

# “**C**onstruyendo el modelo para la gestión integrada del recurso hídrico en la caficultura colombiana”

Chinchiná, abril del 2011.





## RESUMEN EJECUTIVO

En la Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico 2010 se estableció la necesidad de abordar el manejo del agua como *“una estrategia de carácter nacional desde una perspectiva ambiental e integral que recoja las particularidades de la diversidad regional y las potencialidades de la participación de actores sociales e institucionales”* con el fin de garantizar la sostenibilidad del recurso.

La gestión integrada del recurso hídrico en la caficultura colombiana hace referencia a la conservación y uso racional del preciado líquido en la zona cafetera y comprende el manejo del agua superficial y subterránea, involucrando aspectos cuantitativos, cualitativos y ecológicos e incorporando prácticas sostenibles para el uso y aprovechamiento eficiente del agua y la prevención y el control de la contaminación hídrica, además del manejo de los riesgos asociados al agua mediante un manejo integrado de plagas y del suelo, con la minimización de la contaminación hídrica por efecto de agroquímicos y pesticidas, y la pérdida de fertilidad del suelo por acción de las lluvias.

La Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, a través de su Centro Nacional de Investigaciones de Café - Cenicafé, mantiene una investigación permanente en todo lo relacionado con el ciclo hidrológico asociado al café, como por ejemplo, la evaluación de especies nativas para la reforestación de las microcuencas de la zona cafetera, el monitoreo de las variables climáticas de la zona cafetera y la cuantificación del balance hídrico en cafetales, con el fin de conocer la disponibilidad del agua en la zona, el manejo integrado del suelo para prevenir la erosión y los movimientos masales, la prevención de la contaminación de las fuentes hídricas mediante un manejo integrado de plagas y enfermedades y la eliminación o racionalización del uso del agua en las diferentes etapas del proceso de beneficio húmedo

del fruto, el control de la contaminación de las aguas residuales del café por medio de su tratamiento integral, en el cual se incluyen los tratamientos secundarios y terciarios, con el fin de evitar el impacto negativo en los recursos agua y suelo de la zona cafetera, y el monitoreo de la calidad del agua en algunos ecosistemas acuáticos de la zona cafetera, mediante análisis físico-químicos y la diversidad de macroinvertebrados acuáticos.

En cuanto a especies nativas, cuyo propósito es el de contribuir a la estabilización del balance hídrico y la reducción de la erosión en microcuencas prioritarias de la cuenca media y alta del río Magdalena, a través de un incremento del uso forestal sostenible y la protección de ecosistemas boscosos, las especies que han mostrado el mejor desarrollo en el banco de germoplasma de Cenicafé son el chaquiro (*Retrophyllum rospigliosii*), trapiche (*Prunus integrifolia*), aliso (*Alnus acuminata* spp. *acuminata*), mondey (*Gordonia humboldtii*), roble (*Quercus humboldtii*), cedro negro (*Juglans neotropica*), tambor (*Schizolobium parahyba*) y aceituno (*Vitex cooperii*).

El monitoreo de las variables climáticas ha permitido determinar que las zonas cafeteras de Colombia normalmente son ricas en agua y en las fincas es común observar fragmentos de bosque, cuya función es preservar la calidad de agua de las fuentes. Los estudios del microclima dentro de los cafetales se realizan para establecer los balances hídricos y los balances de radiación solar dentro de ellos, que de acuerdo con las condiciones de cultivo, determinarán las condiciones de temperatura y humedad del aire. Estos elementos de clima dentro de los cafetales influyen directamente sobre la fisiología de la planta y sobre otros organismos, especialmente las enfermedades y las plagas.

Como resultado de numerosas investigaciones, Cenicafé recomienda el manejo racional e integrado de los recursos naturales, de acuerdo con las condiciones del entorno y con su aptitud de uso, con el fin de prevenir los problemas de degradación como la erosión hídrica, los movimientos en masa y la contaminación de aguas, contribuyendo así con la conservación de los suelos, aguas y biodiversidad, especialmente en las zonas de ladera.

