales del lavado del café, implica una infraestructura para almacenarlas, cuya capacidad depende del consumo específico del agua en la operación de lavado.

Para Zambrano & Zuluaga (1993), como parte de solución del problema de la contaminación generada por el pre beneficio húmedo del café, se hace necesario adoptar las instalaciones tradicionales, con un despulpado y transporte de la pulpa en seco, ya que este representa las $\frac{3}{4}$ partes del problema potencial de los subproductos y puede llegar a perder la mitad de su peso seco cuando se transporta con agua.

Tate (s.f.), señala que el concepto de "uso eficiente del agua" incluye cualquier medida que reduzca la cantidad de agua que se utiliza por unidad de cualquier actividad, y que favorezca el mantenimiento o mejoramiento de la calidad de agua. El uso eficiente del agua está muy relacionado con otros conceptos básicos del manejo actual de recursos ambientales, y en muchos casos, forma parte integral de ellos.

Según Baumann (1979); citado por Tate (s.f.), el concepto de "conservación del agua" sobre su uso eficiente, es cualquier reducción o prevención de pérdida del agua que sea de beneficio para la sociedad. Visto de esta manera, el uso eficiente del recurso es de suma importancia para la conservación. Al mismo tiempo, la definición de la conservación sugiere que las medidas de eficiencia deben tener sentido social y económico, además de reducir el uso del vital líquido por unidad de actividad.

6. CONCLUSIONES

1. La calidad del agua de la vertiente “El Chuzal”, en base a la valoración visual SVAP, evaluada con parámetros y valores de campo, se cataloga de “buena”, con puntaje de 8,7 sobre 10. Según el análisis químico la calidad es de “muy buena”, con baja salinidad, baja alcalinidad y bajo contenido de sodio; 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.
2. La disponibilidad de caudal de oferta de agua captada es de 0,29 L/s en época seca, cubriendo la demanda actual de uso, bajo el sistema convencional de lavado y la producción actual del café. La empresa tiene plantaciones nuevas de café y otras planificadas, lo cual demandara un gasto adicional de agua, para lo que se cuenta con el recurso aguas abajo, que podrá ser captada en caso de su necesidad.
3. Las constantes físicas, obtenidas en la variedad típica en AGROTAKESI S.A., cotejado con lo obtenido por el Centro de Preparación del Café (CPC) de Colombia, presenta mayor densidad en peso/volumen, en los diferentes estados del café, lo cual indica que los frutos de café producidos en la zona son de menor tamaño y peso en relación al café exótico, atribuyendo estas características fisiológicas al factor clima, suelo y altura extrema en que se encuentran las plantaciones de café, estas relaciones (kg/m^3), pueden variar con otras zonas cafetaleras de los Yungas.
4. En base a las constantes físicas, y como complemento de uso, con el fin de facilitar el cambio del café de un estado a otro, se obtuvo los factores de conversión para la zona, con la instrucción de uso respectivo. Según el factor de conversión, para la zona se requiere 5 kg café guinda para obtener 1 kg de café pergamino seco.
5. El gasto de agua en el lavado del café, bajo el “sistema convencional”, en canal de correteo, es de 6,76 L/kg *cg*, equivalente a 33,80 L/kg *cps*; en un tiempo promedio de

0,75 hr, con personal calificado (1 a 3 personas), sin gasto adicional de agua en el despulpe, clasificación y transporte del café, reduciendo los drenados generados.

6. La velocidad del primer enjuague o “cabeza de lavado” a “escala de laboratorio”, con tiempo preestablecido de 5 minutos, muestras de 0,30 kg de café, bajo la relación agua/café de 0,30 hasta 0,60 L/kg; se recuperó el líquido total adicionado, superado la relación de 0,40 L/kg con el respectivo retiro de mucilago sin aumentos significativos; superado la relación de 0,43 L/kg, con un volumen adicional en 39% de agua, solo aumento un 6,9% de retiro de mucilago.
7. En el lavado discontinuo del café a “escala de laboratorio” en 3 repeticiones con remoción continua, se obtuvieron contenidos de mucilago de 20,7; 44,7; 22,5; 10,1 y 2,0% en el drenado de fermentación (DF), I, II, III y IV enjuague respectivamente. Después del II enjuague, se acumuló el 54,9% 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.
8. A “escala piloto”, el consumo específico promedio de agua limpia, en la operación de lavado discontinuo del café en el tanque de fermentación convencional modificado fue de 1,06 L/kg *cg*, equivalente a 5,28 L/kg *cps*, en un tiempo promedio de 0,64 hr, con menos mano de obra (1 persona) y esfuerzo.
9. 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 en canal de correteo.

7. RECOMENDACIONES

- A nivel de la región de los Yungas, estudiar el gasto de agua en el pre beneficio húmedo del café, en plantas centralizadas (asociaciones, cooperativas) y familiares, bajo el sistema convencional y ecológico, con las constantes físicas y factores de conversión calculados para la zona.
- Estudiar la contaminación e impacto ambiental de las cuencas hidrológicas de las zonas productoras del café, el manejo de tratamiento de residuos, especialmente de las aguas mieles y su afectación en los sistemas suelo, agua, aire y fauna.
- Bajo tecnologías innovativas, estudiar la reutilización de las aguas residuales menos concentradas de lavado del café, en el lavado de otras masas de café, estimando la reducción del gasto de agua limpia, el aumento de la concentración de drenados y su afectación o no, en la calidad organoléptica del café después de su lavado.

8. BIBLIOGRAFIA

1. AGROTAKESI S.A. 2011. Datos generales de la empresa (copia electrónica). Chojlla, Bolivia.
2. ANTEZANA, F.; ALARCÓN, J.; ROJAS, R.; BALDIVIESO, H.; REQUE, D.; GUTIERREZ, Z. 2007. Los conflictos en la gestión del agua. Componente Riego PROAGRO/GTZ. Editora "J.V". Cochabamba, Bolivia.158 p.
3. 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 Previa para optar al Título de Ingeniero en Gestión Ambiental. Loja, Ecuador. 93 p.
4. AVIRCATA, A., M. 2007. Factores de conversión realizados en la empresa AGRICABV. Caranavi, Bolivia.
5. BARRIENTOS, Z., R. 2000. El cultivo del café en la región de los Yungas. Producciones CIMA. La Paz, Bolivia. 187 p.
6. 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.
7. CAMACHO. S., A. 2005. Importancia de la gestión y uso actual de las aguas residuales urbanas en la producción agrícola (Municipio de Punata, Departamento de Cochabamba). Universidad de las Palmas y Gran Canaria – España Fundación Universitaria Iberoamericana. Proyecto para optar a Máster en Gestión y Auditorías Ambientales en Ingeniería y Tecnología Ambiental. Cochabamba, Bolivia. 129 p.

8. CASTRO, Q., G. 1987. Estudio comparativo del lavado y clasificación del café fermentado en canalón y canal semisumergido. Universidad Nacional de Colombia. Centro Nacional de Investigación del Café, CENICAFE. Chinchina, Colombia. 68 p.
9. CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DEL CAFÉ (CENICAFE). 1995. Avances técnicos de CENICAFE. Números: 1 al 113. Tomo I. Chinchina, Caldas, Colombia. 137 – 142 p.
10. CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DEL CAFÉ (CENICAFE). 2011. Construyendo el modelo para la gestión integrada del recurso hídrico en la caficultura colombiana. Chinchina, Colombia. 91 p.
11. COPA, E., E. 2007. El rol de la familia, en especial de la mujer en la producción, certificación y comercialización del café en Caranavi, Bolivia. Programa de Educación para el Desarrollo y la Conservación, Escuela de Posgrado. Tesis para optar a *Magister Scientiae* en Socioeconomía Ambiental. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). Turrialba, Costa Rica. 168 p.
12. CUBA, C. N. 2007. Manual para el cultivo del café en Yungas. Universidad Católica Boliviana San Pablo. Unidad Académica Campesina Carmen Pampa. Ingeniería Agronómica. Editor UAC's. La Paz, Bolivia. p. 151.
13. 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.
14. 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.

