

**CARACTERIZACION DEL TIPO DE BENEFICIO UTILIZADO EN LOS
SISTEMAS PRODUCTIVOS DE CAFÉ EN EL MUNICIPIO DE SAN ANDRES –
SANTANDER**

DANIEL ROLANDO GUTIERREZ CORDOBA

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA
ESPECIALIZACION EN INGENIERIA AMBIENTAL
BUCARAMANGA**

2018

**CARACTERIZACION DEL TIPO DE BENEFICIO UTILIZADO EN LOS
SISTEMAS PRODUCTIVOS DE CAFÉ EN EL MUNICIPIO DE SAN ANDRES –
SANTANDER**

DANIEL ROLANDO GUTIERREZ CORDOBA

**Monografía para optar al título de
Especialista en Ingeniería Ambiental**

Director:

ING. CRISOSTOMO BARAJAS FERREIRA

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA
ESPECIALIZACION EN INGENIERIA AMBIENTAL
BUCARAMANGA**

2018

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCION	9
1. JUSTIFICACION.....	12
2.OBJETIVOS.....	13
2.1 OBJETIVO GENERAL	13
2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS	13
3. MARCO TEORICO	14
3.1 DESCRIPCION GEOGRAFICA DE SAN ANDRES	14
3.2 PROCESO DE BENEFICIO DEL CAFÉ.	14
3.3 CARACTERISTICAS AGUAS GENERADAS	20
3.4 ENCUESTA E INDICES DESARROLLADOS POR CENICAFE.	26
3.5 CLASIFICACION DE BENEFICIADEROS.....	30
3.6 FINCAS ENCUESTADAS SAN ANDRES- SANTANDER.....	33
3.7 ACTUALES TRATAMIENTOS DE AGUAS RESIDUALES DEL PROCESO DE BENEFICIO	41
3.8 SISTEMA MODULAR DE TRATAMIENTO DE AGUAS (SMTA)	48
3.9 ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO SEGÚN EL AREA PRODUCTIVA.....	54
4. ANALISIS DEL RIESGO EN BENEFICADEROS DE CAFÉ.....	57
5. ENSAYOS A REALIZAR Y EVALUAR.....	61
6. CONCLUSIONES	64
7. RECOMENDACIONES.....	66
BIBLIOGRAFIA.....	67

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Etapas del proceso por vía húmeda.....	20
Figura 2. Composición química del mucilago de café.....	22
Figura 3. Comportamiento del PH en diferentes soluciones de lixiviados.....	25
Figura 4. Encuesta del beneficio FNC.....	27
Figura 5. Valores máximos permisibles para vertimientos- RES 631-2015	34
Figura 6. Parámetros permisibles de vertimientos al suelo- decreto 1594-1984...34	
Figura 7. Distribución de beneficios según encuestas.....	35
Figura 8. Mapa de beneficiaderos presentes en el municipio de San Andrés.....	36
Figura 9. Ubicación de beneficiaderos con DQO mayor a 3000 mg/ L.....	37
Figura 10. Beneficiaderos con DQO mayor a 3000 mg/L.....	38
Figura 11. Distribución de beneficiaderos por veredas de San Andres.....	39
Figura 12. Ubicación de beneficiaderos con DQO menor a 3000 mg/L.....	40
Figura 13. Beneficiaderos con DQO menor a 3000 mg/L.....	41
Figura 14. Tanque tina para fermentado y lavado de café.....	43
Figura 15. Fosa techada para descomposición de pulpa- mucilago- cenicafe.....	44
Figura 16. Humedales artificiales con macrofitas acuáticas- cenicafe.....	44
Figura 17. Módulo belcosub- cenicafe.....	45
Figura 18. Fosa mezcla de pulpa con mucilago-cenicafe.....	47
Figura 19. Modelo ecomill – cenicafe.....	48

Figura 20. Diseño de un sistema modular de tratamiento de agua (smta). Cenicafe.....	50
Figura 21. Preparación de un tanque reactor metano génico-cenicafe.....	53
Figura 22. Línea de producción de beneficio de café.....	57
Figura 23. Separación de las fases del agua miel tratada con sulfato de aluminio- cenicafe.....	62
Figura 24. Precipitación de solidos utilizando jatropha.- cenicafe.....	62
Figura 25. Foto de agua tratada con moringa-cenicafe.....	63

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Índice de manejo del agua-cenicafe.....	28
Tabla 2. Índice de la calidad del agua-cenicafe.....	29
Tabla 3. Calificación de beneficiaderos presentes en San Andres-cenicafe	31
Tabla 4. Propuesta de manejo según áreas en hectares de café.....	55
Tabla 5. Calificación de sucesos.....	58
Tabla 6. Matriz de consecuencias o daños	59
Tabla 7. Matriz de valoración de riesgos.....	60

RESUMEN

TITULO: CARACTERIZACION DEL TIPO DE BENEFICIO UTILIZADO EN LOS SISTEMAS PRODUCTIVOS DE CAFÉ EN EL MUNICIPIO DE SAN ANDRES – SANTANDER*

AUTORES: DANIEL ROLANDO GUTIERREZ CORDOBA**

PALABRAS CLAVES: Beneficio de café, aguas residuales, DQO, SST, tratamiento anaerobio.

DESCRIPCIÓN: En Colombia, el proceso de beneficio se ha hecho tradicionalmente por vía húmeda y este es uno de los factores por los cuales el café de Colombia es de excelente calidad. No obstante, en este proceso, tal y como se hace actualmente, se consumen grandes volúmenes de agua limpia y se contaminan cantidades equivalentes. De acuerdo con el manual cafetero colombiano en el proceso de lavado y clasificación se consumen 20 litros de agua limpia por kilogramo de café pergamino seco y un volumen igual en el despulpado y transporte hidráulico de la pulpa de café en baba.

La producción de grandes volúmenes de aguas residuales en el proceso de beneficio húmedo del café presenta un alto riesgo de impacto ambiental negativo, debido a que éstas transportan una alta carga contaminante en términos de sólidos y demanda Química de Oxígeno-DQO, así como una alta acidez, reflejada en los bajos valores del pH, cuyo vertimiento en las corrientes de agua puede ocasionar serios desequilibrios del ecosistema receptor y, la consiguiente, disminución de su productividad

El crecimiento productivo de la finca cafetera hace que la demanda de agua en el proceso de beneficio aumente proporcionalmente, lo que lleva a buscar alternativas para reducir el volumen y realizar los tratamientos de las aguas residuales generadas.

El mal uso y la falta de alternativas de tratamientos de aguas mieles en el proceso de benéfico de café están contaminado las fuentes hídricas y generando cambios en las propiedades física y químicas en la calidad del agua.

* Trabajo de grado

** Facultad de Ingenierías Físico-Químicas. Escuela de Ingeniería Química. Director. Crisostomo Barajas. Ingeniero Químico

ABSTRACT

TITLE: CHARACTERIZATION OF THE TYPE OF BENEFIT USED IN THE COFFEE PRODUCTION SYSTEMS IN THE MUNICIPALITY OF SAN ANDRÉS – SANTANDER. *

AUTHOR: DANIEL ROLANDO GUTIÉRREZ CÓRDOBA. **

Key words: coffee benefit, wastewater, DQO, SST, anaerobic treatment.

Description: In Colombia, the process of benefit has traditionally been made by humid way; this is one of the factors by which the coffee of Colombia is of excellent quality. However, in this process, as is currently done, large volumes of clean water are consumed and equivalent quantities are contaminated.

According to the Colombian coffee Manual in the washing and grading process, 20 liters of clean water per kilogram of dry parchment coffee and an equal volume in the pulping and hydraulic transport of the coffee pulp in baba are consumed.

The production of large volumes of wastewater in the process of wet coffee benefit, presents a high risk of negative environmental impact, because they carry a high pollutant load in terms of solid and chemical oxygen demand-cod, as well as a high acidity, reflected in the low values of the PH, whose shedding in the water streams can cause serious imbalances of the ecosystem receptor and, consequently, decrease of its productivity.

The productive growth of the coffee farm makes the demand for water in the profit process increase proportionately, which leads to look for alternatives to reduce the volume and carry out the treatments of the wastewater generated. The misuse and lack of alternatives of honey water treatment in the coffee beneficent process are polluted water sources and generating changes in the physical and chemical properties in the quality of the water.

* Bachelor Thesis.

** Facultad de Ingenierías Físico-Químicas. Escuela de Ingeniería Química. Director. Crisóstomo barajas. Ingeniero químico

INTRODUCCION

Los colombianos no podemos olvidar que el café ha sido uno de nuestros productos de exportación más importantes. Su nivel de producción es tan alto que compromete a 590 municipios y los departamentos andinos del país. El área disponible para el cultivo del café es de cerca de 3,6 millones de hectáreas y se cultiva en 970 mil hectáreas, empleando a las familias propietarias de los predios cafeteros, y a miles de recolectores de café, que conforman el grueso de los trabajadores indirectos e indirectos, situación que determina que ésta sea nuestra industria emblemática. El café es el segundo producto básico más valioso del mundo, siendo el petróleo el primero. Existen en el mundo más de 20 millones de productores ubicados en 50 países. El área cultivada se estima en 11 millones de hectáreas dedicadas al cultivo del grano. El país productor más grande es Brasil, con 45,9 millones de sacos producidos en el año 2008 de acuerdo con las estadísticas de la OIC, seguido por Vietnam con 18,5 millones de sacos, Indonesia con 9,35 millones de sacos y Colombia con 14,19 millones. El 30% de las ventas al detal se efectúan a través de una gran cadena de distribución, y existen más de 10 mil tiendas de café institucionalizadas como empresas que difunden el producto a través de cientos de franquicias.

Colombia es el cuarto productor cafetero y principal agricultor de café arabica lavado mundial. Según la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, existen aproximadamente 600 mil fincas dedicadas a cultivar café. En éstas se encuentran los minifundistas, medianos campesinos y los grandes productores. La principal región cafetera colombiana está conformada por Antioquia, Quindío, Risaralda y Caldas. Esos departamentos cuentan con características ideales para cultivar café, porque el grano se cosecha principalmente en zonas templadas a 1.200 metros sobre el nivel del mar. Según la Federación Nacional de Cafeteros, los caficultores colombianos están situados, en todo el país, sobre 3,6 millones de hectáreas; de las cuales 969.500 son destinadas actualmente a cultivar café. Su producción se

ubicó en 14,19 millones de sacos para el año 2017. La recolección cafetera es realizada en los meses de marzo y abril y otros de octubre a diciembre. Además, en Colombia existen 590 municipios cafeteros que albergan más de medio millón de propietarios de fincas productoras; Quindío, Risaralda y Caldas se conocen como el Eje Cafetero y abarcan la mayor parte de las características cafeteras descritas en el país.

Las características agroecológicas de San Andres y su sistema de producción bajo la sombra permiten que el café se haya venido posicionando en un estándar de alta calidad. Estas condiciones de cultivo bajo la sombra permiten que las temperaturas favorezcan el lento desarrollo del fruto, concentrando azúcares y taninos los cuales dan ese aroma y sabor característicos del café santandereano.

El género pertenece a la familia de las Rubiáceas (Rubiaceae), que tiene alrededor de 500 géneros y más de 6000 especies, la mayoría árboles y arbustos. Son principalmente de origen tropical, y de una amplia distribución, a ella pertenecen plantas medicinales como la ipecacuana (*Psychotria ipecacuanha*), o la *Cinchona* spp., de la cual se extrae la quinina.

Taxonómicamente, todas estas plantas se clasifican como del género *Coffea*, y se caracterizan por una hendidura en la parte central de la semilla. Se encuentran desde pequeños arbustos hasta árboles de más de 10 m.; sus hojas, que son simples, opuestas y con estípulas, varían tanto en tamaño como en textura; sus flores son completas (en la misma flor se encuentran todos los órganos) blancas y tubulares; y los frutos, son unas drupas de diferentes formas, colores y tamaños, dentro de las cuales se encuentran la semillas, normalmente dos por fruto¹.

Según N Rodríguez, en el beneficio convencional necesita agua para desarrollar los procesos de despulpado, lavado y transporte, con un consumo global cercano a 40 litros por kilo de café pergamino seco, debido a lo anterior es necesario revisar

¹ Manual cafetero colombiano, Cenicafe, 2013

cual es la huella hídrica de dicho proceso, El interés por la huella hídrica del café se origina en el reconocimiento de que los impactos humanos en los sistemas hídricos pueden estar relacionados, en última instancia, al consumo humano y temas como la escasez o contaminación del agua pueden ser mejor entendidos y gestionados considerando la producción y cadenas de distribución en su totalidad.

El mundo, para poder tomar café, necesita 120 mil millones de m³ de huella hídrica al año para el cultivo. El 2% del uso de agua para cultivos en el planeta va destinado al café. Es entonces en términos de huella hídrica, el producto agrícola más importante que se comercia internacionalmente. El café requiere para llegar a llenar una taza, 140 lt de agua, según M Quintero en la revista huella hídrica en la agricultura colombiana el proceso de beneficio tradicional su HH es 7.642 m³/ton .c.p.s y el beneficio ecológico belcosub su HH es de 2.132m³/ton cps.

El desperdicio de agua en la producción del café ubica a este producto en el primer lugar a nivel mundial en huella hídrica, según los estudios realizados por Hoekstra y Chapagain quienes precisaron el concepto de agua virtual dándole el término de huella hídrica ya que esa agua no la vemos. Siguiendo con estos estudios ellos dicen que el café mueve 79.855.106 m³ de huella hídrica al año, o sea casi 80 mil millones de m³. Eso equivale al 6,32%del volumen del intercambio de huella hídrica en el mundo, después de esto dejando evidenciado todo el impacto en situaciones que ahora están afectando al mundo, como lo son el calentamiento global, escases de agua, y racionamiento de esta.

1. JUSTIFICACION

En estos últimos años llegamos a la crisis del agua, el agua dulce que solo es el 3% del agua del mundo está siendo muy contaminada por todos los sistemas de producción y es cada vez más escasa y difícil de potabilizar.

Esto ha generado preocupación y compromisos en los gobiernos, y en Colombia se han generado varias leyes y decretos que regulan el uso del agua y regulan igualmente la tasa por vertimientos.

Los lixiviados se generan debido a que las mieles al entrar en contacto con la pulpa arrastran los fenoles presentes en éstas; los fenoles al contacto con el aire toman una coloración negra la cual es característica de los lixiviados.

La falta de alternativas para el proceso de beneficio del café y tratamiento de sus residuos a comenzado a repercutir en la calidad del agua y de los suelos del municipio de San Andrés. Según las encuestas realizadas por la Federación Nacional de cafeteros (F. N C) se ha observado que los productores utilizan un volumen mayor a 10 litros de agua por kilo de café pergamino seco, que de ahora en adelante conoceremos con las siglas k.c.p.s para desarrollar el proceso de beneficio, generando a su vez aguas residuales que llegan a las fuentes hídricas sin ningún tipo de tratamiento y depositando altas cantidades de materia orgánica.

Con la elaboración de este trabajo se busca proponer algunas alternativas que ayuden a mitigar el uso irracional del recurso hídrico y dar conocer métodos para el tratamiento de los residuos generados en los subprocesos del beneficio del café, contribuyendo a la conservación de las fuentes hídricas y eliminando la carga contaminante que entrega estos sistemas de beneficio.