La conservación de los suelos y las aguas en las áreas cafeteras, requiere de la implementación de ciertas restricciones en el uso y el manejo de los cultivos y la adopción de prácticas preventivas y de control de la degradación de los suelos, las cuales se deben aplicar no sólo en los cultivos de café, sino en cualquier sistema de producción agrícola, e incluyen la selección y localización apropiada de los cultivos, el establecimiento de coberturas en los suelos, la construcción de trinchos vivos para la canalización de las aguas de escorrentía, el mantenimiento de las bocatomas, el manejo integrado de arvenses y los tratamientos de bioingeniería.

Las prácticas de conservación, especialmente en las laderas, donde se encuentra establecida la caficultura, buscan sostener los niveles de la capacidad de producción del suelo y conservar su fertilidad natural a través del tiempo, con lo que se evita incrementar el uso de fertilizantes químicos y su lixiviación, que es causante de la presencia de nitratos, sulfatos y fosfatos en los cuerpos de agua.

El manejo integrado de plagas y enfermedades del café es un método ecológicamente orientado, que utiliza técnicas de control cultural, biológico y químico, combinadas armónicamente y considerando los niveles económicos de daño, para establecer el momento oportuno para realizar el control. Este modelo ha permitido minimizar la aplicación de agroquímicos y, por consiguiente, su presencia en el recurso suelo y agua, dado que el uso de agroquímicos sólo se lleva a cabo cuando los niveles de infestación lo justifican, y además se hace de forma localizada, en el tiempo apropiado de ataque de la enfermedad o plaga y con la tecnología de aspersión recomendada.

La obtención de progenies resistentes a la roya del cafeto, con probable tolerancia a la enfermedad de las cerezas del café y adaptadas a la oferta climática de la región (Variedades Castillo® Regionales) y su adopción por parte de los productores, tiene un impacto positivo sobre el recurso hídrico, al no necesitar agroquímicos para el control de la enfermedad, productos cuyo ingrediente activo podría lixiviarse con las lluvias y llegar a los cuerpos de agua.

En cuanto al proceso de beneficio convencional, es importante anotar que en éste se utilizan grandes cantidades de agua, dado que el despulpado se realiza en húmedo y el lavado de café, en tanques de fermentación o canales de correteo, con un consumo medio de 40 litros de agua por cada kilogramo de café pergamino seco, contaminándose una gran cantidad de agua con la materia orgánica de los subproductos como son la pulpa y el mucílago, cuya disposición y tratamiento, para evitar impactos negativos en el medio ambiente, resultan costosos, dado el gran tamaño que deben tener los sistemas de tratamiento para depurar tales volúmenes.

En la prevención de la contaminación en el proceso de beneficio del fruto, el primer paso fue hacer un diagnóstico de la contaminación ambiental generada por los subproductos del proceso, realizando un balance de materia en términos de contaminación orgánica y estableciendo estrategias para lograr el uso eficiente del agua en el proceso de beneficio del café.

Las investigaciones desarrolladas en Cenicafé permitieron calcular que la pulpa y el mucílago frescos, cuando no son utilizados en forma adecuada, representan el 72% y el 28%, respectivamente, del problema de contaminación generado 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.

Las estrategias para lograr el uso eficiente del agua han permitido disminuir su consumo de 40 litros a menos de 5 litros por cada kilogramo de semilla obtenida, y abarcan el despulpado y transporte de la pulpa y el café despulpado por gravedad, sin la utilización de agua, y la racionalización en el consumo de agua en la etapa de lavado, utilizando la práctica de cuatro enjuagues en el tanque tina, que tiene aplicabilidad para todos los productores.

Desarrollos tecnológicos como la tecnología Becolsub, que involucra el desmucilaginado mecánico, y que en Colombia se utilizan actualmente cerca de 20.000 equipos, siendo adoptada por productores de diferentes tamaños, permite disminuir los consumos de agua a menos de 1 litro por kilogramo de café pergamino seco; el separador hidráulico de tolva y tornillo sinfín utilizado para realizar la clasificación del fruto y mejorar la calidad de la semilla, permitió disminuir el consumo de agua en la etapa de clasificación de 4,7 litros (consumo del tradicional tanque sifón) a sólo 0,3 litros/kg de c.p.s. Si el 20% de la producción de café (asumiendo una producción anual de 11 millones de sacos) se clasifica en cereza, utilizando el separador hidráulico de tolva y tornillo sinfín, en lugar del tanque sifón, el ahorro anual de agua sería del orden de 771.375 m<sup>3</sup>, suficiente para abastecer de agua a una población de 14.000 habitantes durante todo el año.