15. DAZA, R. 2003. Diagnóstico Ambiental de Plantas Procesadoras de Café en los Yungas de La Paz. MAPA Acceso a mercados y alivio a la pobreza. USAID/Bolivia. La Paz, Bolivia. 27 p.
16. FEDERACIÓN DE CAFICULTORES EXPORTADORES DE CAFÉ DE BOLIVIA (FECAFEB). 2010. Plan de Desarrollo Cafetalero 2010 – 2015, La Paz Bolivia. 65 p.
17. 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.
18. FLORES, M., W. M. 2006. Estudio de cadena productiva del cultivo de café (*Coffea arábica*) en la provincia Ichilo del departamento de Santa Cruz. Universidad Mayor de San Andrés (UMSA). Trabajo para optar el título de Ingeniero Agrónomo. 160 p.
19. 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.
20. FOMENTO AL DESARROLLO URBANO Y RURAL (FODUR). 2010. Estudio a diseño final “Recuperación y Fomento de Cafetales en los Yungas de La Paz”. Vice ministerio de la Coca y Desarrollo Integral (VCDI). La Paz, Bolivia.
21. GOMEZ, D. L.; NICOLAS, M., J. A. 2006. Producción de Alcohol Etílico a partir de Mucílago de Café. Universidad EARTH. Guácimo, Costa Rica. Tesis: Ingeniero Agrónomo. 47 p.
22. GUARDIA, P., Y. D. 2012. Estudio de la digestión anaerobia en dos fases para el tratamiento de las aguas residuales de despulpe del beneficiado húmedo del café. Universidad Politécnica de Madrid. Escuela Técnica Superior de Ingenieros

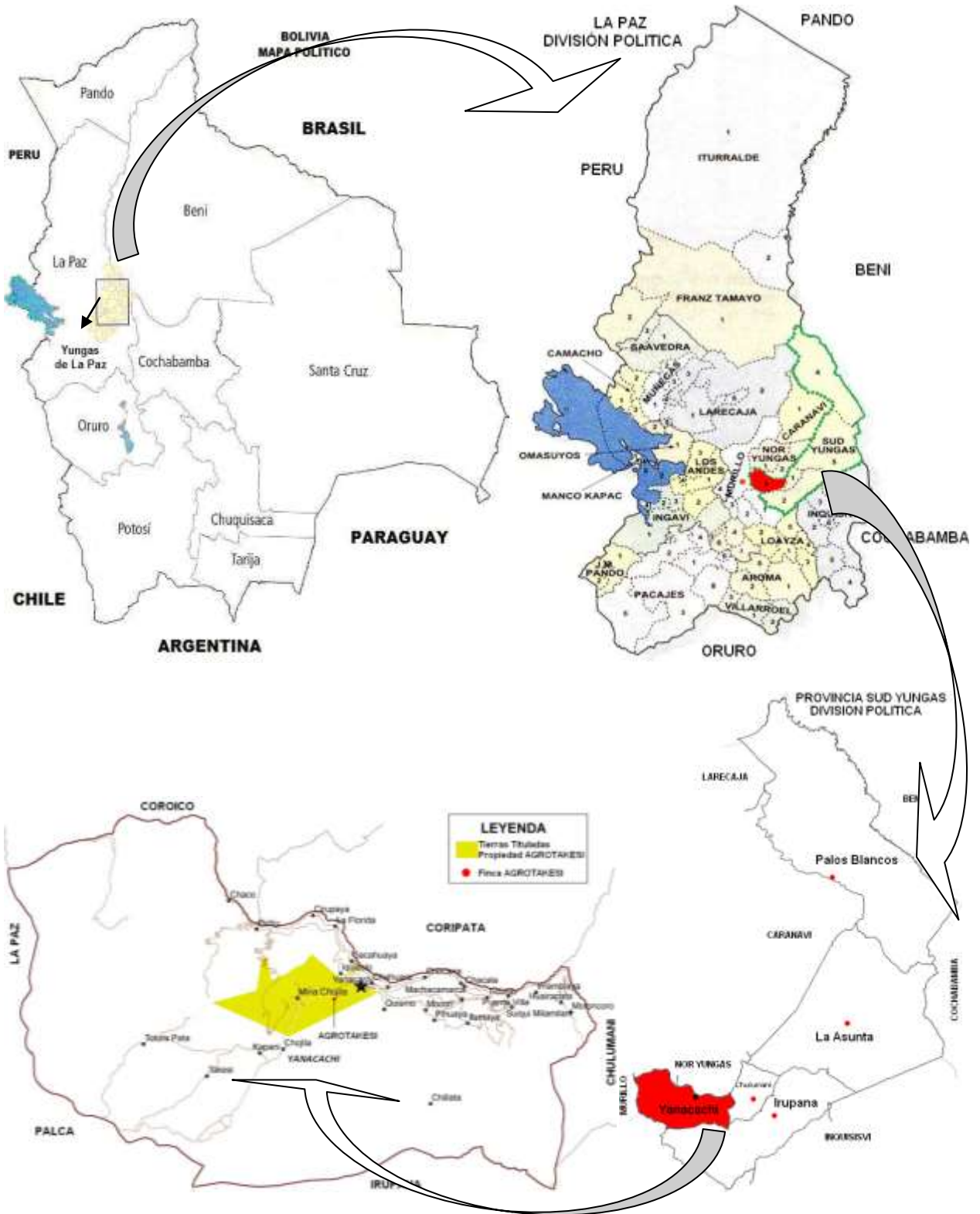
- Agrónomos. Tesis doctoral en biotecnología, mención ambiental. Madrid, España. 99 p.
23. HENAO, C., J. D.; QUEIROZ, M. R.; ALMEYDA, H., N. M. 2007. Mucilagem residual em café cereja descascado e seus efeitos na qualidade da bebida e na producto de cafés especiais. Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia agrícola. Campinas, Brasil. (Tese Doutor). 134 p.
 24. IMG CONSULTING. 2007. Estudio de identificación, mapeo y análisis competitivo del café en zonas de intervención del desarrollo alternativo. Ministerio de Desarrollo Rural, Agropecuario y Medio Ambiente (MDRAYMA). Ministerio de Planificación del Desarrollo. Convenio de Cooperación del Reino de Bélgica. La Paz, Bolivia. 189 p.
 25. 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.
 26. 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.
 27. LEY No. 300. (2012). Ley Marco de la Madre Tierra y Desarrollo Integral Para Vivir Bien. Gaceta Oficial del Estado Plurinacional de Bolivia. Edición N° 0431. La Paz, Bolivia. 44 p.
 28. LÓPEZ, B., C. 2003. Evaluación de la patogenicidad de aislamientos del hongo *Metarhizium anisopliae* (Metchnikoff) sobre la broca del café *Hypothenemus hampei* (Ferrari) en condiciones de Laboratorio. La Paz, Bolivia. Universidad Mayor de San Andrés, Facultad de Agronomía. Tesis: Ingeniero Agrónomo. 87 p.
 29. MUNICIPIO DE YANACACHI. 2006. Plan de Desarrollo Municipal (copia electrónica). Yanacachi, Bolivia. 215 p.