2.OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Caracterizar del tipo de beneficio utilizado en los sistemas productivos de café en el municipio de San Andrés- Santander.

2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Calcular los beneficiaderos presentes en el municipio de San Andrés.
- Describir cada uno del tipo de beneficio utilizados en San Andrés.
- Ubicar geográficamente los beneficiaderos presente en San Andrés.
- Identificar el tipo de beneficio que genera menores y mayores impactos ambientales. (DQO y SST).
- Definir las veredas que cuentan con beneficiaderos que cumplen e incumplen con la Resolución 631 del 17 de marzo del 2015
- Identificar los beneficiaderos que incumplen la resolución 631 del 17 de marzo del 2015,
- Descripción de las alternativas de tratamiento para los lixiviados del proceso de beneficio del café.

3. MARCO TEORICO

3.1 DESCRIPCION GEOGRAFICA DE SAN ANDRES

San Andrés está situado al oriente del Departamento de Santander y a su vez de Colombia, ubicado a los 6° 45' 5 latitud Norte y 72° 51' de longitud Oeste. La cabecera municipal está ubicada a 1.610 msnm y la extensión territorial del municipio comprende alturas que van desde los 850 msnm en su parte más baja, hasta los 4.200 msnm. Con una temperatura promedio de 16 °C; su relieve es fuertemente quebrado y escarpado, pertenece a la cuenca hidrográfica del río Chicamocha y está situado al Oriente del Río Guaca sobre la vía que de Bucaramanga (capital del Departamento), conduce a Málaga (capital de la provincia de García Rovira). Ubicado a una distancia de 104 kilómetros aproximadamente de la capital del departamento Bucaramanga y a 50 kilómetros del municipio de Málaga, capital de la provincia de García Rovira.

La actividad económica del municipio está enfocada a cultivos perennes y transitorios; caña panelera, café, cítricos, durazno, entre otros, además en las partes altas se cultiva cebolla, ajo, papa, y cuenta con sistemas pecuarios.

3.2 PROCESO DE BENEFICIO DEL CAFÉ.

Se conocen como café los granos obtenidos de unas plantas perennes tropicales (cafetos), morfológicamente muy variables, los cuales, tostados y molidos, son usados principalmente para preparar y tomar como una infusión.

Los granos de café son las semillas de un fruto llamado popularmente cereza. Estas cerezas están compuestas por una cubierta exterior, el exocarpio, el cual determina el color del fruto; en el interior hay diferentes capas: el mesocarpio, es una goma

rica en azúcares adherida a las semillas que se conoce como mucílago; el endocarpio es una capa amarillenta que cubre cada grano, llamada pergamino; la epidermis, una capa muy delgada conocida como la película plateada; y los granos o semillas, el endosperma, conocidos como el café verde, que son los que tuestan para preparar los diferentes tipos de café.

En el sistema productivo del cultivo de café, la cosecha se realiza manualmente donde los recolectores cosechan el grano maduro que torna un color rojo o amarillo dependiendo de la variedad. Esta cereza o grano de café es llevada al sitio de beneficio donde comienza el proceso de transformación.

En fincas con producciones menores de 300 arrobas de café pergamino seco al año, la café cereza se recibe en la tolva de la despulpadora. En fincas de mayor producción pueden usarse tolvas secas, donde se recibe el café y se transporta por gravedad hasta la despulpadora.

El fruto del café después de la cosecha es perecedero lo cual lleva que se debe realizar el proceso de transformación en las siguientes horas, este proceso se denomina beneficio húmedo del café, el cual está conformado por un área de despulpado, fermentado, lavado y secado hasta convertir el grano en cereza a pergamino seco. La transformación del café cereza en café pergamino se denomina beneficio del café. Existen principalmente dos métodos: beneficio vía húmeda y vía seca. En Colombia, Costa Rica, Guatemala, México, El Salvador y algunos países del centro del Africa como Kenia, se beneficia el café tradicionalmente por vía húmeda. El café colombiano se cataloga como suave lavado, debido a que se obtiene de variedades de la especie *Coffea arábica*, cafés arábigos, y se procesa por vía húmeda en su beneficio. La mayoría del café robusta en el África se procesa por vía seca, aunque un 50% del robusta del Zaire se beneficia por vía húmeda. En el Brasil se procesa café arábica y robusta por el método seco². Los cafés robustos

² ILLY, A.; VIANI, R. (1995). *Espresso Coffee: the chemistry of quality*. London, Academic Press Limited,

procesados por vía húmeda se diferencian del café arábica beneficiado por el método húmedo, en especial por el aroma, el amargo y el cuerpo.

El proceso de beneficio del café es un conjunto de operaciones que transforman el café en cereza a café pergamino seco mediante la separación de las partes del fruto (cereza, mucílago, semilla) y secado de los granos con el fin de conservar su calidad física, organoléptica y sanitaria. Este proceso se divide en cuatro subprocesos: el despulpado y la fermentación, lavado y secado. Las fermentaciones son procesos bioquímicos realizados por levaduras, bacterias y enzimas, que degradan principalmente los azúcares de los sustratos³. El mucílago de café está compuesto esencialmente por agua, azúcares y sustancias pécticas y contiene principalmente levaduras de los géneros *Saccharomyces*, *Torulopsis*, *Candida* y *Rhodotorula*, así como bacterias lácticas *Lactobacillus* y *Streptococcus*, y otras bacterias y hongos⁴. El recuento y tipos de microorganismos en la fermentación del café dependen de los contenidos en la cereza y mucílago y de las condiciones ambientales, como la temperatura y gases, entre otros.

Según resultados de estudios realizados por Cenicafé, el 72% de la carga contaminante generada por el Proceso de Beneficio Húmedo del Café (PBHC), correspondientes a un valor de DQO de 82.080 mg.kg⁻¹ de café cereza (cc), se ocasionan al despulpar y transportar la pulpa con agua, y el 28% restante de la contaminación corresponden a un valor de DQO 31.920 mg.kg⁻¹ de cc, y es ocasionada por las mieles de lavado⁵.

El proceso por vía seca consiste en el secado del grano de café cereza. La cáscara compuesta por la pulpa, el mucílago y el pergamino se retira por medio de una máquina. Para secar el café en cereza se requiere más tiempo, si se compara con

³ PUERTO, G.(2010). *Fundamentos del proceso de fermentación en el beneficio del café*. Chinchiná: CENICAFÉ.

⁴ ARIAS, M. RUIZ C. (2001). *Fermentación alcohólica de mucílago de café con levadura Saccharomyces cerevisiae*. Ciencia y tecnología de alimentos.

⁵ RAMÍREZ, G.(2011). *Disminución del impacto ambiental en la tecnología BECOLSUB, mediante la evaporación de lixiviados*. Manizales: Tesis: Maestría.

el proceso de secado del café por vía húmeda. El color del café almendra beneficiado por vía seca es amarillo o café, en comparación con el grano de café procesado vía húmeda que es verde⁶

El proceso por vía húmeda comprende las siguientes etapas: recolección del café en cereza, despulpado, remoción del mucílago, lavado y secado (Figura 1) hasta obtener café pergamino seco, que luego se trilla para producir café almendra (green coffee) para exportación. El proceso vía húmeda de café maduro sano y el control de las condiciones y equipos en cada etapa del beneficio permite obtener la mejor calidad de café. El proceso por vía seca consiste en el secado del grano de café cereza. La cáscara compuesta por la pulpa, el mucílago y el pergamino se retira por medio de una máquina. Para secar el café en cereza se requiere más tiempo, si se compara con el proceso de secado del café por vía húmeda. El color del café almendra beneficiado por vía seca es amarillo o café, en comparación con el grano de café procesado vía húmeda que es verde.⁷

Despulpado: Consiste en retirar la pulpa de la cereza por medio de presión que ejerce la camisa de la despulpadora y debe iniciarse inmediatamente después de que se cosechan los frutos. El retraso por más de 6 horas afecta la calidad de la bebida y puede originar el defecto llamado “fermento”. El café maduro contiene mucílago, baba o “miel”, que permite el despulpado con solo presionar la cereza⁸, en algunos beneficiaderos se realiza una práctica de selección después del despulpado el cual denominamos zaranda. Son clasificadores de los granos despulpados que se ubican después de la despulpadora. También pueden utilizarse para seleccionar el café pergamino seco. Pueden ser planas o cilíndricas.

Fermentación: Por siglos, la humanidad ha usado el proceso de fermentación para dar sabor, aroma, modificar la textura y conservar la calidad de los alimentos y

⁶ FEDERACION NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA. (1987). *Tecnología del cultivo del café*. Manizales, Comité Departamental de Cafeteros de Caldas: Cenicafé.

⁷ PUERTO, G. (1993). *El beneficio y la calidad del café*. Chinchiná: Cenicafé.

⁸ Cartilla 20 cenicafe.

bebidas. La fermentación también influye en la calidad del café. Mediante la tecnología de la fermentación controlada del café se pueden producir bebidas con aromas y sabores especiales, dulces, cítricos, frutales y tostados, que agregan valor y consistencia a la calidad del producto⁹. Mediante la fermentación ocurren diferentes procesos bioquímicos en los cuales las enzimas producidas por las levaduras y bacterias presentes en el mismo mucílago fermentan y degradan sus azúcares, lípidos, proteínas y ácidos, y los convierten en alcoholes, ácidos, ésteres y cetonas. Estas sustancias formadas cambian las características de olor, color, pH y composición del sustrato (el mucílago) y también de los granos de café. (Puerto, G)

Para la fermentación natural, los granos de café despulpados (café en baba) se depositan en tanques durante 12 a 18 horas. Durante el proceso, actúan enzimas, bacterias lácticas y levaduras del mucílago que transforman los compuestos pécticos y azúcares que lo componen, en ácidos y alcoholes, que son luego retirados en el lavado¹⁰. Dentro del proceso de fermentación existen dos métodos:

Fermentaciones sólidas. El café despulpado se deposita en el fermentador, no se adiciona agua. El desagüe del fermentador se mantiene cerrado.

Fermentaciones sumergidas. El café en baba se deposita en el fermentador y luego se agrega agua, en cierta cantidad, con relación a la masa de café a fermentar, de esta forma cambian la composición química y microbiológica del sustrato. Los sistemas de fermentación sumergidos son más homogéneos que los de sustrato sólido. Para el café se recomiendan fermentaciones sumergidas al 30%.

⁹ PUERTO, G. (2015). *Fermentación controlada del café, tecnología para agregar valor a la calidad*. Chinchina: Cenicafé.

¹⁰ PUERTA, Q. QUICENO, O. ZULUAGA, V.(1988). *La calidad del café verde: Composición, proceso y análisis*. Chinchiná: Cenicafé.

Se taponan el desagüe del fermentador y se adicionan 30 L de agua limpia por cada 100 kg de café baba¹¹.

Lavado: El lavado se efectúa con el fin de eliminar del grano de café los productos de la fermentación que ocasionan sabor agrio a la bebida de café, si no se retiran rápidamente. Se utiliza agua limpia para evitar la contaminación y el defecto sucio en la bebida de café.

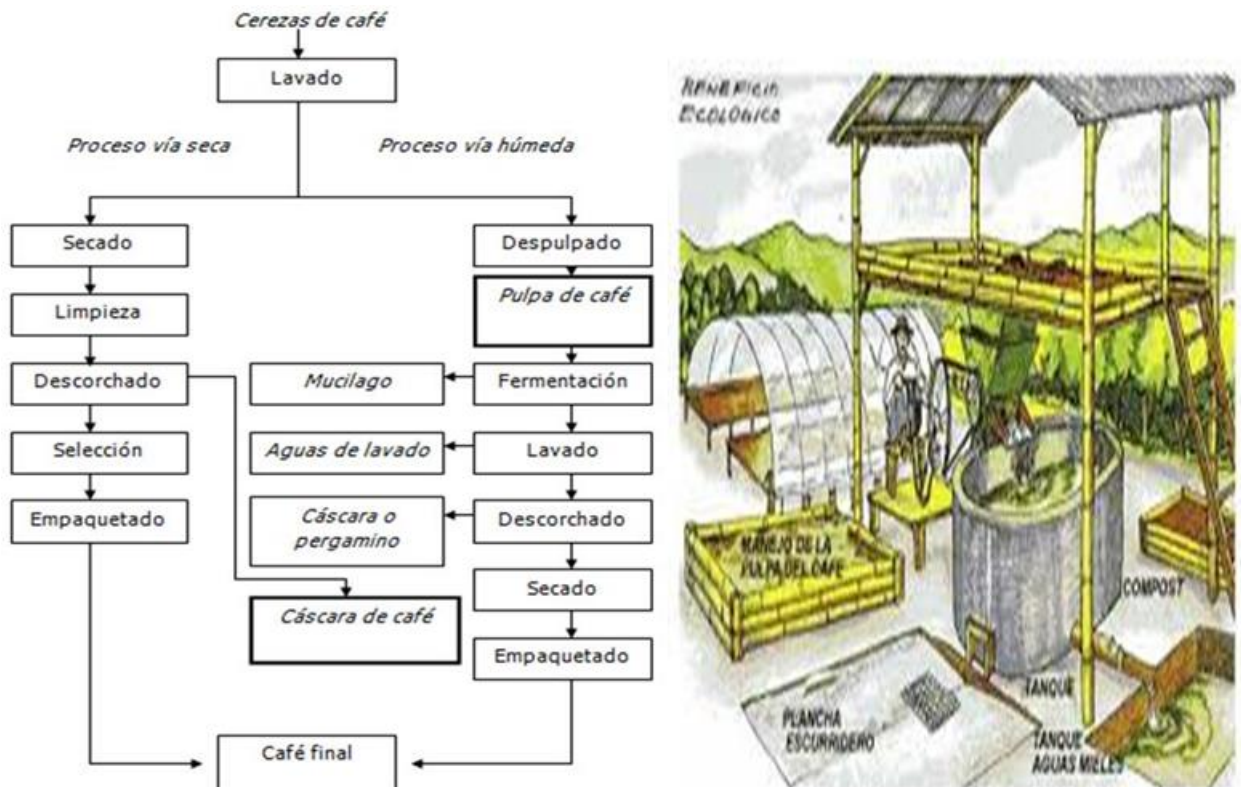
En este proceso se debe realizar cuatro enjuagues para asegurar que el grano de café quede limpio y sin residuos de mucilago. En el primer enjuague se adiciona agua agitando fuertemente hasta que la masa de café afloje el mucilago, llevar el nivel del agua que supere la masa de café en 5 cm, después se retiran los granos defectuosos que flotan en el tanque para luego descargar el agua. El segundo y tercer enjuague se adiciona agua limpia con el mismo objetivo del anterior, eliminar granos defectuosos y remover el mucilago de café. Luego se realiza la descarga. El cuarto enjuague se realiza utilizando agua limpia donde el nivel con respecto a la masa de café supera los 5 cm, y se realiza la descarga. Cabe destacar que el centro de investigación recomienda que se realice sistemas modulares de tratamiento de aguas. Aunque estos tipos de beneficiaderos no acatan las recomendaciones.