Cenicafé diseñó un lavador mecánico (Ecolav), y actualmente está evaluando su comportamiento, con el fin de disminuir el consumo de agua en la etapa de lavado de 4,12 litros (gastados en el tanque tina) a menos de 0,4 litros/kg de c.p.s, lo que tendrá un impacto significativo en la reducción del consumo de agua y en los costos de tratamiento, por el menor volumen de aguas residuales generadas. Si el 20% de la producción de café (asumiendo una producción anual de 11 millones de sacos) se lava en el Ecolav, en lugar del método tradicional en canal de correteo, que utiliza 20 litros/kg de c.p.s., el ahorro anual de agua sería del orden de 3,2 millones de m<sup>3</sup>, suficiente para abastecer de agua a una población de 58.000 habitantes durante todo el año.

En la temática de tratamiento de las aguas residuales del café, Cenicafé ha desarrollado los Sistemas Modulares de Tratamiento Anaerobio (SMTA), que permiten cumplir con lo dispuesto en el Decreto 1594 de 1984, cuya adopción ya ha superado a los 2.000 productores en los departamentos de Magdalena, Tolima, Nariño y Santander.

Los SMTA se construyen utilizando tanques de polietileno como reactores, y trozos de botellas plásticas no retornables de polietilentereftalato (PET), como medio de soporte de microorganismos. Las eficiencias de remoción típica promedio para el estado estable del sistema oscilan alrededor del 80%, 83%, 46% y 74% para DQO, DBO<sub>5</sub>, ST y SST, respectivamente, con afluentes con concentraciones de DQO medias de 25.000 ppm.

En el área de postratamiento y con el fin de cumplir con la nueva normativa ambiental para vertimientos, condensada en el Decreto 3930 del 2010, Cenicafé está investigando en Sistemas de Tratamiento Natural, que involucran macrófitas y que se ubican en serie con los SMTA, permitiendo disminuir la DQO de las aguas mieles de 25.000 ppm (entrada al SMTA) a menos de 400 ppm (salida del sistema natural), reduciendo significativamente el impacto sobre el ecosistema cafetero.

Todos los desarrollos tecnológicos y buenas prácticas agrícolas relacionadas con el manejo del agua, generados en Cenicafé, llegan a los productores a través del Servicio de Extensión de la Federación Nacional de Cafeteros (conformado por cerca de 1.500 técnicos), el cual se encarga de capacitar y apoyar a los caficultores (alrededor de 500.000 familias) en la adopción de las tecnologías y prácticas generadas como resultado del proceso de investigación.

Adicionalmente, la Federación por medio de su Oficina Central gestiona la consecución de recursos financieros a través de convenios con organismos nacionales e internacionales, y con el apoyo de investigadores de Cenicafé y profesionales del Servicio de Extensión, permite que los caficultores de menores recursos puedan acceder al suministro de agua de mejor calidad, mediante la construcción de acueductos veredales, para satisfacer sus necesidades de saneamiento básico en lo que respecta a la construcción de unidades sanitarias, y de esta manera mejorar su calidad de vida.

El desarrollo de capacidades y aprendizaje social es fundamental para alcanzar los objetivos de la gestión integral del agua. Es así como Cenicafé con el apoyo de sus investigadores capacita a los profesionales del Servicio de Extensión y caficultores; así mismo, en asocio con la Fundación Manuel Mejía y el SENA, se construyeron los módulos para realizar la formación y certificación de competencias laborales a jóvenes caficultores, en implementación de buenas prácticas agrícolas en el sistema de producción de café. Convenios con universidades de la zona, como la Universidad Autónoma de Manizales y la Universidad de Manizales, permiten la capacitación en prácticas sostenibles y manejo integrado del agua, a profesionales de diferentes disciplinas y regiones del país, a nivel de especialización y de maestría, con el fin de que sirvan de multiplicadores a escala local, regional y nacional.