30. OROZCO R., P. A. 2003. Arranque y puesta en marcha de un reactor metanogénico tipo UAF para el tratamiento de las aguas residuales del lavado del café. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería y Arquitectura. (Tesis: Ingeniería Química). Manizales, Colombia. 90 p.
31. PEREZ, N. CASTILLO, R., R. M.; CARBALLO, A., L. R.; VELIZ, G., J. A. 2007. Impacto ambiental en el cultivo y procesamiento del café y su repercusión social. Universidad de Pinar del Río; Departamento de Química, Cuba.Noarys@af.upr.edu.cu. 22 p.
32. POMACOSI, M., L. M. 2010. Incidencia y severidad de plagas y enfermedades en el cultivo de café *Coffea arábica* 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.
33. PRIETO, D., Y. A. 2002. Caracterización física del café semitostado. Fundación Universidad de América. Facultad de Ingeniería Química. Proyecto de grado para optar el título de Ingeniería Química. Bogotá D.C., Colombia. 189 p.
34. ROA, M.G.; OLIVEROS, C.E.; ALVAREZ, J.; RAMIREZ, C.A.; SANZ, J.R.; DÁVILA, M.T.; ALVAREZ, J.R.; ZAMBRANO, D.A.; PUERTA, G.I.; RODRIGUEZ, N. 1999. Beneficio Ecológico del Café. CENICAFE. Chinchina, Colombia, 300 p.
35. 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.
36. RODRÍGUEZ V., N. 1999. Avances del Experimento QIN-02-03. Metanogénesis de las aguas residuales del beneficio del café. In: Informe anual de actividades 1998-1999. Chinchiná (Colombia), CENICAFÉ. Disciplina de Química Industrial. 90 p.

37. RODRIGUEZ, V., N. 2009. Estudio de un biosistema integrado para el pos tratamiento de las aguas residuales del café utilizando macrófitas acuáticas. Universidad Politécnica de Valencia. Departamento de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente. Valencia. 552 p.
38. SALAZAR, F., O. A. 2001. Análisis del sistema de administración en la empresa XX productora de café, basado en las normas ISO 14000 (protección ambiental). Universidad Francisco Marroquin. Facultad de Ciencias Económicas. Trabajo para optar al grado Licenciado en Administración de Empresas. Guatemala. 43 p.
39. STEEL, R., G. D.; TORRIE, J. H. 1988. Bioestadística: principios y procedimientos. Segunda edición-Hill/Interamericana de México, S.A. de C.V. México D.F. 613 p.
40. TATE, D., M. (s.f.). Principios de uso eficiente del agua. Extraído de http://www.imta.mx/marco_enlacesimta.htm/<http://www.agualtiplano.net/revista/art13.htm>. 13 p.
41. TOLEDO, G., C. L. 2003. Proyecto de beneficiado ecológico de café en Aldea Plan de Sánchez, Rabinal, Salamá, Baja Verapaz. Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ingeniería/Escuela de Mecánica Industrial. Trabajo de graduación para optar el título de Ingeniero Industrial. Guatemala. 117 p.
42. VEENSTRA, S. 1995. Recovery of biogas from landfill sites. IHE Delft. *In*: Curso taller Internacional sobre tratamiento anaerobio de aguas residuales. Santiago de Cali (Colombia). Memorias.
43. VILLALOBOS, A. 1985. Obtención de alcohol etílico a partir de los subproductos del beneficiado de café. Proyecto de graduación Lic. Ing. Química. San José, Costa Rica UCR. 64 p.

44. ZAMBRANO, F., D. A. 1989. Resultados de los estudios de laboratorio. *In*: Informe anual de actividades octubre 1988 – septiembre 1989. Chinchina (Colombia). 23 p.
45. ZAMBRANO, F., D. A. 1991. Potencial calórico de un sistema anaeróbico en el tratamiento de aguas residuales. CENICAFE, 42(4):133 – 136.
46. ZAMBRANO, F., D. A.; ISAZA, H., J. D.; FRANCO, J., M.; ZULUAGA, V., J. 1991. Lavado de café en un tanque fermentador piloto. *In*: Seminario Internacional sobre Biotecnología en la industria cafetera. 2. Manizales (Colombia).
47. ZAMBRANO, F., D. A. 1997. Tratamiento de aguas residuales del beneficio húmedo del café a nivel de finca. *In*: V Seminario - Taller Internacional sobre Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria. Cali (Colombia). 7 p.
48. ZAMBRANO, F., D. A.; ISAZA, H., J. D. 1994. Lavado del café en los tanques de fermentación. CENICAFE (Colombia). 45(3):106-118.
49. ZAMBRANO F., D. A.; ISAZA H., J. D. 1998. Demanda Química de Oxígeno y Nitrógeno total, de los subproductos del proceso tradicional de beneficio húmedo del café. CENICAFE 49(4):279-289.
50. ZAMBRANO F., D. A.; ZULUAGA V., J. 1993. Balance de materia en un proceso de beneficio húmedo del café. CENICAFE 44(2):45-55.
51. ZAMBRANO F., D. A; RODRÍGUEZ, V., N. 2008. Sistemas para el tratamiento de aguas mieles: Investigación aplicada en beneficio de los productores cafeteros. Chinchina (Colombia), CENICAFÉ. Disciplina de Calidad y Manejo Ambiental. 19 p.