Secado: El secado es un proceso de conservación de la calidad microbiológica y química del café durante su almacenamiento y transporte. El secado disminuye el contenido y la actividad del agua en el café. El punto de equilibrio corresponde a 12% de contenido de humedad; para café con humedad mayor a 13% (actividad de agua superior a 0,67) proliferan hongos que deterioran el producto¹².

¹¹ PUERTA, Q.(2001). *Factores, procesos y controles en la fermentación del café*. Chinchina: Cenicafe.

¹² REYMOND, D.(1982). *Utilisation de critères analytiques pour définir la qualité du café boisson*. Colloque Scientifique International sur le Café: Salvador.

Figura 1. Etapas del proceso por vía húmeda- cenicafe.



3.3 CARACTERISTICAS AGUAS GENERADAS

La producción de grandes volúmenes de aguas residuales en el proceso de beneficio húmedo del café presenta un alto riesgo de impacto ambiental negativo, debido a que éstas transportan una alta carga contaminante en términos de sólidos y Demanda Química de Oxígeno-DQO, así como una alta acidez, reflejada en los bajos valores del pH, cuyo vertimiento en las corrientes de agua puede ocasionar serios desequilibrios del ecosistema receptor y, la consiguiente, disminución de su productividad¹³. Es así, como la industria cafetera, de gran importancia y significado

¹³ ARCILA, O. (1979). *Perjuicios causados por los residuos del beneficio del café*. Chinchiná: Cenicafe.

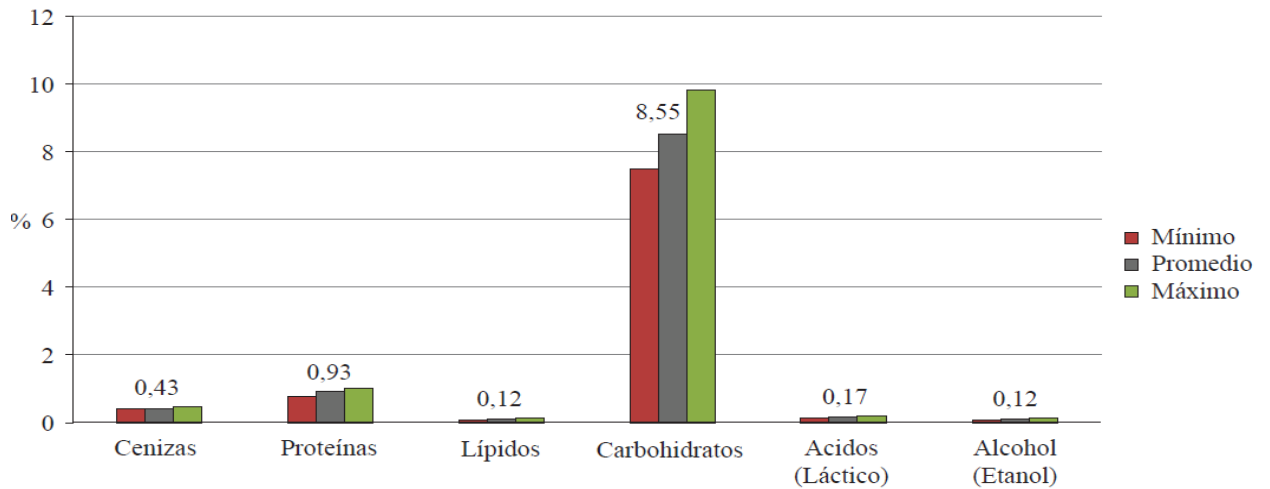
en la vida socioeconómica del país, se convierte en una de las más contaminantes, responsable del 55% de la huella hídrica gris agrícola en Colombia.

El mucílago y las mieles fermentadas de café se generan en forma discontinua, en cantidades que dependen de la producción de café, en cada época y zona cafetera colombiana. Así mismo, las cantidades de mucílago en los frutos y granos de café varían con la madurez del fruto, según Puerto los frutos maduros y frescos contienen en promedio 10,4% (entre 1,1% y 27,3%) en peso de mucílago y los granos despulpados un 18,8%. En consecuencia, por cada tonelada de café cereza que se procese en la finca pueden obtenerse entre 80 y 140 kilogramos de mucílago.¹⁴

En investigaciones de Cenicafe, Puerto afirma que el mucilago en su composición contiene el 89,1% de agua y el restante en materia seca. La materia seca representó del 9,0% al 14,9% del peso del mucílago de café fresco, conformada principalmente por carbohidratos, con un valor promedio de 81,4%, seguido de los compuestos nitrogenados con 8,7% y las cenizas con 4,04% en base seca (b.s.) Figura 2, los valores de materia seca disminuyeron debido a la degradación de materia orgánica y a las emisiones de dióxidos de carbono.

¹⁴ PUERTO, G. (2011). *Composición química del mucilago de café en el tiempo de fermentación y refrigeración*. Chinchina:Cenicafe.

Figura 2. Composición Química del Mucilago de café. Fuente Cenicafe.



Según Puerto, la materia seca del mucilago representó del 9,0% al 14,9% del peso del mucilago de café fresco, conformada principalmente por carbohidratos, con un valor promedio de 81,4%, seguido de los compuestos nitrogenados con 8,7% y las cenizas con 4,04% en base seca (b.s.).

En condiciones de laboratorio el mucilago de café en descomposición aumenta significativamente el contenido de agua, según Puerto, a las 44 horas después de extraído el mucilago ocurre un proceso de oxidación del etanol y producción de agua debido a la respiración celular de los microorganismos¹⁵

Los lípidos representaron en promedio el 0,12% del peso del mucilago fresco (0,86% a 1,45% en base seca). A temperatura ambiente los lípidos del mucilago de café se degradaron durante la fermentación, con un decrecimiento en función exponencial de la concentración de lípidos a través del tiempo. El mucilago de café presentó en promedio 1,60% de K, 0,21% de Ca, 0,10% de P, 0,08% de Mg, 0,040% de Fe, 0,007% de Zn, 0,004% de Mn y 0,002% de Cu, en base seca según Puerto.

¹⁵ PUERTO, G. (2010). *Fundamentos del proceso de fermentación en el beneficio del café*. Chinchiná: Cenicafe.

Las proteínas conformaron el 0,93% del peso húmedo del mucílago de café maduro (6,37% a 9,52%, en base seca).

Los Carbohidratos constituyeron del 7,50% a 9,82% del peso del mucílago fresco, que correspondió del 82,7% al 83,7% de la materia seca. Los carbohidratos del mucilago de cafe fresco estuvieron conformados en promedio por 47,9% de azúcares reductores, 29,8% de azúcares no reductores como la sacarosa, 7,3% de fibra y cerca de 15,0% de sustancias no fibrosas, como las sustancias pécticas; no se encontró almidón en el mucílago de café.

Durante las fermentaciones, la glucosa y los monosacáridos son consumidos y fermentados por las levaduras y bacterias, los disacáridos son degradados en monosacáridos y varios polisacáridos son hidrolizados. Sin embargo, aún después de 74 horas de proceso, no todos los azúcares del mucílago de café se fermentaron, ni todas las sustancias pécticas se degradaron. Los Azúcares totales constituyeron del 6,15% al 7,40% del peso húmedo del mucílago (48,01% a 70,48% en base seca) y estuvieron conformados por 63% de azúcares reductores y 37% de azúcares no reductores. En la fermentación, los azúcares reductores del mucílago de café son oxidados por las levaduras y bacterias lácticas para producir etanol, ácido láctico y otros compuestos. De otra parte, los azúcares no reductores son degradados primero por hidrólisis y luego por fermentación de los azúcares reductores obtenidos. Así, la sacarosa se hidroliza en el medio ácido de la fermentación, se invierte y forma glucosa y fructosa que son fermentables. Las sustancias pécticas conformaron del 0,57% al 2,02% del peso del mucílago fresco (5,39% a 17,45% en base seca) (Puerto). En el mucílago de café se han reportado pectinasas producidas por bacterias *Pseudomonas* y *Xanthomonas campestris* y por *Erwinia herbicola* y *Klebsiella pneumoniae* y en la pulpa de café por *Bacillus*¹⁶, Así mismo, varias levaduras inclusive *Saccharomyces cerevisiae*, producen poligalacturonasas, Estas enzimas tienen actividad óptima a pH entre 3,5 y 4,5.

¹⁶ CASTELEIN, J. PILNIK, W. (1976). *The properties of the pectate-lyase produced by Erwinia dissolvens, a coffee fermenting organism*. Lebensmittel:wissenschaft und technologie.

Acidez total. Es la medida del contenido de las sustancias ácidas presentes en el mucílago de café, incluye los ácidos volátiles como el acético, otros ácidos como el málico, láctico, cítrico, succínico y otros compuestos.¹⁷

Alcohol. El promedio del contenido de etanol en el mucílago fresco fue de 0,12% p/p. La concentración de alcohol aumentó de forma exponencial durante la fermentación a temperatura ambiente y alcanzó valores promedio de 0,46% a las 74 horas. (Puerto)

Aporte calórico. Las calorías de 100 g de mucílago de café fresco variaron entre 34,9 y 45,6 que se explican por el alto contenido de humedad de este material y el bajo contenido de lípidos. Por consiguiente, el mucílago de café no constituye una buena fuente energética como alimento. (Puerto)

Según resultados de estudios realizados por Cenicafé, el 72% de la carga contaminante generada por el proceso de beneficio húmedo del café (PBHC), correspondientes a un valor de DQO de 82.080 mg.kg⁻¹ de café cereza (cc), se ocasionan al despulpar y transportar la pulpa con agua, y el 28% restante de la contaminación corresponden a un valor de DQO 31.920 mg.kg⁻¹ de cc, y es ocasionada por las mieles de lavado.

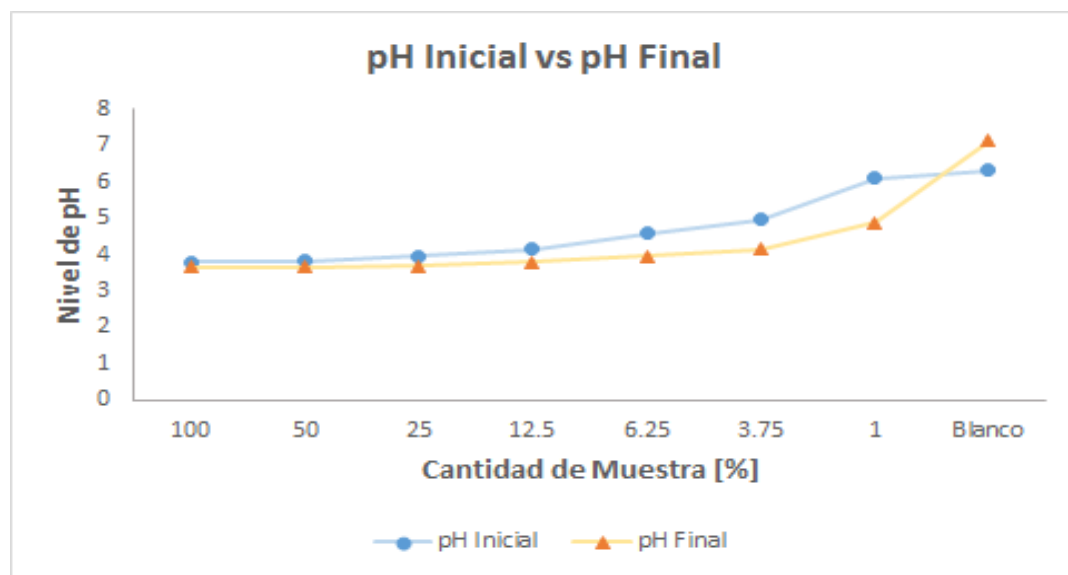
En los ensayos de toxicidad realizados en la universidad industrial de Santander durante el desarrollo de la especialización se encontró que el pH es 6.1 con tendencia a disminuir los valores como se observa en la figura 3. En este ensayo se utilizaron microcrustáceo *Daphnia Pulex* y se diluyó la muestra en diferentes concentraciones. Luego de inocular las *Daphnias* en cada ensayo, se pudo observar que en las disoluciones que contenían más del 12.5% de la muestra, no se podría hacer una lectura adecuada de los resultados, debido a la turbiedad. Las pruebas presentaban un olor fuerte, característico del proceso de fermentación de los productos agrícolas, el cual aumentó significativamente pasadas las 12 horas,

¹⁷LÓPEZ, G. BAUTISTA, R. MORENO, G. DENTAN, E. (1989). *Factors related to the formation of "overfermented coffee beans" during the wet processing method and storage of coffee*. París: ASIC.

cuando se procedió a conocer los resultados encontrando la muerte de las Daphnia Pulex.

En los estudios desarrollados en Cenicafe, Matk evaluo los efluentes de los SMTA en el campo, encontró en términos de DQO, una concentración efectiva de carga orgánica a la cual se muere el 50% de las algas (CE_{50}), de 890 ppm, para el alga *Chlorella vulgaris*, una concentración letal a la cual se muere el 50% dde los individuos (CL_{50}), de 700 ppm, para el microcrustaceo *Daphnia pulex*, y de 490 ppm para el pez *Lebistes reticulatus*, siendo este el indicador más sensible¹⁸

Figura 3. comportamiento del pH en diferentes soluciones de lixiviados.





¹⁸ MATUK, C. (1997). *Impacto biológico de los afluentes del beneficio húmedo del café*. Chinchina: Cenicafe.

3.4 ENCUESTA E INDICES DESARROLLADOS POR CENICAFE.

Para el desarrollo de esta investigación la Federación nacional de cafeteros facilitó una encuesta que se realiza en cada sistema productivo. Figura 4, en esta se indaga como es el proceso de rebibo, despulpado y lavado.

Figura 4. Encuesta de beneficio- FNC

		ENCUESTA DE BENEFICIO FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS Gerencia Técnica - Sistema de Información Cafetero - SICA		
		Código SICA:		
Operación	Marque X	Descripción		
Recibo	Cantidad Agua Utilizada			
	<input type="checkbox"/>	Más de 4,7 L de agua por 1 kg cps		
	<input type="checkbox"/>	4,7 L de agua por 1 kg cps		
	<input type="checkbox"/>	Menor a 4,7 L de agua por 1 kg cps		
	<input type="checkbox"/>	Tolva Seca o tolva húmeda con consumo menor a 2 L de agua por 1kg cps.		
	<input type="checkbox"/>	Sin Tolva		
Despulpado	Despulpado			
	<input type="checkbox"/>	Despulpado con Agua		
	<input type="checkbox"/>	Despulpado sin Agua		
	Transporte			
	<input type="checkbox"/>	Transporte con Agua		
	<input type="checkbox"/>	Transporte sin Agua		
	Fosa			
<input type="checkbox"/>	Sin fosa o la tiene sin techo			
<input type="checkbox"/>	Fosa techada y descomposición de la pulpa			
Lavado	Cantidad Agua Utilizada			
	<input type="checkbox"/>	Menor a 0.5 L de Agua por 1 kg de cps		
	<input type="checkbox"/>	Entre 0.5 y 3 L de Agua por 1 kg de cps		
	<input type="checkbox"/>	Entre 3 y 5 L de Agua por 1 kg de cps		
	<input type="checkbox"/>	Mas de 5 L de Agua por 1 kg de cps		
	Tratamiento			
	<input type="checkbox"/>	Sin tratamiento a las aguas residuales generadas		
	<input type="checkbox"/>	Tratamiento a las aguas residuales generadas		
	<input type="checkbox"/>	Tratamiento de aguas menor al 20%		
	<input type="checkbox"/>	Tratamiento de aguas mayor del 20% y menor del 50%		
	<input type="checkbox"/>	Tratamiento de aguas mayor 50 y menor del 80%		
	<input type="checkbox"/>	Tratamiento de aguas mayor 80% y menor del 100%		
<input type="checkbox"/>	Tratamiento completo de aguas (No hay vertimientos de ningún tipo)			
Observaciones:				

De la base de datos aportada por la Federación Nacional de Cafeteros (F.N.C) se toma una muestra de 77 beneficiaderos, la selección se hace completamente al

azar. La calificación de los tipos de beneficio la aporta el centro de investigación Cenicafe en esta tiene en cuenta las respuestas de cada encuesta.