## 1. INTRODUCCIÓN

Aunque existe polémica entre cuáles son las principales causas que están ocasionando el calentamiento global, debido a que algunos científicos expresan que son los gases efecto invernadero y principalmente el  $\text{CO}_2$ , mientras que otros argumentan que se debe a las manchas solares que generan una mayor actividad solar, lo único cierto es que estamos viviendo un cambio climático caracterizado por un incremento de temperatura que favorece la evaporación del agua de las fuentes superficiales, cambiando su disponibilidad espacio-temporal y causando, en los últimos años, precipitaciones más fuertes, con capacidad de erosionar los suelos agrícolas, los cuales pierden su fertilidad natural.

La contaminación de las aguas superficiales y subterráneas complica más este panorama, en la medida en que existen menores opciones para la captación de agua limpia y que son mayores las necesidades de inversión para aprovecharla. Los aspectos que más influyen en la calidad del agua de ríos y lagos son: el vertimiento de aguas residuales domésticas mal tratadas o sin tratar, los controles inadecuados de los desechos industriales, la pérdidas y destrucción de las zonas de captación, la ubicación de las fábricas en zonas no aptas para esta actividad industrial, la deforestación, la agricultura migratoria y los inadecuados métodos de cultivo.

La información de los diagnósticos evidencia que en la mayoría de municipios, principalmente de la zona andina, se vierten directamente las aguas residuales a los cuerpos de agua ubicados dentro del perímetro urbano. De los 75,95 m<sup>3</sup>/s de aguas residuales municipales que se produjeron en el país, en el año 2010, tan solo se trataron 18,93 m<sup>3</sup>/s (24,92%) (MAVDT, 2010).

Sólo el 51% de los sistemas de tratamiento de aguas residuales instalados en Colombia presenta funcionamiento entre regular y bueno, dada la poca importancia que se le da a la operación y mantenimiento de estos sistemas, debido a que se cree que el problema se soluciona con la construcción de la infraestructura (MAVDT, 2010). Otro factor que incide en la contaminación de los recursos hídricos es la falta de conciencia sanitaria de la población, la escasa participación público-privada en iniciativas para impulsar proyectos sanitarios y deficiencias institucionales (MAVDT, 2010).

Aunque en Colombia, el recurso hídrico es abundante, con una oferta per cápita neta de 26.770 m<sup>3</sup>/hab-año, en condiciones de año seco (MAVDT, 2010) se presentan dificultades en la disponibilidad espacial y temporal del agua superficial a nivel regional y local. Acciones antropogénicas como la deforestación, el cambio en el uso del suelo y los vertimientos de contaminantes a las fuentes de agua, aunados al fenómeno del calentamiento global y al crecimiento en la demanda de agua en zonas con déficit hídrico, generan una influencia directa sobre la disponibilidad del recurso hídrico en Colombia.

El conocimiento de las relaciones entre el clima y la producción agrícola permiten la gestión eficiente de los recursos a nivel nacional, regional o local. Dentro de un sector productivo los servicios agroclimáticos son útiles cuando se aplican de manera práctica en campos como la regionalización de los cultivos, el asesoramiento sobre los principios del manejo de los microclimas mediante las distancias de siembra, el uso del sombrío, barreras rompevientos y otros, la orientación en las prácticas del cultivo desde la siembra hasta la cosecha, la adopción de medidas para reducir los impactos y atenuar las consecuencias de los eventos extremos, las alertas climáticas tempranas, la definición y validación de estrategias para adaptarse a los eventos de variabilidad climática y a los cambios en el entorno físico, social y económico de los agricultores, las propuestas de asistencia directa para la gestión de los recursos naturales, y para el desarrollo de sistemas agrícolas sostenibles utilizando los avances tecnológicos.