ANEXOS

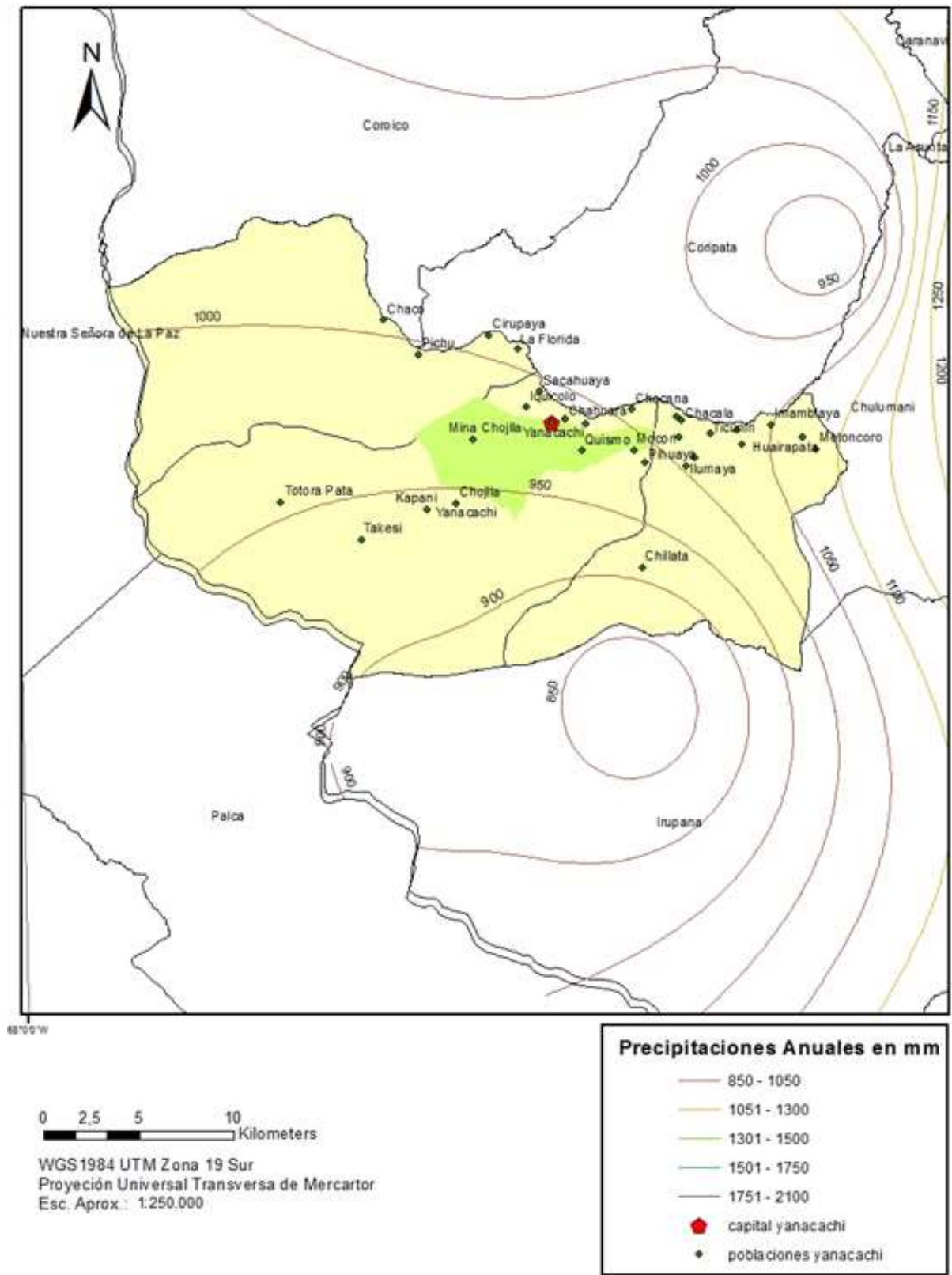


Anexo 1. Ubicación geográfica del área de investigación.

Anexo 2. Uso del suelo en el municipio de Yanacachi.

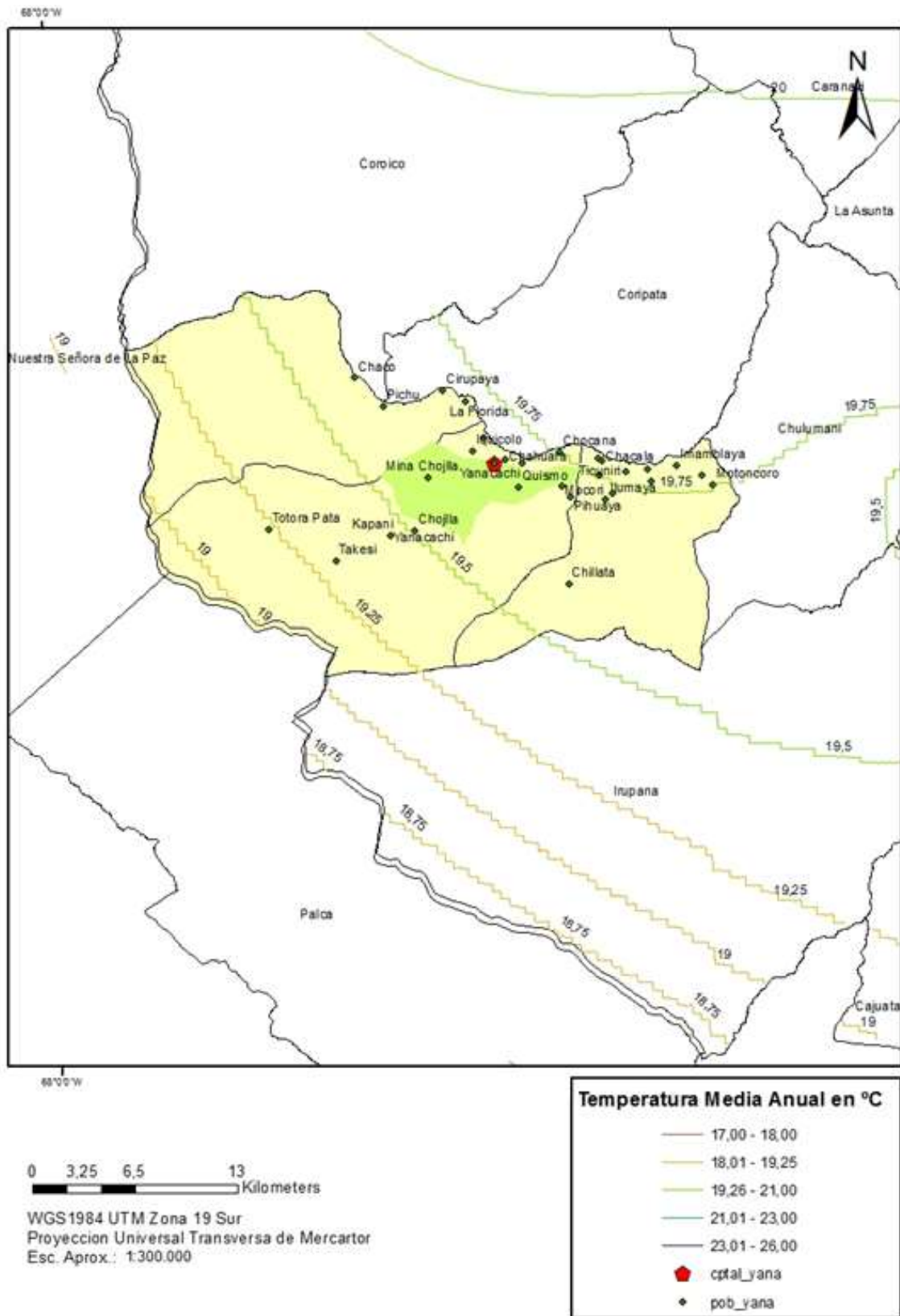
Categorías y Sub categorías	Ubicación (cantón) y Extensión (Km²; %)	Topografía-fisiografía y altura	características climáticas e hidrológicas	Cobertura vegetal y suelos
-Tierras de uso agropecuario intensivo. -Intensivo-moderado	Yanacachi y Villa Aspiazu. 59,15 (10,26%)	Serranías altas a medias con cimas irregulares; moderadamente disectadas y escarpadas; pendientes de 30 y 35%; alturas de 2.300 a 2.800 msnm con amplitud de relieve de 300 a 400 m.	PP anual: 800.-1.000 mm; Temperatura media anual: 15-17 °C; Potencial hídrico: 2.050-2.600 Millones de m ³ .	Bosques yungueños nublado montano superior y vegetación antrópica. Suelos con alta saturación de bases, drenaje bueno, poco a moderadamente profundos.
-Tierras de protección y/o uso restringido - Conservación de la biodiversidad	Yanacachi y Villa Aspiazu. 436,59 (75,76%)	Montañas altas y macizas, con cimas irregulares y montañas medias con cimas irregulares y subredondeadas; fuerte a moderadamente disectadas y moderadamente escarpadas; pendiente de 45 a 70%; altura de 4.500 a 6.200 msnm y amplitud de relieve de 600 a 1.000 m.	PP anual: 800-1.000 mm; Temperatura media anual: 15-17 °C; Potencial hídrico: 1.700-2.700 Millones de m ³ .	Bosque yungueño altimontano, arbustales alto andinos de la puna húmeda y pajonales de cima de montaña. Suelos con alta saturación de bases, imperfecto a buen drenaje, poco a moderadamente profundos.
-Tierras de protección y/o uso restringido. -Uso restringido con uso agrícola extensivo limitado.	Yanacachi. 74,83 (12,99%)	serranías altas, con cimas subredondeadas e irregulares; fuertemente disectadas y moderadamente escarpadas; con pendientes de 40 a 50%; altura de 3.500 a 4.000 msnm y amplitud de relieve de 600 a 800 m.	PP anual: 800-1.000 mm; Temperatura media anual: 15-17 °C; Potencial hídrico: 2.100-2.700 Millones de m ³ .	Bosques yungueños nublado montano superior, bosque yungueño altimontano y vegetación antrópica. Suelos con moderada saturación de bases, buen drenaje, superficiales a poco profundos.

Fuente: FONADAL (2010).



Fuente: FONADAL (2010).

Anexo 3. Mapa de isoyetas (precipitación) en el municipio de Yanacachi.