En la tabla 1 se hace una ponderación del índice del manejo del agua según cada práctica que se desarrolla en el proceso de beneficio. Según cenicafe da los valores de ponderación de acuerdo al uso del agua en cada práctica y tecnología aplicada.

Tabla 1. Índice del manejo del agua-Cenicafe.

ETAPA DE BENEFICIO	DISPOSITIVO/PRACTICA	PONDERACION	VALOR MAXIMO ETAPA
RECIBO	TOLVA SECA	0,125	0,125
	SEPARADOR HIDRAULICO DE TOLVA Y TORNILLO SIN FIN	0,124	
	TANQUE SIFON SIN RECIRCULACION	0,008	
	TANQUE SIFON SIN RECIRCULACION	0,075	
	BOMBA SUMERGIBLE	0,075	
DESPULPADO	CON AGUA	0	0,125
	SIN AGUA	0,125	
TRANSPORTE DE PULPA	CON AGUA	0	0,125
	SIN AGUA	0,125	
TRANSPORTE CAFÉ DESPULPADO	CON AGUA	0	0,125
	SIN AGUA	0,125	
LAVADO	LAVADOR MECANICO TECNOLOGIA ECOMIL	0,49	0,5
	OTROS LAVADORES	0,433- 0,445	
	DESMUCILAGINADOR DESLIM	0,479	
	OTROS DESMUCILAGINADORES	0,418-0,463	
	TECNICA ENJUAGUE EN TANQUE	0,375-0,400	
	CANAL SEMISUMERGIDO	0,319	
	BOMBA SUMERGIBLE	0,306	

	CANAL DE CORRETEO	0	
TOTAL DEL INDICADOR			100

En la tabla 2 Cenicafe da una ponderacion según la parte del fruto que interviene en cada dispositivo y practica del proceso de beneficio.

Tabla 2. Índice de la calidad del agua- Cenicafe.

PARTE DEL FRUTO RESPONSABLE DE LA CONTAMINACION	ETAPA DEL CULTIVO	DISPOSITIVO / PRACTICA	PONDERACION	VALOR MAXIMO ETAPA
PULPA PONDERACION 0,74	RECIBO	TOLVA SECA	0,02	0,02
		SEPARADOR HIGRAULICO DE TOLVA Y TORNILLO SIN FIN	0,02	
		TANQUE SIFON SIN RECIRCULACION	0,001	
		TANQUE SIFON CON RECIRCULACION	0,012	
		BOMBA SUMERGIBLE	0,012	
	DESPULPADO	CON AGUA	0	0,15
		SIN AGUA	0,15	
	TRANSPORTE PULPA	CON AGUA	0	0,15
		SIN AGUA	0,15	
	ALMACENAMIENTO PULPA	SIN TECHO	0	0,15
		CON TECHO	0,15	
	DESCOMPOSICION DE LA PULPA	SIN TECHO	0	0,15
		CON TECHO	0,15	
	RECOLECCION Y TRATAMIENTO DE DRENADPOS	NO	0	0,12
SI		0,12		
MUCILAGO PONDERACION 0,26	LAVADO	SISTEMA DE TRATAMIENTO FISICO	0,05	0,26
		ADICION DE MUCILAGO A LA PULPA, SIN RECIRCULACION DE LIXIVIADOS O ADICION DE LAS AGUAS PROVENIENTES DE LOS DOS PRIMEROS ENJUAGUES DEL LAVADO DEL CAFÉ A LA PULPA, SIN RECIRCULACION DE LIXIVIADOS.	0,1	

		RECIRCULACION O REUSO DE LIXIVIADOS PROVENIENTES DE LA MEZCLA PULPA MUCILAGO, PULPA ENJUAGUES HASTA AGOTAMIENTO DE ESTOS Y MANEJO DEL TERCER Y CUARTO ENJUAGUE DEL TANQUE DE LAVADO EN SISTEMA DE TRATAMIENTO CON POSTERIOR REUSO.	0,16	
		SISTEMA DE TRATAMIENTO BIOLOGICO O FISICO QUIMICO O ADICION DE MIELES DE LAVADORES A LA PULPA SIN RECIRCULACION DE LIXIVIADOS	0,2	
		REUSO DEL AGUA TRATADA. RECIRCULACION O REUSO DE LIXIVIADOS DE LA ADICION DE MIELES DE LAVADORES A LA PULPA HASTA AGOTAMIENTO	0,060	
		UTILIZACION DE TODO EL MUCILAGO EN ALIMENTACION ANIMAL O INCORPORACION DE TODAS LAS MIELES A LA PULPA O REUSO DE TODAS LAS AGUAS RESIDUALES SIN VERTIMIENTOS.	0,26	
TOTAL, DEL INDICADOR				100

3.5 CLASIFICACION DE BENEFICIADEROS

Para realizar la clasificacion del tipo de beneficiadero se tiene en cuenta las encuestas realizadas por la F.N.C durante el año 2017, estas encuestas las realizan los extensionistas a cada unidad productiva que visitan durante el año con programacion anticipada. En la tabla 3 se muestran el tipo de beneficiadero, operación, características, evaluación de DQO y SST.

Tabla 3. Clasificación de beneficiaderos presentes en San Andrés.- Cenicafé

TIPO DE BENEFICIADERO	OPERACIÓN	CARACTERÍSTICAS	DBO	SST	OBSERVACIONES
			Kg/@cps		
ECOLOGICO 1	RECIBO	TOLVA SECA O TOLVA HUMEDA CON CONSUMO MENOR A 2 L DE AGUA POR Kg DE CPS.	1,39	0,21	CONSUMO DE AGUA MENOR A 10 L/kg cps CON MANEJO DE SUBPRODUCTOS (PULPA).
	DESPULPADO	DESPULPADO SIN AGUA			
		TRANSPORTE DE PULPA SIN AGUA			
		FOSA TECHADA Y DESCOMPOSICION DE LA PULPA			
LAVADO	MENOS DE 5 L DE AGUA/ kg cps, LAVADO EN TANQUE CON LA TECNICA DE LOS CUATRO ENJUAGUES				
	SIN TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES GENERADAS.				
ECOLOGICO 3	RECIBO	IGUAL AL BENEFICIO ECOLOGICO 1	1,03	0,12	CONSUMO DE AGUA MENOR A 10 L/kg cps CON MANEJO DE SUBPRODUCTOS (PULPA E INSOLUBLES DE MUCILAGO)
	DESPULPADO	IGUAL AL BENEFICIO ECOLOGICO 1			
	LAVADO	MENOS DE 3 L DE AGUA/ kg cps ej: DESMUCILAGINADORES Y LAVADORES MECANICOS			
		REMOJO DE LA PULPA CON EL MUCILAGO O CON LAS AGUAS MIELES CONCENTRADAS			
ECOLOGICO 4	RECIBO	IGUAL AL BENEFICIO ECOLOGICO 1	0,67	0,03	CONSUMO DE AGUAS MENOR A 10 L /kg cps CON MANEJO DE SUBPRODUCTOS (PULPA E INSOLUBLE DE MUCILAGO) Y REUSO O TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES GENERADAS
	DESPULPADO	IGUAL AL BENEFICIO ECOLOGICO 1			
	LAVADO	MENOS DE 5 L DE AGUA/ kg cps			
		REUSO O TRATAMIENTO A LAS AGUAS RESIDUALES GENERADAS (AGUAS MIELES Y LIXIVIADOS)			
ECOLOGICO 5	RECIBO	IGUAL AL BENEFICIO ECOLOGICO 1	0,67	0,03	CONSUMO DE AGUA MENOR A 10 L /kg cps CON

	DESPULPADO	IGUAL AL BENEFICIO ECOLOGICO 1			MANEJO DE SUBPRODUCTOS (PULPA E INSOLUBLES DE MUCILAGO Y REUSO O TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES GENERADAS)
	LAVADO	MENOS DE 3 L/kg cps REUSO O TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES GENERADAS (AGUAS MILES Y LIXIVIADOS)			
EN TRANSICION CON REDUCCION DE AGUA	RECIBO	MENOR A 4.7 L DE AGUA/ kg cps ej: SEPARADOR HIDRAULICO DE TOLVA Y TORNILLO SIN FIN, TANQUE SIFON CON RECIRCULACION, TOLVA SECA.	3,58	3,47	CONSUMO DE AGUA, MENOR A 10 L /kg cps. SIN MANEJO DE SUBPRODUCTOS
	DESPULPADO	DESPULPADO CON AGUA			
		TRANSPORTE DE PULPA CON AGUA			
		SIN FOSA O LA TIENE SIN TECHO			
	LAVADO	MENOS DE 3 L /kg cps - DESMUCILAGINADOR, LAVADORES MECANICOS			
SIN TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES GENERADAS.					
EN TRANSICION CON ALTA REDUCCION DE AGUA	RECIBO	SIN TOLVA	5,58	3,47	SE REALIZA EL RECIBO Y EL TRANSPORTE DEL CAFÉ SIN AGUA, UTILIZA ENTRE 3 Y 5 LITROS DE AGUA /Kg cps. NO REALIZA NINGUN TIPO DE TRATAMIENTO DE AGUAS MIELES GENERADAS
	DESPULPADO	SIN AGUA			
		TRANSPORTE SIN AGUA			
		SIN FOSA O LA TIENE SIN TECHO			
	LAVADO	LA CANTIDAD DE AGUA UTILIZADA ES ENTRE 3 Y 5 L /kg cps.			
SIN TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES GENERADAS.					
EN TRANSICION CON REDUCCION DE AGUA Y CONTAMINANTE	RECIBO	SIN AGUA	2,87	0,7	SE REALIZA EL RECIBO DEL CAFÉ SIN AGUA, SE DESPULPA SIN AGUA, TIENE FOSA TECHADA UTILIZA MAS DE 5 L DE AGUA / kg cps, REALIZA UN REUSO DE LOS DOS PRIMEROS
	DESPULPADO	SIN AGUA			
		TRANSPORTE SIN AGUA			
		FOSA TECHADA Y DESCOMPOSICION DE PULPA			
	LAVADO	MAS DE 5 L DE AGUA /Kg de c.p.s			

		TRATAMIENTO DE MILES MAYOR AL 20% Y MENOR AL 50%, REUSO DE LOS DOS PRIMEROS ENJUAGUES SOBRE LA PULPA, DESNATADORES CON FILTROS ANAEROBICOS, MANEJO DE LIXIVIADOS.			ENJUAGUES SOBRE LA PULPA DE CAFÉ.
--	--	---	--	--	-----------------------------------

3.6 FINCAS ENCUESTADAS SAN ANDRES- SANTANDER

La encuesta fue realizada por la F. N. C. esta encuesta se desarrollo con el objetivo de identificar el estado de los beneficiaderos en los cuales se procesa el café Colombiano. Tambien tener una idea del como se encuentra los sistemas de tratamiento de aguas residuales y poder evitar sanciones a los productores por parte de las corporaciones autonomas regionales.

En San Andres cuenta 855 sistemas productivos de los cuales el 50% ya estan encuestados y se tiene la caracterizacion de cada beneficiadero. Para el ensayo la Federtacion Nacional de Cafeteros aporto una muestra de 76 encuestas las cuales nos permiten dar una base de la caracterizacion en cuestiones de beneficio. En la figura 7 observamos que la mayor cantidad de beneficiaderos se encuentran en una clasificacion de transicion a cambios.

En la resolucion 631 del 07 de Marzo del 2015 expedida por el Ministerio de Ambiente y desarrollo sostenible, por la cual se establece los paramentros y valores limites maximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de agua superficiales. Figura 5.

Figura 5. Valores máximos permisibles para vertimientos- Res 631-2015 (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015)

PARÁMETRO	TIPO DE USUARIO	
	Existente	Nuevo
pH	5 a 9 Unidades	5 a 9 Unidades
Temperatura	< 40 °C	< 40 °C
Grasas y Aceites	Remoción > 80% en carga	Remoción > 80% en carga
solidos suspendidos	Remoción > 50% en carga	Remoción > 80% en carga

En el decreto 1594 de 1984 expedido por la entidad encargada del manejo y administración del recurso (EMAR) establece los parametros de vertimientos de aguas al suelo. Figura 6.

Figura 6. Parámetros permisibles de vertimientos al suelo-Decreto 1594-1984.

Parámetro	Tipo de Usuario	
	Existente	Nuevo
pH	5 a 9 unidades	5 a 9 unidades
Temperatura	< 40°C	< 40°C
Material Flotante	Ausente	Ausente
Grasas y Aceites	Remoción > 80% en carga	Remoción > 80% en carga
Sólidos Suspendidos	Remoción > 50% en carga	Remoción > 80% en carga
DBO₅ Doméstica	Remoción > 30% en carga	Remoción > 80% en carga
DBO₅ Industrial	Remoción > 20% en carga	Remoción > 80% en carga

Con la informacion prestada por la F. N . C se realizo la tabulacion para identificar cuantitativamente que beneficiaderos encontramos en el municipio de San Andres, predominando aquellos que se encuentran en transicion a un cambio en los mismos

con el 82% del total . Aquellos que son calificados ecologicos representan el 18 % del total.Figura 7.