Dentro de las funciones de los suelos en el proceso hidrológico están la regulación y transformación de las fuentes erráticas de agua provenientes de las lluvias en un suministro continuo para las plantas, el almacenamiento por la retención de agua en las capas superficiales, la suplencia de agua por medio del drenaje a las aguas freáticas, a los afloramientos y ríos; además, el suelo actúa como depurador de materiales solubles en agua y de contaminantes de origen natural o antrópico.

La degradación de los recursos suelo y agua, depende en parte de las características del suelo y de las condiciones ambientales, pero se debe en gran medida al uso y manejo no apropiados de estos recursos, por lo tanto para desarrollar, seleccionar y aplicar prácticas adecuadas de uso y manejo de suelos y aguas, que sean efectivas y sostenibles, se requiere un enfoque integral, desde el estudio del efecto de las propiedades del suelo sobre la dinámica del agua en éste, hasta la evaluación del impacto de los sistemas de producción, sobre los procesos hidrológicos, a escala de predio, microcuenca, cuenca o región.

El cultivo del café se ha establecido en una amplia variedad de rangos ecológicos, de tal manera que se pueden encontrar plantaciones con baja tecnificación, que no afectan el ambiente natural. Sin embargo, existen vastas extensiones de cafetales tecnificados, sembrados como monocultivos, que requieren fertilización extensiva y manejo de plagas y enfermedades basadas en el uso intensivo de pesticidas de síntesis orgánica; esto finalmente conlleva a modificar severamente el medio ambiente circundante y cambia los sistemas biológicos de manera drástica, lo cual trae consigo una gran variedad de problemas fitosanitarios. Es así como las plantaciones de café tienen una gran variedad de plagas reportadas y otros artrópodos han comenzado procesos de adaptación en esta especie botánica en diferentes latitudes.

El desarrollo y liberación de variedades de café de alta producción, que mantengan la calidad en grano y en taza tradicional del café colombiano y que sean resistentes a las principales enfermedades y plagas que afectan el cultivo en el país, además de darle estabilidad a la producción y aumentar la rentabilidad del cultivo, al disminuir el costo de los insumos y actividades asociadas al control, especialmente al control químico, contribuyen a un ambiente sano al prevenir el uso de fungicidas que, en mayor o menor medida, van a contaminar los ecosistemas de la zona cafetera.

Es por ello que las investigaciones relacionadas con el manejo integrado del agua en la caficultura, que incluyan la protección de las cuencas, su reforestación, el cálculo del balance hídrico, la prevención de la contaminación, el manejo integrado de enfermedades y plagas, el uso eficiente del recurso hídrico y la depuración de las aguas residuales, a valores que ocasionen el menor impacto negativo posible en los ecosistemas, entre otras, ayudarán a mantener la oferta hídrica, protegiendo el ciclo hidrológico y generando beneficios a los pobladores de la zona cafetera colombiana.

En el capítulo 18 del documento final de la Agenda 21, generado durante la Cumbre de la Tierra, celebrada en Río de Janeiro en 1992, se establece que *“la escasez generalizada de recursos de agua dulce, su destrucción gradual y su creciente contaminación, exige una planificación y ordenación integradas de los recursos hídricos”*.

La Gestión Integrada del Recurso Hídrico debe responder a un modelo en el que se integre, de forma simultánea, el conocimiento multidisciplinario y su aplicación para el bienestar del ciclo hidrológico, en el que participen de forma activa, los diferentes sectores productivos de nuestro país, junto a las autoridades ambientales y la comunidad, con el fin de alcanzar objetivos comunes en la temática del manejo del agua, aplicando el lema del IV Foro Mundial del Agua, celebrado en Ciudad de México *“Acciones locales, cambios globales”*.

Igualmente, el enfoque multidimensional debe estar ligado al modelo integral, tal como lo expresa la Dirección de Agua Potable y Saneamiento Básico y Ambiental en su publicación *Gestión Integral del Agua: “el modelo debe incorporar las dimensiones tecnológica, institucional, económica, social y ambiental”* (MAVDT, 2004).