Fuente: FONADAL (2010).

Anexo 4. Mapa de isotermas (temperatura) en el municipio de Yanacachi.

Anexo 5. Áreas de terreno, cedidas y utilizadas por AGROTAKESI S.A.

Áreas	Hectáreas
Propiedad AGROTAKESI S.A.	2.166,33
Cedida a Hidroeléctrica Boliviana (HB)	142,51
Cedida a Urbanización Chojlla	13,47
Cedida a C.N.S.S.	1,62
Cedida a FODEBA	2,02
Cedida a microproductores Chojlla	13,02
Cedida a IMCO	370,89
Cultivo de café en producción	14,18
Cafetos implantados (2 años de edad)	20,00
Cultivo de Manzana en producción	0,75
Cultivo de Manzana implantada (1 año)	1,00
Propiedad restante (áreas protegidas y otros)	1.587,62

Fuente: Empresa AGROTAKESI S.A. (2011).

Anexo 6. Parámetros del agua, características y valores (Evaluación visual SVAP).

Parámetros	Características y valores				
Apariencia del agua	Muy clara. Val. (10)	Algo turbia. Val. (7)	Muy turbio. Val. (3)	Turbio todo el tiempo. Val. (1)	
Sedimentos	El agua se mantiene clara. Val. (10)	2 segundos mientras aclara el agua. Val. (7)	5 segundos mientras aclara el agua. Val. (5)	8 segundos mientras aclara el agua. Val. (3)	No se aclara el agua. Val. (1)
Sombra	100% del cauce con sombra. Val. (10)	75% del cauce con sombra. Val. (7)	50% del cauce con sombra. Val. (3)	Superficie de agua sin sombra. Val. (1)	
Condición de cauce	Cauce natural, no hay sedimentación. Val. (10)	Evidencia de alteración en el cauce. Val. (7)	Cauce alterado (puede ser canalizado). Val. (3)	El cauce está muy canalizado. Val. (1)	
Estabilidad de la orilla	Orilla estable, raíces de árboles. Val. (10)	Moderadamente estable. Val. (7)	Poco inestable, algunos árboles caídos. Val. (3)	Orilla inestable, erosionada. Val. (1)	
Presencia de desechos sólidos (basura)	No hay evidencia de basura. Val. (10)	Presencia de desechos sólidos. Val. (7)	Presencia de desechos sólidos dentro el cauce (1 o 2 tipos). Val. (5)	Presencia moderada de basura dentro el cauce (más de 3 tipos). Val. (3)	Abundancia de basura en el trayecto. Val. (1)
Presencia de estiércol	No hay estiércol o evidencia de animales cerca la vertiente. Val. (10)	Ganado en alrededores, sin acceso directo a la vertiente. Val. (7)	Estiércol en la quebrada o ganado dentro la vertiente. Val. (3)	Mucho estiércol en la vertiente o tuberías que descargan aguas negras. Val. (1)	

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

Anexo 7. Cosechas de café guinda evaluadas en el lavado convencional (kg).

Días/ semana	Abril				Mayo				Junio				Julio			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Lunes	-	-	-	-	-	-	-	-	306	109	-	343	-	247	132	432
Martes	-	-	-	-	-	-	-	-	474	590	-	400	-	-	334	421
Miércoles	-	-	49	60	-	169	-	-	598	326	-	390	-	-	237	318
Jueves	-	-	102	-	-	152	-	-	631*	262	-	-	169	-	341	297
Viernes	-	-	105	-	-	142	-	-	536	-	394	-	155	-	-	207
Sábado	-	-	-	-	-	36**	-	-	108	-	308	-	134	-	-	-
Domingo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Subtotal	-	-	256	60	-	499	-	-	2653	1287	702	1133	458	247	1043	1674
Total	315,50				499,00				5774,00				3422,00			

*Peso máximo (kg).

**Peso mínimo (kg).

■ Café sometido a proceso de lavado (31 muestras).

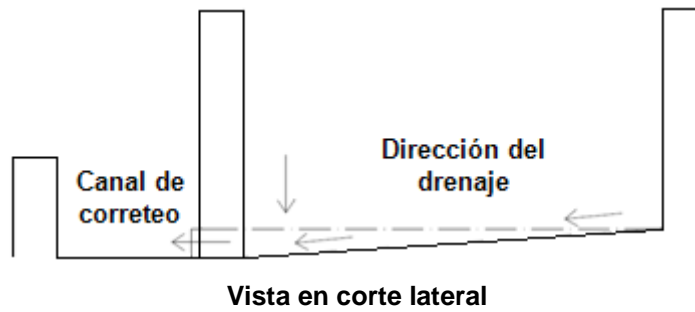
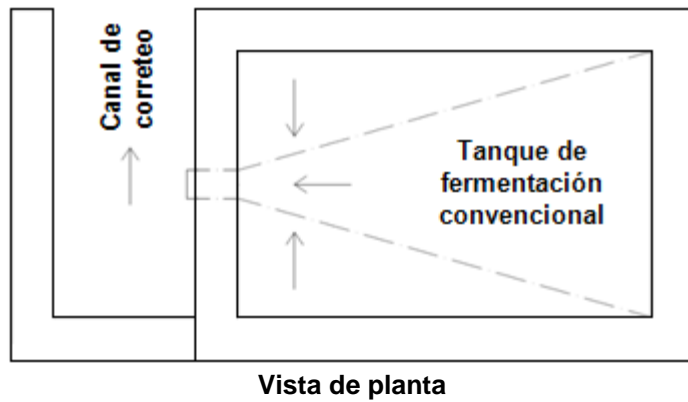
Anexo 8. Cosechas de café guinda evaluadas en el lavado ecológico (escala piloto).

Días/ semana	Agosto				Septiembre				Octubre				Noviembre				Diciembre			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Lunes	-	-	738	791	-	-	-	329	-	-	-	-	-	404	346	-	-	-	-	-
Martes	-	-	821	702	-	-	-	446	-	-	-	-	-	375	-	-	-	-	-	-
Miércoles	-	-	*916	598	-	-	-	737	-	**156	-	-	-	224	-	-	305	-	-	-
Jueves	-	-	773	624	-	-	-	518	-	218	-	-	-	251	-	-	-	-	-	21
Viernes	-	-	695	413	-	-	-	278	-	210	-	-	-	465	-	-	-	-	-	14
Sábado	-	-	252	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	232	-	-	-	-	-	-
Domingo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Subtotal	-	-	4194	3127	-	-	-	2308	-	583	-	-	-	1951	346	-	305	-	-	35
Total	7321,31				2308,09				582,93				2296,55				339,75			