Figura 7. Distribución de beneficios según encuestas

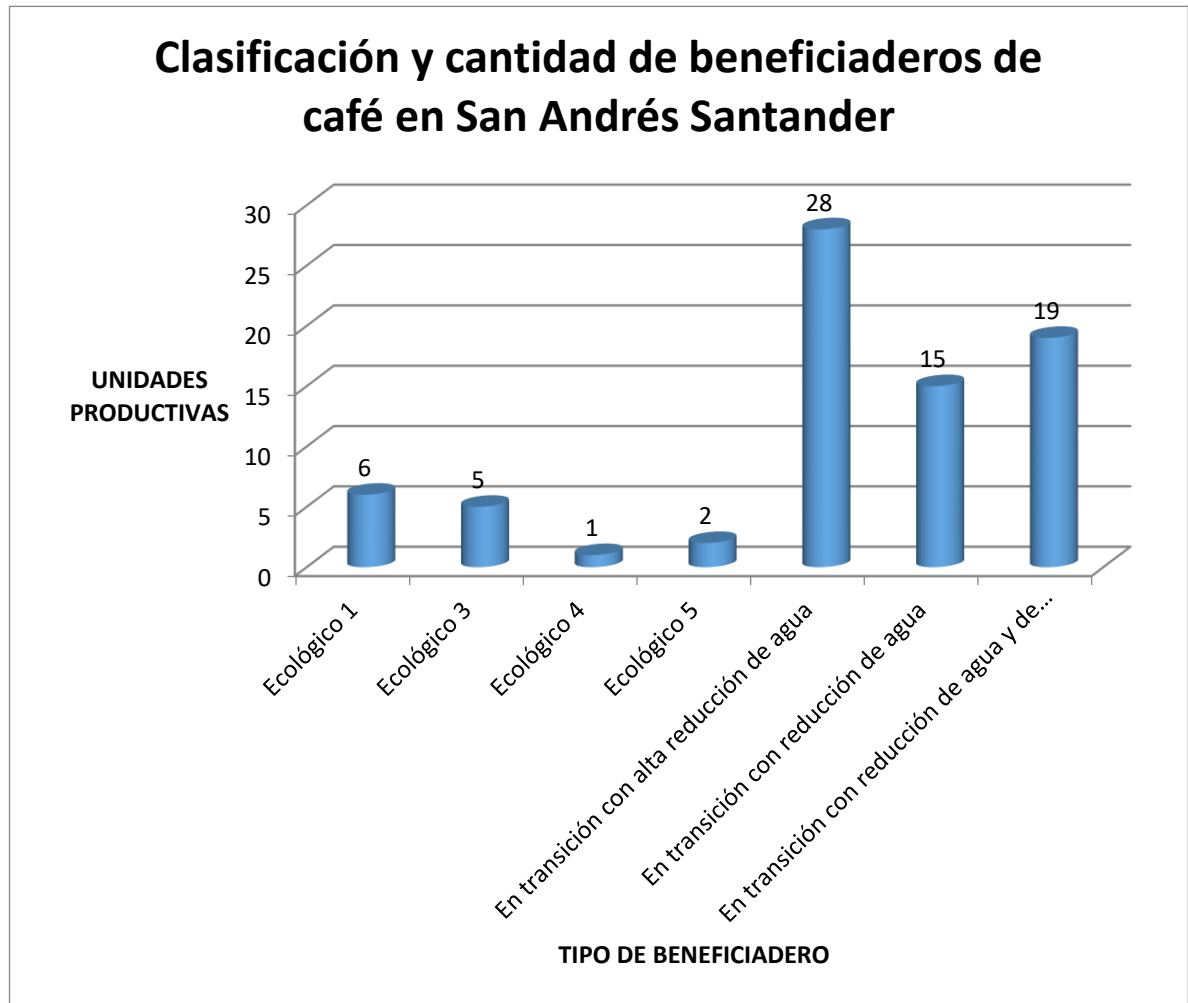
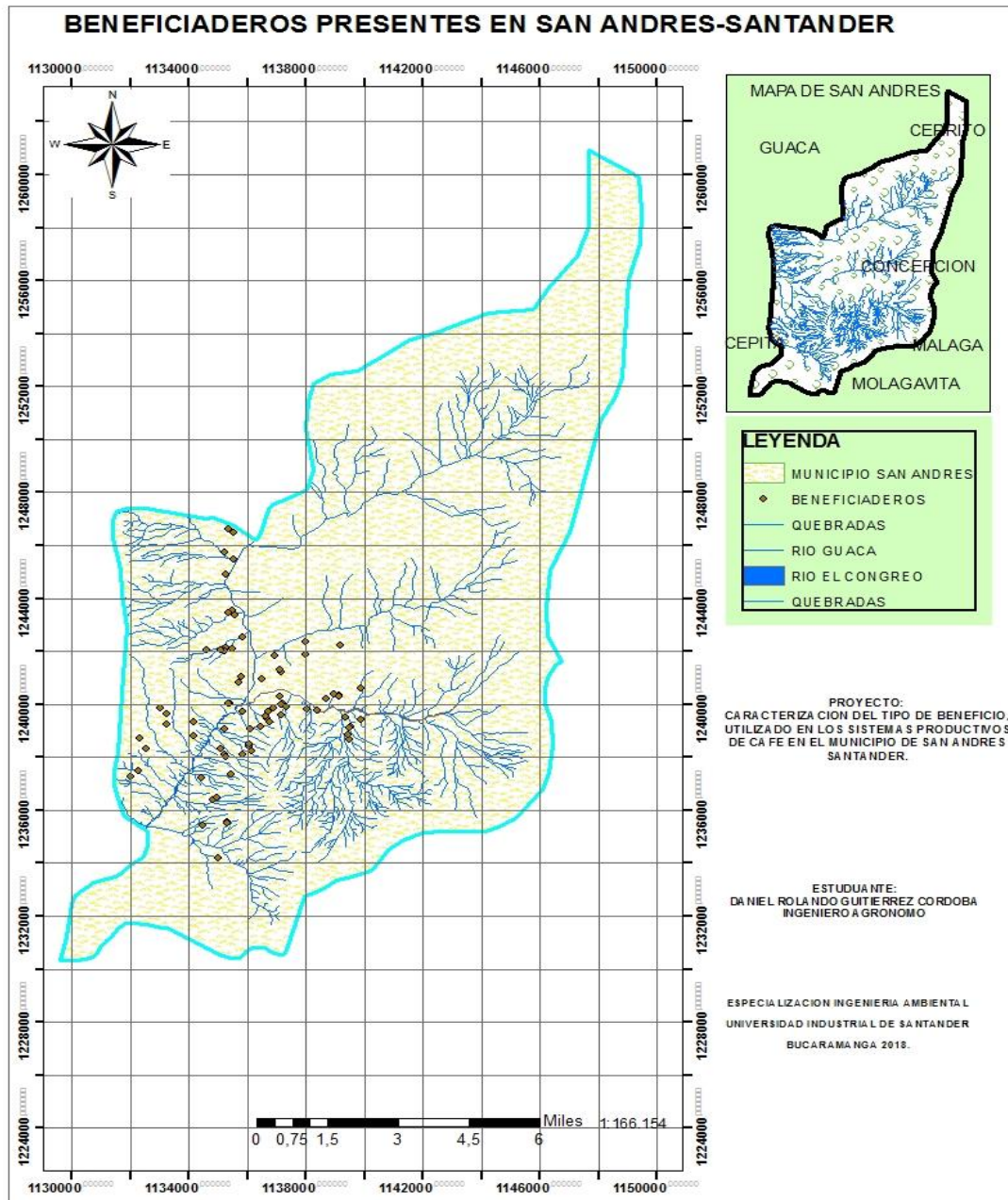
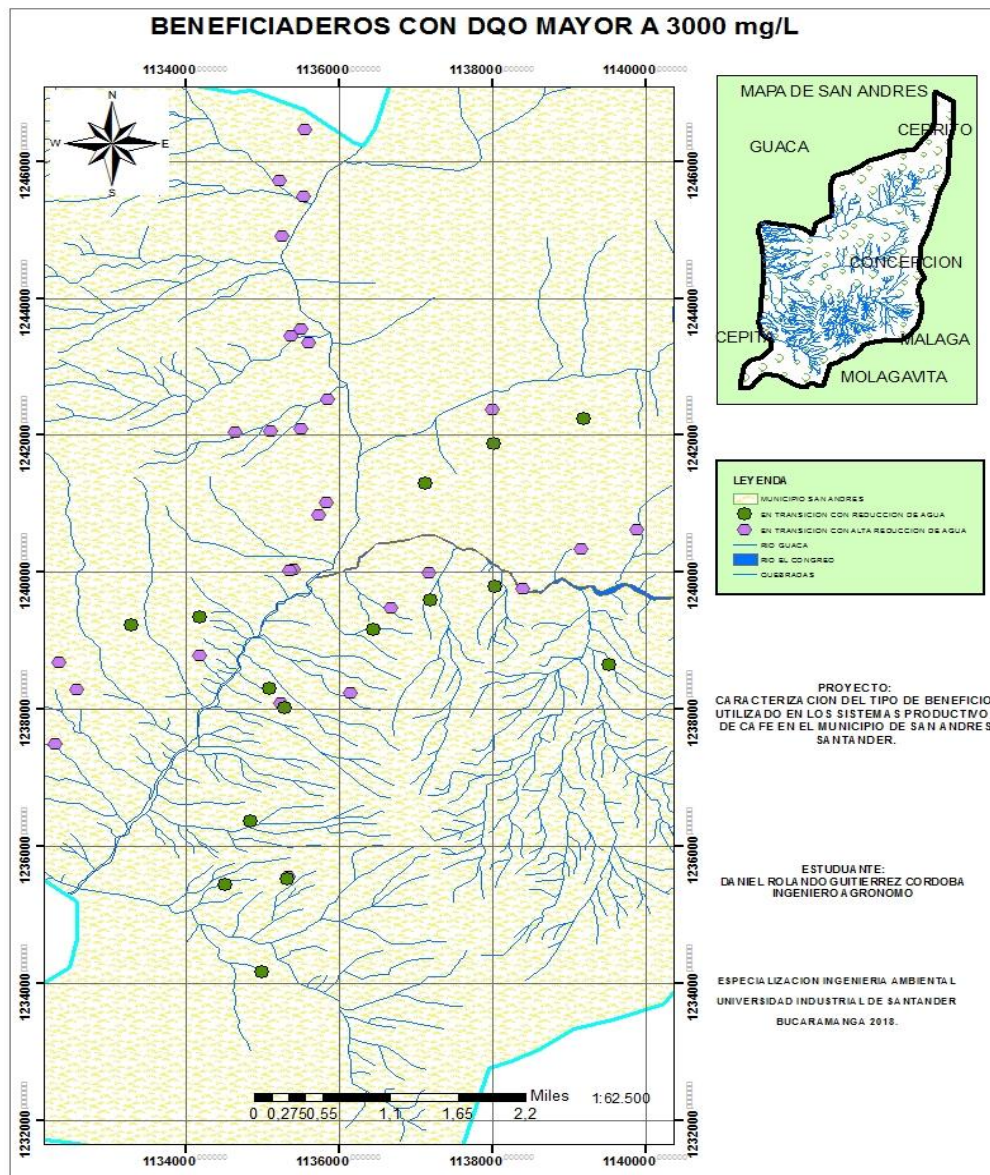


Figura 8- Mapa de beneficiaderos presentes en el municipio de San Andrés



En la Figura 9 se evidencia la localización de los beneficiaderos que son clasificados; en transición con reducción de agua y en transición con alta reducción de agua

Figura 9. Ubicación de beneficiaderos con DQO mayor a 3000 mg/L

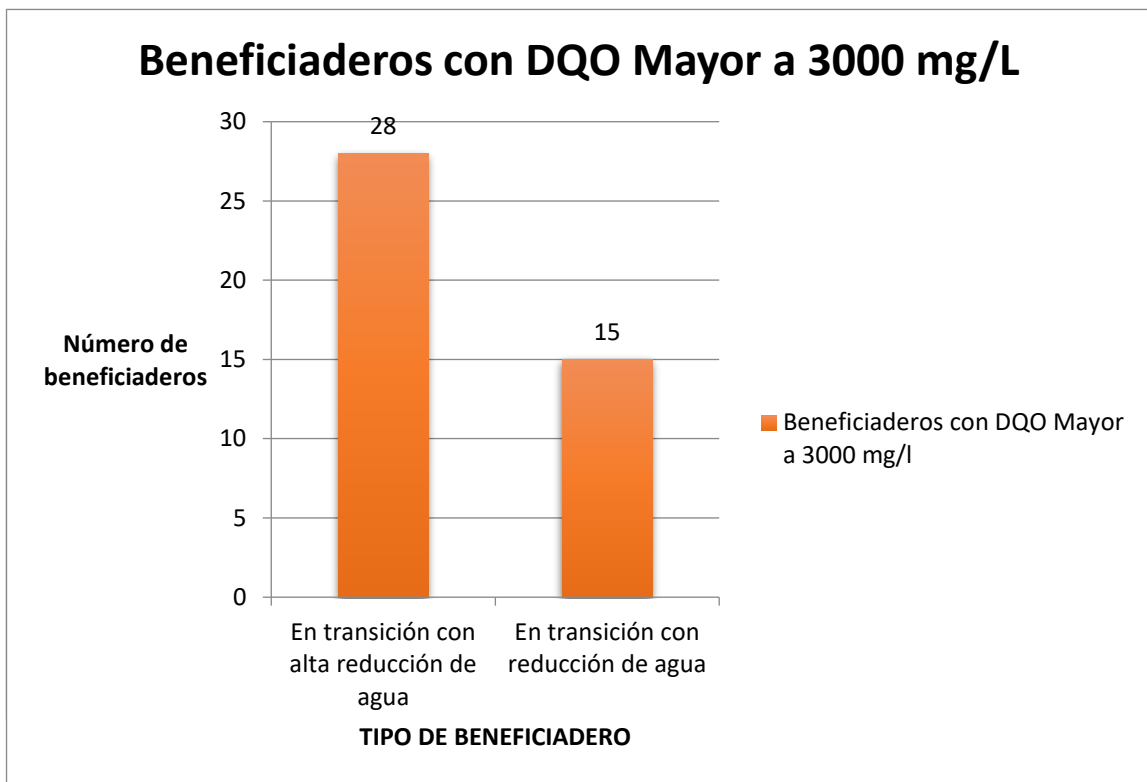


Con respecto al aporte de DQO de cada uno de los beneficiaderos se observa que aquellos que se clasifican como: En transición con reducción de agua (3580 mg/l) y Transición con alta reducción de agua (3580 mg/l) representan un 51 % de la muestra. Figura 9

En la figura 10 se evidencia que el area en la unidades productivas con beneficiaderos en transición con alta reducción de agua es en promedio 1,7 ha,

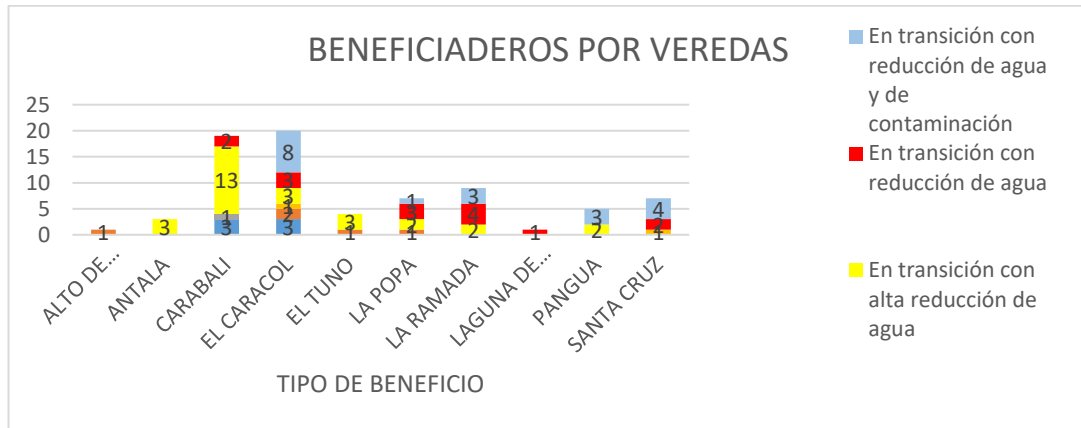
también se observa que utiliza entre 3 – 5 Lde agua /Kcps lo cual aumenta significativamente el volumen del agua residual. Se observa que el área en café en las unidades productivas con beneficiadero en transición con reducción de agua es en promedio 1.1 ha, se evidencia según la encuesta que estas no cuentan con fosa, hay un consumo de agua en el lavado de 3 l/Kcps, además no realizan los tratamientos alguno de lixiviados.