La Gestión Integrada del Recurso Hídrico imprime coherencia a los intereses vinculados con el uso, control, aprovechamiento, preservación y sostenibilidad de los sistemas hídricos, particularmente cuando se pretende satisfacer, aplicando principios de equidad y de conservación del recurso, las necesidades de los diferentes usuarios y de las partes interesadas, lo que implica asumir responsabilidades relacionadas con su contabilización, conservación y control de uso adecuado.



## 2. ANTECEDENTES

La Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, desde su creación, ha estado atenta a la protección del ambiente, a la conservación de la biodiversidad y a la conservación de los suelos y las aguas de la zona cafetera. Es así, como desde 1945, la máxima autoridad representada en el Congreso Cafetero, consciente de que las condiciones climáticas de las regiones cafeteras son parte integral de su manejo y conservación de los recursos naturales, ordenó la creación de un Servicio Meteorológico propio, operado por el Centro Nacional de Investigaciones de Café - Cenicafé, el cual inició su labor el año de 1950, con el funcionamiento de las estaciones climáticas ubicadas en Cenicafé en Chinchiná (Caldas), Esteban Jaramillo en Venecia (Antioquia), La Florida en Popayán (Cauca), Blonay en Chinácota (Norte de Santander), La Unión en Líbano (Tolima) y una estación pluviométrica en La Bella en Calarcá (Quindío). En el año 2010, en la red climática funcionan 234 estaciones distribuidas desde la Sierra Nevada de Santa Marta hasta Nariño, en todos los departamentos productores de café. La información climática registrada a nivel diario se ha publicado de manera continua en los Anuarios Meteorológicos desde 1950 a 2010.

El Centro Nacional de Investigaciones de Café – Cenicafé, además de contribuir al país y a la sociedad con el funcionamiento de la red climática de la zona cafetera, adelanta estudios climáticos y agroclimáticos para el cultivo del café y realiza actividades como un apoyo para aumentar la productividad en la diferentes regiones cafeteras, con énfasis en el mantenimiento de la sostenibilidad ambiental, económica y social, la misión de Cenicafé es *“Generar tecnologías apropiadas, competitivas y sostenibles, para el bienestar de los caficultores colombianos”*.

Entre los estudios de caracterización de los elementos climáticos de las zonas cafeteras están los relacionados con la lluvia; de ella se analiza la cantidad registrada en diferentes intervalos de tiempo, desde cinco en cinco minutos, hasta los niveles anuales, esta información ha permitido conocer las intensidades máximas y la distribución durante el día y la noche. Mediante el balance hídrico regional se han determinado los períodos húmedos y secos a nivel de décadas, mensual y anual de las zonas cafeteras, con los cuales se pueden planificar y orientar las diferentes labores de cultivo. También se han caracterizado otros elementos del clima como son la temperatura del aire y del suelo, el brillo solar, la evapotranspiración y los vientos.

Para la zona Andina de Colombia, se han regionalizado por latitud y por cuencas hidrográficas la distribución de la lluvia, el brillo solar y la temperatura del aire y se ha establecido la variación de estos elementos con la altitud. Así mismo, se ha hecho zonificación climática mediante los Ecotopos de regiones cafeteras, en especial las localizadas en la cuenca del río Cauca.

La Federación Nacional de Cafeteros financió desde la década de los 60, la investigación necesaria para desarrollar materiales resistentes a la roya del cafeto, usando como fuente de resistencia la colección del Híbrido de Timor, que se encuentra en la Colección Colombiana de Café. En 1968 se sembraron las primeras progenies de cruces con la variedad Caturra, iniciando un esquema de mejoramiento que culminó en 1982 con la liberación de la variedad Colombia. Para los años 90, un tercio del área en café estaba plantada con versiones mejoradas de esta variedad de porte bajo, que aprovechaba la diversidad genética al ser una variedad compuesta, y que exhibió por más de 15 años resistencia completa a la enfermedad (Cadena y Gaitán, 2006).

En 1983 la roya se encontró en cafetales de la zona central cafetera Colombiana. En ese momento se realizaron esfuerzos por educar a los caficultores en la adopción de una nueva labor periódica, como era la aspersión de fungicidas cúpricos para el control químico. En los años ochenta se estudió en detalle la epidemiología de la roya, bajo las diversas condiciones climáticas colombianas, permitiendo una reducción en el número de aplicaciones necesarias para el control preventivo y manejando esquemas de aspersiones basados en calendarios de acuerdo a la zona o en niveles de infección (Cadena y Gaitán, 2006).