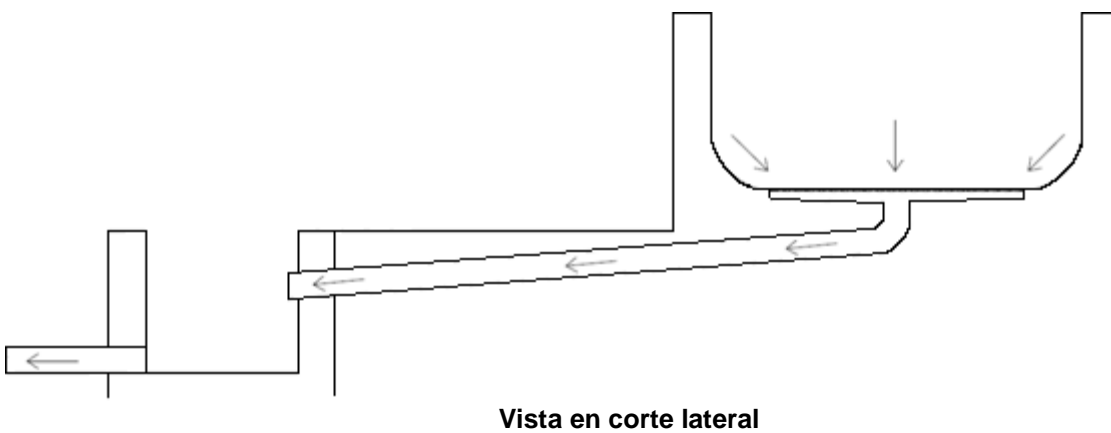
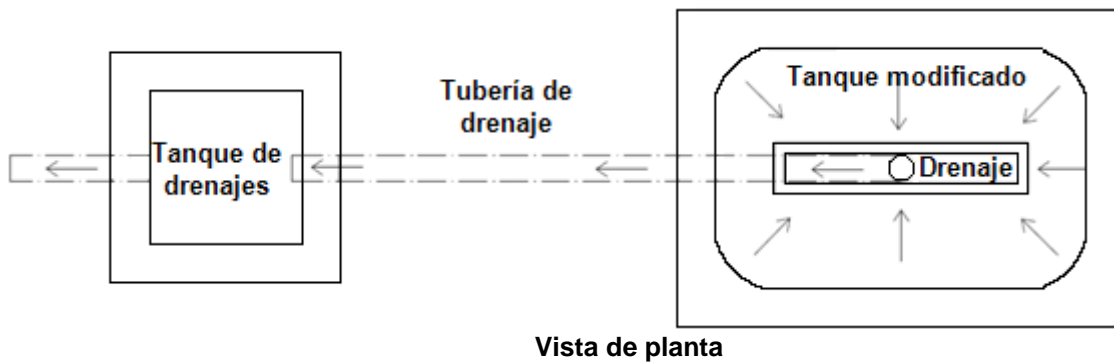
*Peso máximo (kg).

**Peso mínimo (kg).

■ Café sometido a proceso de lavado (26 muestras).



Anexo 9. Tanque convencional con esquinas rectas con drenaje al canal de correteo.



Anexo 10. Tanque convencional modificado, conectado al tanque de drenaje.

RESULTADO DE ANÁLISIS QUÍMICO DE AGUA

Institución solicitante: **Agrotakesi S.A.**
Dirección: **Mina Chojlla**

N° de muestra: **1**

DATOS DE MUESTREO

Responsable: **Carlos López**
Fecha: **2011-11-06** Hora: **17:00**
Punto: **Vertiente El Chuzal**
Lugar: **Finca Agrotakesi**
Fuente: **Agua subterránea**
Localidad: **Chojlla - Municipio Yanacachi**
Provincia: **Sud Yungas** Departamento: **La Paz**
Temperatura: **---**

DATOS DE RECEPCIÓN

Fecha: **2011-11-07** Hora: **16:50**
Volumen de la muestra: **2,5 litros**
Tipo de recipiente(s): **Botella de plástico**
Estado de la muestra: Refrigerada (Si/No): **No**
Preservada (Si/No): **No**
Temperatura: **20,6 °C**
Fecha de análisis: **Del 2011-11-07 al 2011-11-15**
Recibido por: **Ing. Francisco Bellot Alarcón**

OBSERVACIONES: **---**

ANÁLISIS QUÍMICO

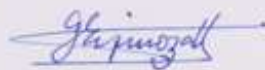
N°	PARÁMETRO ANALIZADO	MÉTODO	UNIDADES	RESULTADO
1	CONDUCTIVIDAD	Potenciométrico	μS/cm	23,92
2	pH (T = 25,0 °C)	Potenciométrico	---	6,51
3	CALCIO	Volumétrico	mg Ca ²⁺ /l	1,60
4	MAGNESIO	Volumétrico	mg Mg ²⁺ /l	0,97
5	SODIO	Absorción Atómica	mg Na/l	1,52
6	SAR	Cálculo	---	0,23
7	TIPO DE AGUA	Cálculo	---	C₁S₁ (*)

OBSERVACIONES: (*)

C₁, Agua de baja salinidad.- Con estas aguas se puede regar la mayoría de los suelos y cultivos, sin temor a perjuicios salinos. El lavado natural es suficiente y sólo en los terrenos de muy baja permeabilidad hay que realizar trabajos especiales.

S₁, Bajo contenido en sodio.- Puede usarse sin que sean de esperar serios perjuicios en el desarrollo vegetal. Sólo plantas muy sensibles, como los frutales de hueso y los aguacates son dañados.

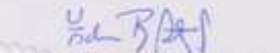
La Paz, 16 de noviembre de 2011



RESPONSABLE
Tec. Clemente Suxo N.


Vº Bº DIRECTOR

Ing. José A. Díaz B.
DIRECTOR
INSTITUTO DE INGENIERIA
SANITARIA Y AMBIENTAL
I I S S A


RESPONSABLE TÉCNICO
Ing. Edwin Astorga S.



Página 1 de 1

Anexo 12. Caudal de oferta del agua en la vertiente “El Chuzal”.

Mes	No. de Aforos	Tiempo	Volumen	Caudal de oferta $Q=V/t$ (L/s)	Fecha de realización
		(s)	(L)		
Septiembre	1	13,6	4	0,29	16/08/2010
	2	13,63	4	0,29	
	3	13,19	4	0,30	
	4	13,54	4	0,30	
	5	13,20	4	0,30	
	6	13,46	4	0,30	
	7	13,32	4	0,30	
	8	13,55	4	0,30	
	9	13,41	4	0,30	
	10	13,57	4	0,30	
	Promedio	13,45	4	0,30	
Octubre	1	13,86	4	0,29	15/09/2010
	2	13,71	4	0,29	
	3	13,88	4	0,29	
	4	13,85	4	0,29	
	5	13,73	4	0,29	
	6	13,71	4	0,29	
	7	13,82	4	0,29	
	8	13,65	4	0,29	
	9	13,68	4	0,29	
	10	13,97	4	0,29	
	Promedio	13,79	4	0,29	
Promedio general	13,62	4	0,29		

Anexo 13. Constantes físicas de granos del café según su humedad.

Humedad (%)	Estados del café (valido para la variedad típica o criolla, comercial)	No. Promedio granos/kg
52	Café lavado	2447
42	Café mote	2778
12	Café pergamino seco	5041
12	Café oro verde	5777

Anexo 14. Factores de conversión del café para AGROTAKESI S.A.

Para convertir	a	Multiplique por:
Café guinda (1)	Café pergamino seco	0,200
	Café baba	0,550
	Café oro	0,170
	Café mote	0,313
	Café recién lavado	0,408
	Sultana fresca	0,450
Café pergamino seco (2)	Café guinda	4,993
	Café oro	0,839
	Café baba	2,757
	Café recién lavado	2,037
	Café mote	1,565
	Sultana fresca	2,220
Café baba (3)	Café pergamino seco	0,363
	Café oro	0,304
	Café guinda	1,821
	Café recién lavado	0,740
	Café mote	0,567
Café oro (4)	Café pergamino seco	1,193
	Café baba	3,291
	Café guinda	5,890
	Café recién lavado	2,430
	Café mote	1,867
Café recién lavado (5)	Café mote	0,769
	Café pergamino seco	0,490
	Café guinda	2,449
	Café baba	1,351
	Café oro	0,411
Café mote (6)	Café pergamino seco	0,634
	Café guinda	3,199
	Café recién lavado	1,293
	Café baba	1,748
	Café oro	0,532
Sultana fresca (7)	Café guinda	2,134
	Café pergamino seco	0,450

Referencias:

- (1) Café guinda, es el fruto maduro que se recomienda recolectar.
- (2) El café pergamino seco, que está listo para la trilla y tiene una humedad de 11 a 12%.
- (3) El café en baba (mucilago o flema), que resulta inmediatamente después del despulpado.
- (4) El café oro, que resulta después de trillar el café pergamino seco.
- (5) El café recién lavado, que resulta inmediatamente después del lavado.
- (6) El café mote, el cual ha perdido el agua por escurrimiento con 40% de humedad aproximada.
- (7) La sultana fresca, que resulta del despulpado sin agua.