Figura 10. Beneficiaderos con DQO mayor a 3000 mg/l



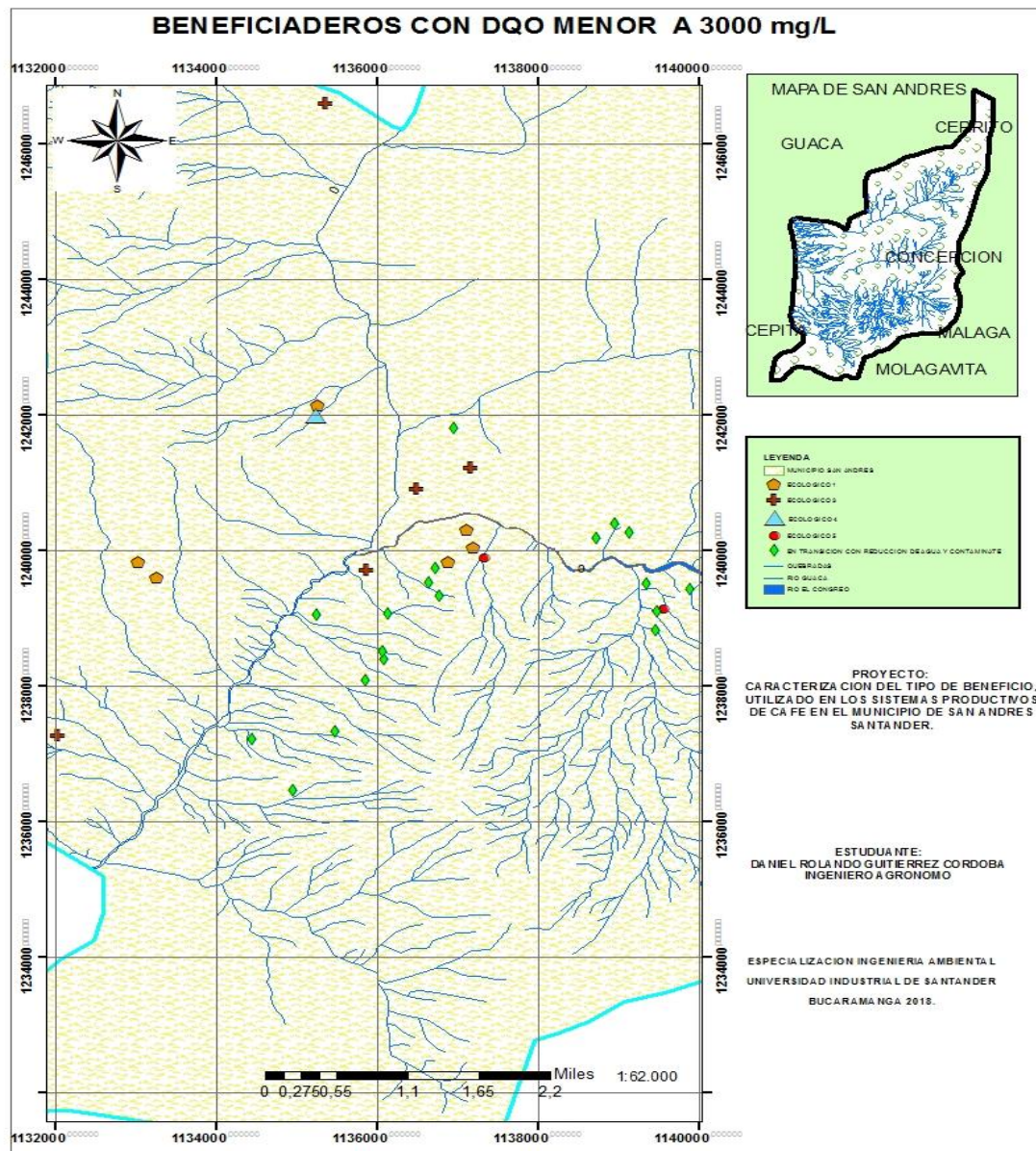
Cuando se realiza la identificación de los beneficiaderos por veredas se observa que Carabali, la ramada, la popa, el caracol, laguna de ortices y santa cruz; muestran presencia de beneficiaderos que incumplen con la normatividad de vertimientos Figura 11 (Resolución 631 de 17 de marzo del 2015).

Figura 11. Distribución de beneficiaderos por veredas de San Andrés.



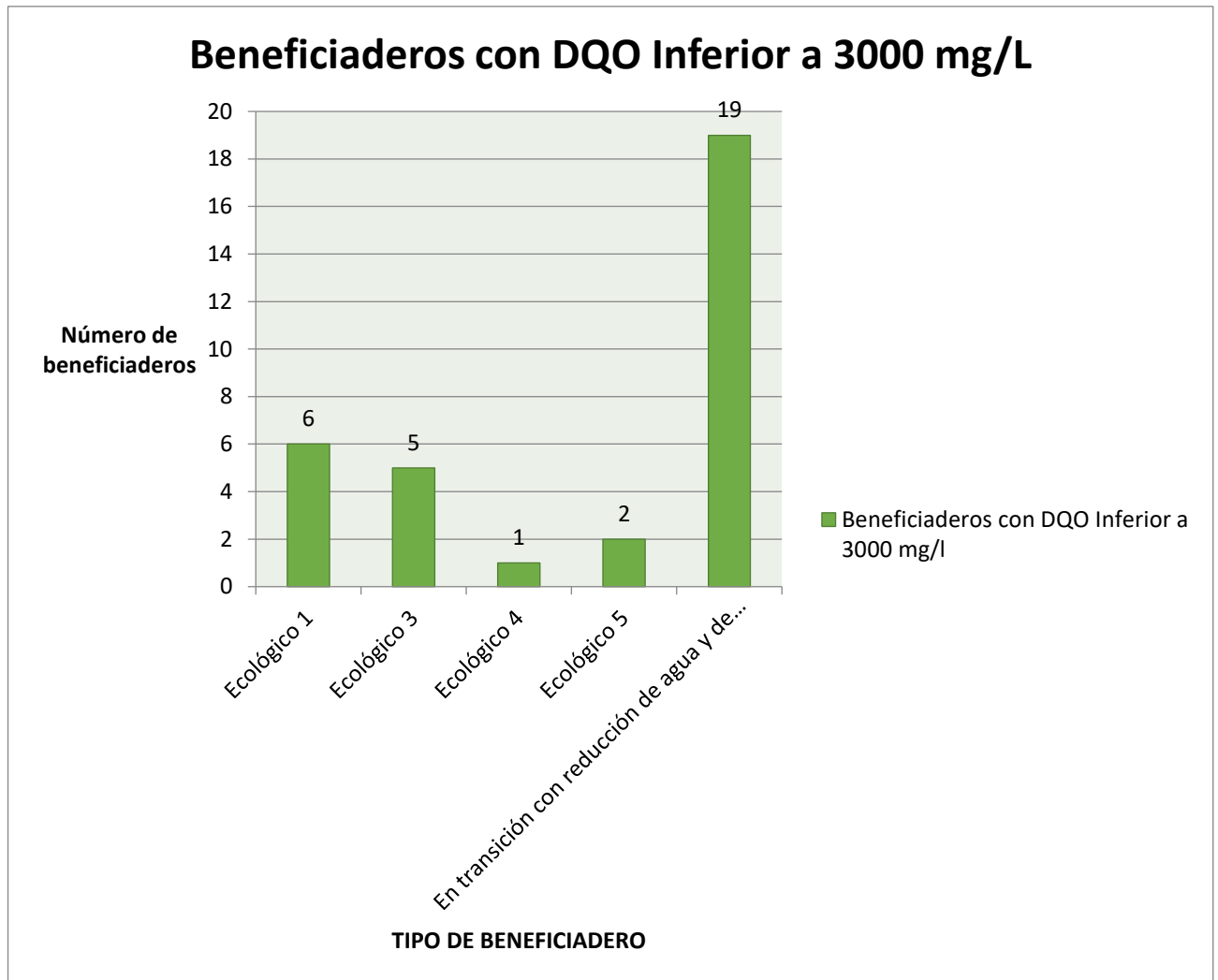
Con respecto a lo beneficiaderos que cumplen con la normatividad colombiana, que si vemos cuantitativamente es el 48 % del total de beneficiaderos. Y que dentro de ellos se encuentra un beneficiadero con una DQO cercana al limite y se clasifica como en transicion con reduccion de agua y contaminante; en este el proceso de beneficio se relializa el lavado con un volumne de agua mayor a 5 l/Kcps, ademas se hace un tratamiento de aguas residuales recirculandola en la fosa. En la Figura 12 se evidencia la ubicación de los beneficiaderos que se encuentran con una DQO menor a 3000 mg/L

Figura 12. Ubicación de beneficiadoras con DQO menor a 3000 mg/L



Cuando revisamos el valor de DQO en aquellos beneficiadores que cumplen con la resolución 631 del 2015, se observa el 48.6 % del total de beneficiadores, de este el 57% se encuentra en transición con reducción de agua y de contaminantes (2570 mg/l). Figura 13.

Figura 13. Beneficiaderos con DQO menor a 3000 mg/l



Según resultados de estudios realizados por Cenicafé, el 72% de la carga contaminante generada por el Proceso de Beneficio Húmedo del Café (PBHC), correspondientes a un valor de DQO de 82.080 mg.kg-1 de café cereza (cc), se ocasionan al despulpar y transportar la pulpa con agua, y el 28% restante de la contaminación corresponden a un valor de DQO 31.920 mg.kg-1 de cc, y es ocasionada por las mieles de lavado. El menor consumo específico de agua en fermentación natural, de 4,17 L.kg-1 de café pergamino seco (cps), se obtiene lavando el café en el tanque con cuatro enjuagues, generando efluentes con un

promedio de contaminación cercana a 26.500 ppm de DQO por kilogramo de cps.

19

Manejo de vertimientos beneficio húmedo: La factibilidad técnico-económica para la implementación de sistemas de tratamiento de las aguas residuales del beneficio del café, depende en gran medida de la simplicidad y confiabilidad del sistema, así como del volumen y la carga orgánica del residuo a tratar. En consecuencia, la no utilización de agua para transportar pulpa y la racionalización del consumo de agua en la operación de lavado, permiten reducir la contaminación y el volumen de agua que es necesario tratar.

Se debe eliminar uso del agua para despulpar, hacerlo en seco, el transporte hidráulico de la pulpa a las fosas y el transporte de café en baba a los tanques de fermentación, los canales de correteo los cuales tienen consumos de 20 a 25 L/Kg de c.p.s.

Cuando la eliminación del mucilago se realiza por fermentación natural del café en baba, transportando al tanque de fermentación, sin agua, el uso eficiente y racional del agua durante el lavado del café permite reducir el 80% del consumo de la misma frente al lavado convencional.

Para efectuar dicho control se implementó la práctica de realizar cuatro enjuagues para lavar el café dentro de los tanques de fermentación, Figura 14, a los cuales se les redondearon las aristas con el fin de optimizar el método y la infraestructura, denominado tanque tina con ella el consumo de agua promedio de esta etapa se reduce a 4,13 L/Kg de c.p.s.

¹⁹ RAMIREZ, C. Oliveros, C. y Sanz, J. (2015), *Manejo de lixiviados y aguas de lavado en el proceso de beneficio húmedo del café*:Cenicafe.

Figura 14. Tanque tina para fermentado y lavado de café



El despulpado y transporte de la pulpa sin agua a fosas techadas, indudablemente se constituye en la acción preventiva más importante, ya que está sola práctica evita el 72% de la contaminación potencial hacia las fuentes de agua, dándose la posibilidad de transformar la pulpa en abono orgánico de alto valor agregado, luego las aguas procedentes del proceso de lavado son llevadas a un SMTA para eliminar hasta el 80 % de la carga contaminante.

En los beneficiaderos que no cuentan la infraestructura anterior, tienen fosa de descomposición y lo que hacen es llevar el mucilago a fosas techadas, Figura 18. Vertiendo sobre esta las dos primeras cabezas de lavado, la tercera y cuarta se lleva a camas de infiltración con presencia de plantas acuáticas.

Los Sistemas Modulares de Tratamiento Anaeróbico (SMTA) es una alternativa para pequeñas y medianas fincas cafeteras que realizan el proceso de lavado en tanque

tinias, con este sistema tienen la posibilidad de remover hasta el 80 % de la carga contaminante de las aguas mieles resultantes del proceso, acompañado por un sistema humedales artificiales figura 16 el cual completaría el 95 % de remoción.

Figura 15. Fosa techada para descomposición de pulpa- mucilago- Cenicafe.



Figura 16. Humedales artificiales con macrofitas acuáticas- Cenicafe.



Manejo de vertimientos Belcosub- ecomil: Según Ramirez para el manejo y control de los vertimientos de las aguas residuales del Becolsub, Figura 17. Cenicafé ha desarrollado tecnologías que permiten remover entre el 80% y el 90% de la DQO. Sin embargo, estos efluentes presentan alta carga orgánica, que afecta

a los ecosistemas, si son vertidos sin tratamiento previo. Con la mezcla de las mieles y la pulpa en la tecnología Becosub se logra controlar el 92% de la contaminación potencial del café.

Figura 17. Módulo Belcosub- Cenicafe.



La sola práctica de despulpar y transportar la pulpa sin agua elimina el 73,7 % de la contaminación potencial de los subproductos del beneficio húmedo de café.

Por medio de investigaciones desarrolladas en Cenicafé en el campo del beneficio, la utilización y la disposición de subproductos, se ha logrado controlar en parte esta contaminación y reducir el consumo de agua por medio de los desmucilaginosos mecánicos, hasta 1 litro de agua por cada kilogramo de café pergamino procesado. En este proceso se obtiene un producto viscoso con alto contenido de sólidos (96 g/l de mucilago), el cual es también altamente contaminante debido a su carga orgánica, la cual equivale a aproximadamente 110.000 ppm de Demanda Química de Oxígeno (DQO); pero al mismo tiempo facilita su aprovechamiento y conversión a nivel agrícola, industrial y pecuario.²⁰

La tecnología Becosub evaluada sobre un módulo Becosub 600, permitió reducir la contaminación por kilogramo de café pergamino seco (cps), hasta en un rango entre 50,83 y 70,32 de Demanda Química de Oxígeno (DQO), cuando el equipo opero con un consumo de agua entre 0,6 y 1,0 L/kg de cps, respectivamente. De

²⁰ FAJARDO, I. SANZ, J. (2003), *Evaluación de la calidad física del café en los procesos de beneficio húmedo tradicional y ecológico(Belcosub)*. Chinchina: Cenicafe.

estas operaciones se produjo un residuo líquido (lixiviado) cuya concentración promedio en términos de DQO fue de 110.000 ppm. De lo anterior se puede calcular, respecto al beneficio convencional de café, una reducción de la contaminación estimada para aguas residuales entre el 77,5% y el 83,8%, equivalente a una reducción de contaminación global estimada para pulpa y mucilago entre 87,2% y 90,8%.²¹Y últimamente para atender las necesidades de caficultores que en Colombia utilizan el proceso de fermentación natural, así como los requerimientos de compradores de café en el exterior que exigen café procesado con fermentación natural, y los cambios en la legislación ambiental en Colombia (Decreto 3930 de 2010), que limita drásticamente los vertimientos puntuales permisibles de los efluentes de los beneficiaderos, Cenicafé desarrolló la tecnología ECOMILL®, en la cual se lava mecánicamente café con mucílago degradado en el proceso con fermentación natural o con aplicación de enzimas, con reducción notoria en el volumen específico de agua (VEA) hasta valores entre 0,3 y 0,5 L.kg⁻¹ de c.p.s. Debido al bajo VEA, las aguas residuales altamente concentradas se pueden mezclar con la pulpa del café, reteniendo más del 95% del volumen adicionado y controlando hasta el 100% de la contaminación generada en el proceso. Actualmente, se tienen tres modelos con capacidad para 500, 1.500 y 3.000 kg.h⁻¹ de café lavado.²²

Esta tecnología involucra la utilización de una máquina desmucilagadora y lavadora mecánica, que mezcla en una de sus salidas la pulpa y el mucílago concentrado que se desprende del café en baba, mezcla que en las siguientes horas drena un lixiviado, cuya contaminación global equivale a la mitad de la contaminación que produce el mucilago fermentado y que requiere de un tratamiento anaeróbico.