Desde la primera aparición de la broca del café en Tumaco, en 1988, las directivas de la Federación Nacional de Cafeteros no han cesado en su empeño de colocar todas las barreras posibles para retardar la entrada de la broca del café a las diferentes regiones cafeteras del país (control por exclusión), y en aquellas áreas ya colonizadas por el insecto se trabaja para enseñar a los productores el manejo integrado del cultivo, dentro del cual el componente broca del café se maneja mediante prácticas que minimizan el uso de agroquímicos.

Cenicafé, desde su creación en 1938, ha tenido como prioritarias las investigaciones en el manejo y la conservación de suelos y ha realizado campañas de defensa y restauración de

suelos, evaluando métodos sencillos para prevenir la erosión y conservar los suelos y su fertilidad, especialmente para proteger la zona de ladera (Suárez de Castro y Rodríguez, 1962). Es así como Gómez *et al.* (1987), sugirieron que en la lucha contra las arvenses debía establecerse un manejo más racional de ellas, mediante la aplicación de los diversos métodos de control, que al integrarse no sólo permitieran resultados óptimos, sino que causaran un disturbio ambiental mínimo, tal como ocurre al seleccionar coberturas protectoras del suelo contra la erosión sin competencia para el cultivo del café, ya que se dejan sólo en las calles y no en la zona de raíces o plato del árbol. Estos autores encontraron que es más económico y razonable en cuanto a la protección de los recursos suelo, agua, flora y fauna hacer parcheos frecuentes para eliminar plantas que compiten con el cafetal, que realizar controles generales, ya que estos últimos, además de dejar el suelo totalmente desprotegido, demandan mano de obra adicional para plateos más intensos y frecuentes, descope de arvenses muy altas e incidencia mayor de arvenses agresivas.

En lo relacionado con el tratamiento de las aguas residuales, La Federación Nacional de Cafeteros a través de sus diferentes dependencias (Cenicafé y Comités Departamentales de Cafeteros), realizó investigaciones, utilizando en algunos casos tratamientos físicos y en otros tratamientos químicos o biológicos. Desde 1984, se han efectuado investigaciones relacionadas con el manejo eficiente del agua en el proceso de beneficio húmedo del café y con el tratamiento anaerobio de las aguas residuales generadas en el proceso, tendientes a encontrar la solución más económica para descontaminarlas. Dichas investigaciones se realizaron tanto a escala de laboratorio, de planta piloto y de campo, en las instalaciones de Cenicafé y en las fincas de productores de los departamentos de Caldas, Quindío, Risaralda y Valle.



### 3. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

La zona cafetera colombiana se encuentra localizada en el complejo orográfico entre los 1.000 y los 2.000 m de altitud, y está comprendida entre 1° y 10° de latitud Norte, con una extensión de 3.050.141 hectáreas (Federacafé, 2008). Del área sembrada, el 75% se encuentra localizada en los departamentos de Caldas, Antioquia, Tolima, Cundinamarca, Quindío y Risaralda (zona central cafetera), los cuales proporcionan aproximadamente el 85% de la producción cafetera nacional.

Actualmente, el 64% de los caficultores colombianos son minifundistas, con menos de media hectárea de café. Aunque este grupo provee 15% de la producción, genera parte significativa de la mano de obra requerida en las unidades productivas grandes. El 31% de los productores corresponde a unidades cafeteras con un promedio de 2,2 hectáreas, que responden por 40% de la producción. Y los cafeteros empresariales son el 5%, con fincas que fluctúan entre 7 y 35 hectáreas y producen el 45% del total de la cosecha (Federacafé, 1997).

La producción media de café en los últimos 10 años estuvo alrededor de 11 millones de sacos (1 saco equivale a 60 kg de café almendra) y se realiza en 590 municipios de 16 departamentos, en un área de 874.000 ha, distribuidas en 513.000 fincas (Federacafé, 2008).