Anexo 15. Gasto de agua en lavado del café, bajo el sistema convencional.

Nº	Tipo de café		Consumo de agua limpia			Tiempo de lavado
	kg cg	kg cps	L	L/kg cg	L/kg cps	Hr
1.	169,00	33,80	1104,85	6,54	32,69	0,59
2.	152,00	30,40	966,74	6,36	31,8	0,53
3.	142,00	28,40	916,77	6,46	32,28	0,59
4.	36,00	7,20	210,28	5,84	29,21	0,30
5.	306,00	61,20	2134,74	6,98	34,88	0,72
6.	474,00	94,80	3218,77	6,79	33,95	1,08
7.	598,00	119,60	4153,59	6,95	34,73	1,17
8.	631,00	126,20	4327,09	6,86	34,29	1,35
9.	536,00	107,20	3676,12	6,86	34,29	1,05
10.	108,00	21,60	687,06	6,36	31,81	0,55
11.	108,50	21,70	695,388	6,41	32,05	0,61
12.	590,00	118,00	3736,50	6,33	31,67	1,25
13.	326,00	65,20	2201,37	6,75	33,76	0,70
14.	262,00	52,40	1666,29	6,36	31,8	0,65
15.	394,00	78,80	2645,53	6,71	33,57	0,87
16.	308,00	61,60	1956,39	6,35	31,76	0,68
17.	342,50	68,50	2399,85	7,01	35,03	0,80
18.	400,00	80,00	2724,64	6,81	34,06	0,85
19.	390,00	78,00	2640,67	6,77	33,85	0,82
20.	169,00	33,80	1279,04	7,57	37,84	0,57
21.	155,00	31,00	1031,28	6,65	33,27	0,58
22.	134,00	26,80	873,75	6,52	32,6	0,57
23.	132,00	26,40	942,45	7,14	35,7	0,52
24.	334,00	66,80	2440,8	7,31	36,54	0,68
25.	236,50	47,30	1832,16	7,75	38,73	0,53
26.	340,50	68,10	2159,03	6,34	31,7	0,77
27.	432,00	86,40	3136,19	7,26	36,3	0,85
28.	420,50	84,10	2884,26	6,86	34,3	0,92
29.	318,00	63,60	2229,13	7,01	35,05	0,70
30.	297,00	59,40	2096,57	7,06	35,3	0,75
31.	206,50	41,30	1361,63	6,59	32,97	0,62
Σ	9448,00	1889,60	64328,93	209,56	1047,78	23,22
μ	304,77	60,95	2075,13	6,76	33,80	0,75
S^2	24925,60	997,02	1172630	0,1628	4,045986	0,05519
S	28,36	5,67	194,4911	0,07247	0,36127	0,04219
GL	30	30	30	30	30	30
t_{n-1}	2,04	2,04	2,04	2,04	2,04	2,04
$LC_{95\%}$	304,77±57,85	60,95±11,57	2075,13±396,76	6,76±0,15	33,80±0,74	0,75±0,10
CV (%)	-	-	-	5,97	-	31,36

Estimación por fórmula:

$$ST = 99000/(V + 0,455)$$

Datos:

V= 650 ml/kg *cg* equivalente a 3,25 L/kg *cps*.

$$ST = 99000/(3,25 + 0,455)$$

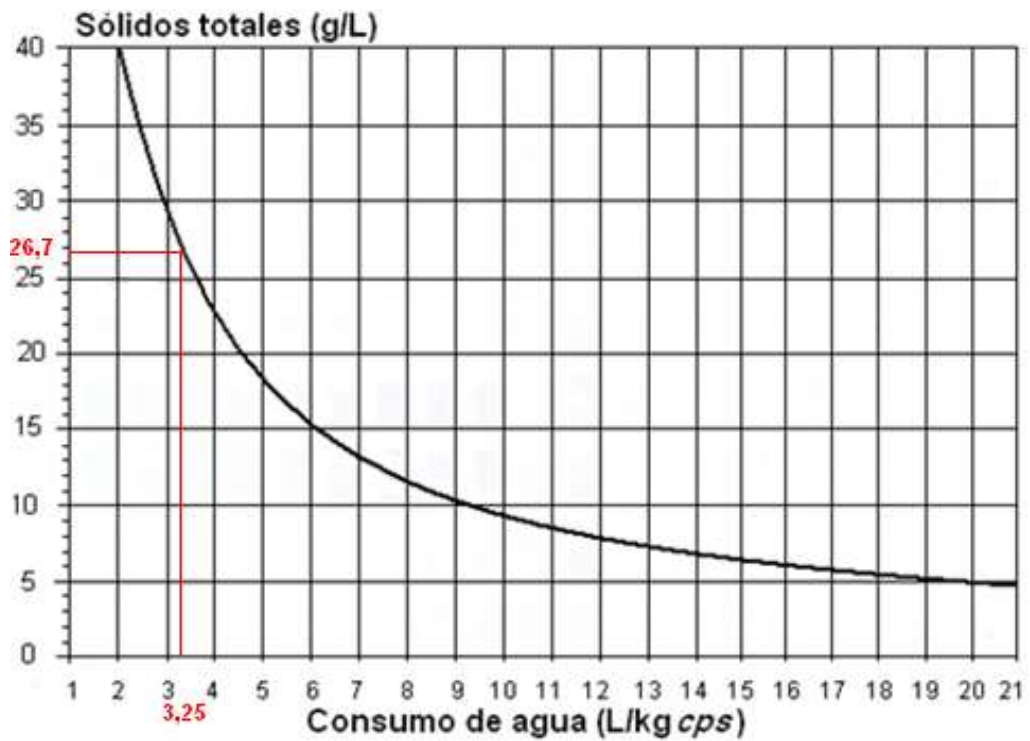
$$ST = 26720,65 \text{ mg/L}$$

Estimación gráfica:

Datos:

V= 3,25 L/kg *cps* (consumo específico de agua en el lavado del café).