²¹ PABON, J. SANZ, J. OLIVEROS, C. (2009). *Manejo del café desmucilaginado mecánicamente*. Chinchina: Cenicafe.

²² OLIVEROS, C. SANZ, J. RAMIREZ, C. (2013). *Ecomil, Tecnología de bajo impacto ambiental para el lavado de café*. Manizales: Cenicafe.

Se modifican las fosas o procesadores tradicionales para aprovechar el efecto invernadero para secar rápidamente pulpas mezcladas con aguas mieles o con mucilagos. Figura 18.

Figura 18. Fosa mezcla de pulpa con mucilago-Cenicafe.



Ahora la mejor alternativa ecológica, bajo uso de agua y más económico tratamiento de aguas residuales es el Ecomill Figura 19. en la cual se lava mecánicamente café con mucílago degradado en el proceso con fermentación natural o con aplicación de enzimas, con reducción notoria en el volumen específico de agua (VEA) hasta valores entre 0,3 y 0,5 L.kg-1 de c.p.s. Debido al bajo VEA, las ARL altamente concentradas se pueden mezclar con la pulpa del café, reteniendo más del 95% del volumen adicionado y controlando hasta el 100% de la contaminación generada en el proceso. El Ecomill. Conformado por tanque en acero inoxidable para la fermentación del café y lavador poco agresivo para remover la miel del café con un consumo de agua de 0,3 litros de agua por cada kilo de café.

Figura 19. Modelo Ecomill - cenicafe.



3.8 SISTEMA MODULAR DE TRATAMIENTO DE AGUAS (SMTA)

Los Sistemas Modulares de Tratamiento Anaeróbico han sido desarrollados por Cenicafé para reducir más del 80% de la contaminación presente en las aguas residuales de lavado o “mieles del café”, las cuales se originan en beneficiaderos que retiran el mucilago o la baba del café por el método de fermentación natural alcanzando remociones de carga orgánica que permiten cumplir la legislación colombiana en el decreto 1594 de 1984 y el decreto 3930 de 2010. Además de esta manera es posible reducir el pago de las Tasas Retributivas, por la utilización directa o indirecta del agua como receptor de los vertimientos puntuales, consignados en los Decretos 901 de 1997 (MinAmbiente, 1997) y 2667 de 2012 (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible).

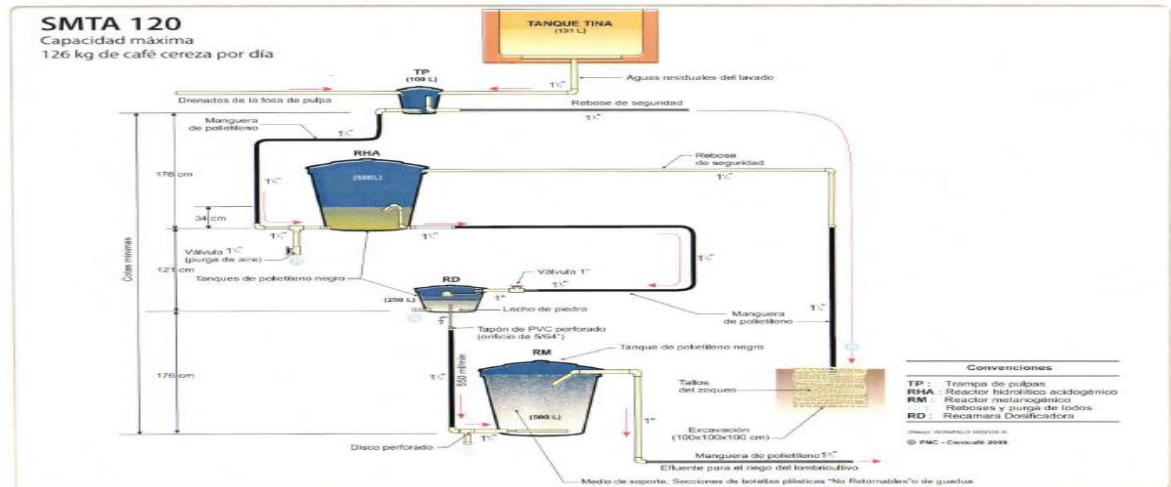
La tecnología SMTA representa una contribución ambiental, económica y social a la caficultura colombiana, dado que permite minimizar el impacto ambiental que sobre el ecosistema cafetero tienen las aguas mieles.

Los SMTA involucran una tecnología de tratamiento biológico con separación de fases hidrolítica – ácido génica en la remoción de carga orgánica; no utiliza energía eléctrica para bombeo del agua residual, el flujo se hace por gravedad, aprovechando la topografía de la zona cafetera colombiana; utiliza unidades prefabricadas de polietileno negro con tapa, que permite elevar la temperatura hasta 30°C al interior de los tanques, favoreciendo los procesos biológicos y controlando la presencia de malos olores en los alrededores; utiliza microorganismos metano génicos presentes en el estiércol vacuno o porcino, responsables de la etapa principal del tratamiento de las aguas mieles, y trozos de guadua o de botellas plásticas no retornables que favorecen la permanencia de los microorganismos en el sistema.²³ Figura 20.

En los SMTA los costos operativos son bajos, porque solo requieren de inspección y retiro de insolubles para garantizar el flujo libre, desde una recámara de dosificación de líquido por gravedad que el sistema posee.

²³ OROZCO, M. (2003). Arranque y puesta en marcha de un reactor metanogenico tipo UAF para el tratamiento de las aguas residuales del lavado de café. Chinchina. Cenicafe.

Figura 20. Diseño de un Sistema Modular de Tratamiento de agua (SMTA). Cenicafe.



- Una trampa de pulpas, que evita la entrada de material suspendido con tamaños de partícula superiores a 5 mm y cuya acumulación puede ocasionar taponamiento de tuberías.
- Reactores Hidrolíticos Acidogénicos (Uno o varios tanques), en los cuales ocurre la solubilización del material orgánico suspendido.
- Cámara dosificadora, (uno o más tanques) que permiten la retención del material orgánico particulado no solubilizado y el control del caudal del sistema.
- Reactores metano génicos (uno o más tanques), llenos con trozos de guadua o de botellas no retornables (sin puntas y fondos) en los cuales se establecen los microorganismos metano génicos, que transforman la contaminación orgánica soluble en biogás, permitiendo eliminar de esta forma más del 80% de la contaminación orgánica presente en las aguas mieles que llegan al sistema.

El siguiente procedimiento fue recopilado del Boletín técnico N.º 29 de Cenicafe publicado en año 2006 en Chinchina- Caldas.

El agua residual generada en la etapa de lavado y los lixiviados de la pulpa se debe conducir a una trampa de pulpas. Una salida con las aguas mieles, a 10 cm del fondo de la trampa de pulpas, se conduce al primer tanque o reactor hidrolítico, una segunda salida es un rebose de seguridad, por debajo del nivel de entrada de aguas mieles y drenados de la pulpa, que tiene los sólidos suspendidos. La descarga del rebose de seguridad se conduce mediante manguera de polietileno de 1 1/2" a una excavación de 1 m x 1 m x 1 m lleno de trozos de tallos de zoqueo de café para su infiltración.

Para permitir el flujo por gravedad de las aguas mieles desde la trampa de pulpas hasta las unidades hidrolíticas, recamaras dosificadoras y reactores metano génicas, es necesario cumplir con las cotas mínimas las cuales son 75 cm de diferencia de menor altura desde el fondo del tanque anterior a la tapa del siguiente tanque.

Con la producción diaria de máxima cosecha, en kilogramos de café cereza, se selecciona el prototipo de SMTA, según el rango de cobertura, lo mismo que el tamaño del tanque de fermentación/lavado correspondiente a ese prototipo.

Para las fincas con producciones diarias de café superiores a 1.710 Kg de café cereza (cc) se mantienen los mismos tamaños de la trampa de pulpas y la excavación con tallos de café.

Para calcular el volumen necesario de los reactores hidrolíticos se utiliza la siguiente ecuación:

$$VRHA = 0,000405 \times Sp \times Pa.$$

Donde:

VRHA= Volumen total de la fase hidrolítica/ácido génico, en m3.

SP: porcentaje de café cereza beneficiado en la semana pico respecto a la cosecha anual.

Pa: Producción anual de café pergamino seco, en arrobas de c.p.s.

El volumen obtenido, mediante la aplicación de la Ecuación, se puede dividir por dos para calcular el número de tanques de 2 m³ que se necesitan, o por cinco si se desean utilizar tanques de 5 m³ o por diez si se desean usar tanques de 10 m³.

Para la recámara dosificadora se siguen utilizando tanques de polietileno de 250 L de capacidad y 65 cm de altura. Para calcular el número de tanques, se debe tener presente que una recámara dosificadora permite alimentar hasta cinco reactores metano génicos.

Una vez instalado el SMTA es necesario adecuar el reactor metano génico, el cual es la unidad más importante del sistema de tratamiento, para permitir el apropiado desempeño de los microorganismos depuradores. En este componente ocurre la etapa final de la digestión anaerobia, en donde la contaminación soluble en forma de ácidos es transformada en biogás, por la acción de los microorganismos metano génicos.

Una vez realizadas todas las conexiones en el reactor metano génico se procede a llenar su interior con tercios de botellas retornables o trozos de guadua Figura 24, cortados en cilindros de 15 cm, de forma que sirvan de medio de soporte para las bacterias metano génicas, para que no sean arrastradas con el agua tratada que sale del reactor, lo que haría que se perdiera la eficiencia en el proceso de depuración.

El siguiente paso consiste en la preparación del inóculo denominado “caldo microbiano metano génico”, el cual puede prepararse en un tanque aparte, para facilitar su homogenización.

El inóculo consta de una fuente de microorganismos metanogénicos, para ellos se debe utilizar estiércol fresco, vacuno o porcino, el cual se disuelve en agua en

relación 1:1, acompañado de una agitación fuerte y constante, que permita homogenizar la mezcla, la cual se adiciona al reactor metano génico.

Figura 21. Preparación de un Tanque Reactor Metano génico-cenicafe.



Para favorecer el crecimiento de los microorganismos metano génicos, solamente durante la instalación del SMTA, se recomienda adicionar una fuente de carbono, una fuente de nitrógeno para equilibrar la relación C/N y un neutralizante que permita obtener un pH cercano a 7.

La adición de las fuentes se realiza una sola vez a través de la recámara dosificadora.

Si es necesario se adiciona agua hasta cubrir por completo el material de empaque del reactor metano génico. Finalmente, se debe tapar el reactor metano génico durante 3 semanas, al cabo de las cuales inicia con la etapa de arranque del sistema de tratamiento.

La etapa de arranque tiene como propósito permitir el crecimiento y la adaptación de los microorganismos metano génicos provenientes del estiércol de cero a

vacuno, a las aguas mieles del café sin necesidad de neutralizarlas, por lo que es imprescindible respetar las recomendaciones relacionadas con la alimentación del sistema, según el tamaño de los reactores. El proceso de arranque tiene una duración de 10 semanas. En la tabla se presentan los tiempos que debe operar la planta, con el agua residual generada durante la etapa de lavado, entre los días 1 a 70, después de este tiempo mantener constante la alimentación del sistema.

3.9 ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO SEGÚN EL AREA PRODUCTIVA

Según el área caracterizada y las fincas encuestadas se observó que la mayoría de las fincas el área en café no supera las 2 hectáreas.

A continuación, se hace la propuesta de manejo según el área en café.

Tabla 4. Propuesta de manejo según área en hectáreas de café

Finca de has Café	Producción: @cps/ha/año		140		
2	Producción finca: @cps/año		280		
	Día pico: @cps (3%)		8,4		
	Uso de agua del Tanque Tina: 5 L/Kg cps		5		
	Agua residual generada día pico: L		525		
	DQO del agua residual: ppm		25.000		
	1 y 2 cabeza de lavado a la fosa	+	3 y 4 cabeza de lavado a humedal	+	Disposición al suelo
	2 1 y 2 cabeza de lavado a la fosa	+	3 y 4 cabeza de lavado a humedal	+	Riego por goteo
Opciones de Tratamiento	3 Todas las cabezas de	+	Materiales secos orgánicos, sin lixiviados		
	4 SMTA	+	Disposición al suelo		
	5 SMTA	+	Humedal	+	Disposición al suelo
	6 SMTA	+	Humedal	+	Riego por goteo
	7 SMTA		Ca(OH) ₂	+	Disposición al suelo
	8 Tratamiento Químico	+	Disposición al Suelo		

Finca de has Café 5	Producción: @cps/ha/año		140			
	Producción finca: @cps/año		700			
	Día pico: @cps (3%)		21,0			
	Uso de agua del Tanque Tina: 5 L/Kg cps		5			
	Agua residual generada día pico: L		1312,5			
	DQO del agua residual: ppm		25.000			
	1	1 y 2 cabeza de lavado a la fosa	+	3 y 4 cabeza de lavado a humedal	+	Disposición al suelo
	2	1 y 2 cabeza de lavado a la fosa	+	3 y 4 cabeza de lavado a humedal	+	Riego por goteo
Opciones de	3	Todas las cabezas de lavado a la fosa	+	Materiales secos orgánicos, sin lixiviados		
Tratamiento	4	SMTA	+	Disposición al suelo		
	5	SMTA	+	Humedal	+	Disposición al suelo
	6	SMTA	+	Humedal	+	Riego por goteo
	7	SMTA	+	Ca(OH) ₂	+	Disposición al suelo
	8	Tratamiento Químico	+	Disposición al Suelo		

Finca de has C 10	Producción: @cps/ha/año		140			
	Producción finca: @cps/año		1400			
	Día pico: @cps (3%)		42,0			
	Uso de agua del Becolsub: L/kg cps		2			
	Agua residual generada día pico: L		1050			
	DQO del agua residual: ppm		62.500			
	1	Mezcla pulpa + mucílago	+	Recirculación permanente de		
	2	Mezcla pulpa + mucílago	+	Secado de los lixiviados		
Opciones de	3	Mezcla pulpa + mucílago	+	STLB/SMTA	+	Disposición al suelo
Tratamiento	4	Mezcla pulpa + mucílago	+	STLB/SMTA/ Humedal	+	Disposición al suelo
	5	Mezcla pulpa + mucílago	+	STLB/SMTA/ Humedal	+	Riego por goteo
	6	SMTA	+	Humedal	+	Disposición al suelo
	7	SMTA	+	Ca(OH) ₂	+	Disposición al suelo
	8	Tratamiento Químico	+	Disposición al Suelo		

4. ANALISIS DEL RIESGO EN BENEFICADEROS DE CAFÉ

Línea de producción.

Figura 22. Línea de producción de beneficio de café



Evento amenazante: alto contenido de materia orgánica, DQO, SST

Evento iniciante:

- liberación de aguas residuales
- fugas en el sistema de conducción
- contenido de DQO y SST

causas- incidencia

- falla en línea de conducción (media)
- uso indiscriminado de aguas (media)
- falta de capacitación al operario (media)

Acciones para Intervenir las causas:

- Implementar tubería de excelente calidad en la línea de conducción.
- Realizar mantenimientos preventivos de las líneas de conducción.
- Realizar chequeo de rutina antes de iniciar cosecha.
- Reducir el consumo de agua en el proceso de lavado (menor a 4 litros /kcps).
- Capacitar a operarios sobre el proceso.

Tabla 5. Calificación de sucesos

CALIFICACION	DESCRIPCION
Improbable	1 vez en más de 20 años (A)
Remoto	1 vez entre 15-20 años (B)
Moderado	1 vez entre 10-15 años (C)
Probable	1 vez entre 1-10 años (D)
Muy probable	Mas de 1 vez por año (E)




Calificación: Probable, ya que el evento ocurre 1 vez entre 1 y 10 años, debido a que la cosecha se concentra en el último trimestre del año y es un solo sistema por finca.

Consecuencia- calificación

- Contaminación de suelo, muerte de microorganismos, perdida de fertilidad) - 2
- Contaminación del fuentes hídricas y cambios de propiedades física y químicas. –

2

Tabla 6. Matrix de consecuencias o daños.

DESCRIPCION	ELEMENTOS AFECTADOS	NIVEL
Posibles impactos en la flora y fauna del entorno ambiental afectado, no afecta el suelo, y fuentes hídricas. La recuperación puede hacerse en días o semanas	Ninguno	1 Depreciable 
Reducción de la biomasa, flora y fauna del ecosistema, sin pérdidas significativas en cuestiones de biodiversidad, la recuperación puede realizarse en cuestiones de meses.	Suelo Agua biodiversidad	2 Moderado 
Reducción sustancial de la abundancia de la flora y fauna del ecosistema, la recuperación es posible, pero hay que intervenir el área con prácticas de remediación. El tiempo	Suelo Agua Biodiversidad	3 Severo 

de recuperación puede oscilar entre 1 y 5 años.		
---	--	--

Tabla 7. Matriz de valoración de riesgo

MATRIZ DE VALORACION DE RIESGO

MUY POBABLE	5	10	25
PROBABLE	4	8	20
MODERADO	3	6	15
REMOTO	2	4	10
IMPROBABLE	1	2	5

DEPRECIABLE MODERADO SEVERO

Aceptable

Tolerable

Inaceptable

Se hace la valoración del riesgo y se define como Tolerable. Las acciones para llevarlo a aceptable serían:

- Realizar controles en infraestructura, verificación de calidad del material en los mismos.
- Lista de chequeo en la línea de conducción de aguas residuales
- Minimizar los consumos de agua.
- Ampliar los tanques y fosas donde se realiza el tratamiento de aguas.
- Cambiar el sistema de beneficio tradicional a beneficio ecológico.
- Capacitar a los operarios en el manejo de los equipos y el proceso.
- Mantenimiento preventivo de las instalaciones y equipos.

5. ENSAYOS A REALIZAR Y EVALUAR

Es necesario que en los próximos ensayos se realice pruebas evaluando diferentes cantidades y concentraciones para poder estandarizar el tratamiento efectivo para remover el material contaminante de las aguas residuales del proceso de beneficio, los siguientes tratamientos los propone Cenicafe, aunque se encuentran en evaluaciones y por ello aún no han sido publicados los resultados.

Tratamientos con Cal. La adición de hidróxido de calcio (cal apagada o cal hidratada) en diferentes dosis por litro de agua residual del café, proveniente de los tanques de fermentación.

Según Cenicafe en ensayos realizados con una dosis de 3 g/L permite remover cerca del 50% de la carga orgánica inicial expresada como DQO, de las aguas mieles del café, este tratamiento se considera primario dado que para cumplir con la norma ambiental es necesario realizar tratamientos posteriores. Envío de estas aguas a un SMTA o reuso en riego de pulpas en descomposición.

Tratamiento con Coagulantes químicos o naturales. Después del tratamiento con cal propone realiza un tratamiento secundario con la adición de sulfato de aluminio o cloruro de aluminio en diferentes concentraciones, esto para precipitar las partículas suspendidas en las aguas residuales y a la vez realizar floculación.

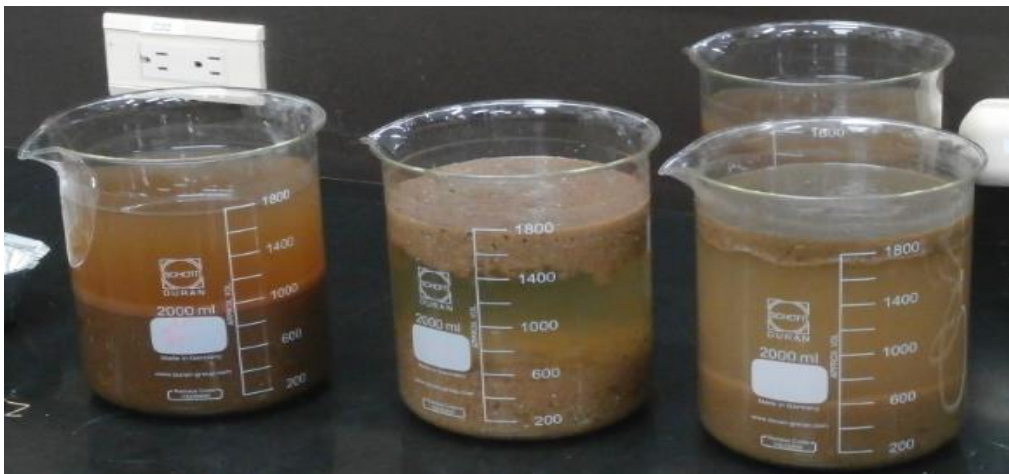
Figura 23.

Figura 23. Separación de las fases del agua miel tratada con sulfato de aluminio-Cenicafe.



Con semilla molida de *Jatropha curcas*. El extracto de la semilla de *Jatropha curcas* en dosis de 1,5 a 2 gramos por litro de agua residual del café a pH original permite remover cerca del 70% de la carga orgánica inicial expresada como DQO. En la Figura 24 se evidencia la eficiencia de las semillas para precipitar los sólidos presentes en la solución.

Figura 24. Precipitación de sólidos utilizando *Jatropha*.- Cenicafe



Con Moringa oleífera. El extracto de la semilla de Moringa oleífera a una dosis de 4 gramos por litro de agua residual del café permite remover cerca del 30% de la carga orgánica inicial, expresada como DQO. Figura 25.

Figura 25. Foto de agua tratada con Moringa – Cenicafe.



6. CONCLUSIONES

- El 51% de los beneficiaderos presentes en San Andrés no cumplen con la Resolución de vertimientos 631 del 2015.
- Los beneficiaderos caracterizados como En transición con alta reducción de agua y en transición con reducción de agua no cuentan con fosa de descomposición ni realizan tratamiento alguno de las aguas residuales.
- El consumo de agua en procesos de despulpado y transporte de la pulpa lleva a que los valores de DQO y SST se aumenten y a la vez se realice alta descargas de material contaminante.
de beneficiadero presenta contaminación por SST.
- La recirculación de aguas miel es la alternativa más efectiva para evitar la contaminación por aguas residuales del proceso de lavado de café.
- Implementar tecnologías Belcosub y Ecomil facilita el manejo de las aguas miel del proceso de lavado de café.
- La construcción de fosas inundables una alternativa económica y efectiva para el manejo de pulpa y mieles del proceso de lavado de café.
- Los beneficiaderos que más generan contaminación en el municipio de San Andres se encuentran ubicados en las veredas: Antala, Carabali, El caracol, El tuno, La popa, La ramada, Laguna de ortices, Pangua y Santa Cruz.
- Los beneficiaderos que no contaminan se encuentran ubicados en la vereda Alto de Jaimes.
- Cuando solarizamos las pulpas aceleramos el proceso de descomposición y permitimos que el agua se evapore evitando derrames en el suelo.
- Los SMTA remueven la contaminación y carga orgánica en un porcentaje mayor al 90, pero estos sistemas solo se deben implementar en fincas mayores a 5 ha.
- La práctica con camas de infiltración en el manejo de lixiviados nos permite entregar al suelo agua con una remoción superior al 95 % de carga orgánica.

- Si se realiza la remoción de la carga orgánica mayor al 80 %, estas aguas se pueden utilizar para riego según la resolución 1207 del 13 agosto del 2014 del ministerio de ambiente y desarrollo sostenible.
- El reúso de las aguas residuales del café en la producción de abono orgánico permite acelerar los procesos de descomposición de los materiales orgánicos y la generación de un abono orgánico enriquecido con los nutrientes de las aguas residuales, para ser aprovechado en la producción agrícola de la finca.
- Implementando prácticas de recirculación en los beneficiaderos evitamos que las aguas provenientes del proceso de lavado del café salgan de la infraestructura y a la vez no generamos contaminación.
- Con la implementación del recirculación y reúso de agua evitan costos relacionados con el tratamiento de aguas residuales como son: 1. El permiso de vertimientos (cuyo costo es cercano a los \$80.000 cada 5 años), 2. Las caracterizaciones anuales (exámenes de aguas) de los vertimientos (costo cercano a los \$ 200.000), 3. El pago de la visita anual de funcionarios de la Corporación Autónoma Regional (costo cercano a los \$ 200.000), 4. El pago de la tasa retributiva, 5. La inversión en la planta de tratamiento de aguas residuales y 7. Los gastos de mantenimiento de la planta.

7. RECOMENDACIONES

- Se deben realizar estudios de impacto ambiental en el municipio.
- En San Andres se deben juntar esfuerzos con la administración municipal y la Federación Nacional de Cafeteros para implementar beneficiaderos ecológicos.
- Se debe implementar las fosas de descomposición en los beneficiaderos que no cuentan con esta infraestructura para el tratamiento de las aguas residuales.
- Se deben construir fosas con piso falso o filtros que conduzcan los lixiviados a un tanque de almacenamiento para luego recircular a la fosa.
- Se deben construir beneficiaderos comunales y equipados donde los productores lleven allí su café y realicen el proceso de beneficio responsablemente y sin contaminar.
- Se deben implementar charlas para concientizar al productor sobre el impacto ambiental que genera los vertimientos del proceso de beneficio de café.

BIBLIOGRAFIA

- ARCILA, O. *Perjuicios causados por los residuos del beneficio del café*. Chinchiná: Manizales. Cenicafé, 1979. 25 p.
- ARIAS, M. RUIZ C. *Fermentación alcohólica de mucílago de café con levadura Saccharomyces cerevisiae*. *Ciencia y tecnología de alimentos, Manizales (Caldas) Cenicafe*, 2001. p. 69.
- CASTELEIN, J. PILNIK, W. *The properties of the pectate-lyase produced by Erwinia dissolvens, a coffee fermenting organism*. *Lebensmittel:wissenschaft und technologie*. 1976.
- CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFÉ – Cenicafé. *Manual cafetero colombiano*, Manizales(Caldas), 2013. 1000 p
- FAJARDO, Ildelice; SANZ, Juan. *Evaluación de la calidad física del café en los procesos de beneficio humedo tradicional y ecológico(Belcosub)*. Chinchina: Cenicafe. 2003, 286-296 p.
- FEDERACION NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA. *Tecnología del cultivo del café*. Comité Departamental de Cafeteros de Caldas: *Manizales*, Cenicafé. 1987, 103p.
- ILLY, A.; VIANI, R. *Espresso Coffee: the chemistry of quality*. London, Academic Press Limited, 1995. p. 253.
- LÓPEZ, G; BAUTISTA, R y MORENO, G. *Factors related to the formation of "overfermented coffee beans" during the wet processing method and storage of coffee*. París: ASIC. 1989.
- MARIN, Sandra. *Fundamentos del proceso de fermentación en el beneficio del café*. Chinchiná, Federación nacional de cafeteros, Chinchina Caldas, Cenicafe 2010. p. 12.
- MATUK, C. *Impacto biológico de los afluentes del beneficio húmedo del café*. Chinchina. Cenicafe. 1997. 234-252 p.

- OLIVEROS, C. SANZ, J. RAMIREZ, C. *Ecomil, Tecnología de bajo impacto ambiental para el lavado de café*. Manizales: Cenicafe. 2013. 8 p.
- OROZCO, Paula. Arranque y puesta en marcha de un reactor metanogenico tipo UAF para el tratamiento de las aguas residuales del lavado de café. Tesis de pregrado en ingeniería química. Manizales: Universidad Nacional de Colombia sede Manizales. Facultad de ingeniería y arquitectura 2003. 90p.
- PABON, Jenny; SANZ, Juan y OLIVEROS, Carlos. *Manejo del café desmucilaginado mecánicamente*. Chinchina: Cenicafe. 2009. 8p.
- PUERTA, Gloria. *Factores, procesos y controles en la fermentación del café*. Chinchina. Avances técnicos: Cenicafe. 2001. 12p.
- PUERTA, Q. QUICENO, O. ZULUAGA, V. 1988. *La calidad del café verde: Composición, proceso y análisis*. Chinchiná: Cenicafé. 1988. 12p.
- PUERTO, Gloria. *El beneficio y la calidad del café*. Chinchiná: Avances técnicos, Cenicafé. 1993. 8p.
- PUERTO, Gloria. *Fundamentos del proceso de fermentación en el beneficio del café*. Manizales: Avances técnicos, Cenicafe. 2010. 12p.
- PUERTO, Gloria. *Composición química del mucilago de café en el tiempo de fermentación y refrigeración*. Manizales: Avances técnicos, Cenicafe. 2011. 23-40 p.
- PUERTO, Gloria. *Fermentación controlada del café, tecnología para agregar valor a la calidad*. Manizales: Avances técnicos, Cenicafe. 2015.12p.
- RAMIREZ, Cesar. Oliveros, Carlos. y Sanz, Juan. *Manejo de lixiviados y aguas de lavado en el proceso de beneficio húmedo del café*. Manizales: Cenicafe. 2015. 46-60p.
- RAMÍREZ, Cesar. *Disminución del impacto ambiental en la tecnología BECOLSUB, mediante la evaporación de lixiviados*. Tesis de magister en ciencias. Manizales: Universidad de Manizales, 2011. 107p.
- REYMOND, D. *Utilisation de critères analytiques pour definir la qualité du café boisson*. Salvador: Colloque Scientifique International sur le Café. 1982.