$$ST = 26,72 \text{ g/L}$$



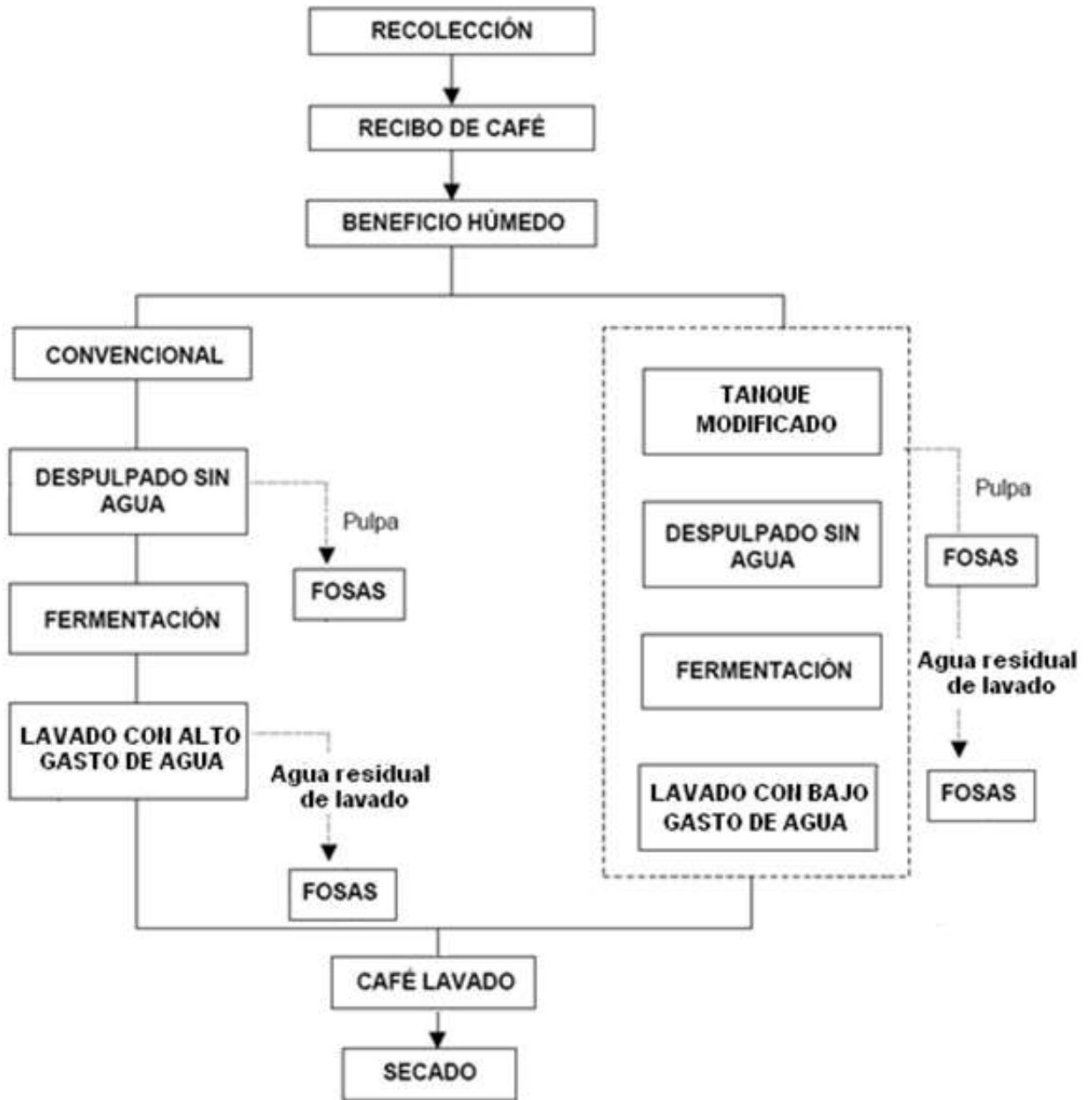
Anexo 16. Cálculo de concentración de sólidos totales en aguas residuales del café.

Anexo 17. Gasto de agua en lavado del café en tanque modificado (escala piloto).

Nº	kg cg	kg cps	Gasto de agua limpia		% de uso de agua en los enjuagues				Tiempo lavado
			L/kg cg	L/kg cps	I	II	III	IV	Hr
1.	738,25	147,65	1,16	5,80	26,72	21,55	23,28	28,45	0,85
2.	820,50	164,10	1,01	5,05	23,76	21,78	25,74	28,71	0,90
3.	915,60	183,12	1,08	5,40	24,07	22,22	25,93	27,78	1,05
4.	773,45	154,69	0,94	4,70	24,47	21,28	26,60	27,66	0,88
5.	694,57	138,91	1,21	6,05	23,97	20,66	26,45	28,93	0,80
6.	251,50	50,30	1,07	5,35	23,36	21,50	26,17	28,97	0,40
7.	791,11	158,22	1,06	5,30	22,64	20,75	25,47	31,13	0,85
8.	702,00	140,40	1,02	5,10	22,55	21,57	25,49	30,39	0,70
9.	597,50	119,50	0,97	4,85	23,71	20,62	26,80	28,87	0,65
10.	623,98	124,80	1,03	5,15	24,27	21,36	26,21	28,16	0,68
11.	412,85	82,57	1,22	6,10	22,95	20,49	27,05	29,51	0,58
12.	329,11	65,82	1,04	5,20	24,04	20,19	25,96	29,81	0,55
13.	446,00	89,20	0,94	4,70	23,40	21,28	26,60	28,72	0,61
14.	737,00	147,40	1,03	5,15	24,27	21,36	26,21	28,16	0,87
15.	517,53	103,51	1,12	5,60	24,11	21,43	25,89	28,57	0,66
16.	278,45	55,69	1,02	5,10	24,51	22,55	25,49	27,45	0,47
17.	155,60	31,12	0,95	4,75	24,21	21,05	26,32	28,42	0,35
18.	217,61	43,52	1,05	5,25	23,81	21,90	26,67	27,62	0,46
19.	209,72	41,94	1,21	6,05	23,97	22,31	24,79	28,93	0,43
20.	403,80	80,76	0,97	4,85	23,71	20,62	26,80	28,87	0,59
21.	375,00	75,00	0,89	4,45	23,60	21,35	25,84	29,21	0,59
22.	223,80	44,76	1,14	5,70	23,68	21,93	26,32	28,07	0,55
23.	251,25	50,25	1,05	5,25	22,86	20,00	25,71	31,43	0,58
24.	464,80	92,96	0,97	4,85	23,71	20,62	26,80	28,87	0,64
25.	231,90	46,38	1,27	6,35	23,62	21,26	25,98	29,13	0,46
26.	346,00	69,20	1,04	5,20	24,04	22,12	25,96	27,88	0,58
Σ	12508,88	2501,77	27,46	137,30	620,01	553,75	676,53	749,70	16,73
μ	481,11	96,22	1,06	5,28	23,85	21,30	26,02	28,83	0,64
S^2	53420,36	2136,83	0,01	0,24	0,61	0,44	0,58	0,99	0,03
S	45,33	9,07	0,02	0,10	0,15	0,13	0,15	0,20	0,03
GL	25	25	25	25	25	25	25	25	25
t_{n-1}	2,69	2,69	2,69	2,69	2,69	2,69	2,69	2,69	2,69
$LC_{95\%}$	481,1±121,9	96,2±24,4	1,1±0,1	5,3±0,3	23,9±0,4	21,3±0,4	26,0±0,40	28,8±0,5	0,6±0,1
CV (%)	-	-	9,23	9,23	3,29	3,12	2,93	3,45	27,41

Anexo 18. Costo de reforma y construcción de tanques de lavado y drenaje.

Descripción	Unidad	Cantidad	Costo Unitario (Bs)	Costo Total (Bs)
1. Materiales e insumos				
Ladrillo de 6 huecos	pza	70,00	1,20	84,00
Arena fina	m ³	0,25	100,00	25,00
Cerámica	m ²	5,70	56,00	319,20
Cemento Portland	kg	150,00	1,20	180,00
Rejilla acerada (drenaje) 0,2 m x 1,0 m	pza	1,00	150,00	150,00
Tubería PVC de 4"	ml	3,10	49,00	151,90
Codo PVC de 4"	pza	1,00	15,00	15,00
Tapa rosca de 4"	pza	2,00	35,00	70,00
Pegamento PVC	L	0,20	35,00	7,00
Limpiador	L	0,30	30,00	9,00
Clavos	kg	0,25	14,00	3,50
			Subtotal	1014,60
2. Mano de obra				
Maestro albañil	jornal	3,00	100,01	300,00
Ayudante	jornal	3,00	50,10	150,00
			Subtotal	450,00
3. Equipos				
Cortadora	hr	1,00	50,00	50,00
			Subtotal	50,00
4. Gastos generales e imprevistos				
Gastos e imprevistos (% 1+2)			5,00%	75,73
			Subtotal	75,73
			Total precio (Bs.)	1590,33



Anexo 19. Diagrama de flujo del pre beneficio húmedo del café, bajo dos sistemas.