Tradicionalmente el café ha sido beneficiado por vía húmeda, dando origen a una bebida suave de alta calidad, pero generando problemas de contaminación del medio ambiente. De acuerdo con la distribución de los macrocomponentes del fruto fresco y maduro de

café, sólo el 9,5% del peso es utilizado en la preparación de la bebida. El 90,5% restante lo constituyen el agua y los subproductos del proceso, de los cuales los principales son la pulpa y el mucílago (Calle, 1977).

En el beneficio húmedo tradicional, estos subproductos son removidos durante las etapas de despulpado y lavado, utilizando altas cantidades de agua: los consumos se ubican alrededor de los 40 litros por kilogramo de café pergamino seco, distribuidos así: 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).

Investigaciones desarrolladas en Cenicafé permitieron calcular que la pulpa y el mucílago frescos, cuando no son utilizados en forma adecuada, representan el 72% y el 28%, respectivamente, del problema de contaminación generado en el proceso de beneficio húmedo del café (Zambrano y Zuluaga, 1993). Por tal motivo es necesario buscar sistemas de transformación de estos subproductos, que sean simples y eficientes, que eviten o controlen la contaminación ambiental y que los valoricen, para que sean practicados con entusiasmo por los caficultores.

De la operación de remoción de mucílago se generan aguas residuales y lixiviados, con una carga orgánica, en términos de la DQO, que oscila entre 25.000 (Zambrano *et al.*, 1999) y 110.000 ppm (Zambrano y Cárdenas, 2000), y que generan impactos ambientales significativos sobre el ecosistema cafetero.

Las aguas residuales del lavado del mucílago fermentado, provenientes de una producción de 1.000 @ de c.p.s., generan una contaminación equivalente a la generada en aguas negras por una población de 14.400 habitantes en un día. Para esta misma producción de café y con remoción mecánica de mucílago, los lixiviados que escurren de la mezcla pulpa-mucílago, generan la mitad de la contaminación anterior, en concentraciones que superan 200 veces las de aguas residuales de una alcantarilla doméstica.

En la zona cafetera central, donde predominan los suelos de ladera, los patrones de asentamientos humanos y los procesos de cambios en el uso del suelo y en las coberturas, están afectando la calidad de agua y suelos, y en consecuencia el comportamiento del ciclo hidrológico en las cuencas, en este sentido los suelos juegan un papel hidrológico determinante en la distribución del agua como componente que permite la recarga de acuíferos y, por lo tanto, condiciona la disponibilidad de agua para la vegetación y de forma indirecta el caudal de los ríos.

La erosión del suelo es un problema serio, especialmente en regiones tropicales, donde las condiciones topográficas y climáticas hacen que los suelos presenten alto riesgo a los procesos erosivos, la intervención del hombre a través del uso o manejo intensivo e inadecuado de los suelos, es un factor importante para que este proceso de degradación se acelere.

En muchos casos el problema de la erosión del suelo tiende a ser ignorado por los agricultores, o es ocultado por el uso de variedades altamente productivas, altas densidades de siembra,

adición de fertilizantes sintéticos y uso intensivo de plaguicidas, entre otros casos; así mismo, no se tiene conciencia de la conservación que se debe dar a estos recursos no renovables en el corto o mediano plazo y, por el contrario, las prácticas preventivas para la conservación de suelos y aguas son vistas como una inversión que no genera ingresos adicionales.

Tradicionalmente en la zona cafetera se ha realizado el control de arvenses mediante diferentes sistemas de desyerba, tales como el azadón, el machete y en los últimos años, los herbicidas post-emergentes y de uso pre-emergentes, especialmente, desprotegiendo totalmente los suelos de coberturas vegetales. Estos sistemas han conducido a un desgaste permanente de la capa orgánica por la erosión, a la pérdida de productividad y al incremento de los costos de producción de café, como consecuencia de la alta frecuencia en las desyerbas (Rivera, 1999).

Las altas densidades de siembra de la caficultura moderna, acompañadas de lluvias frecuentes, incrementan la severidad de enfermedades como el mal rosado (*Corticium salmonicolor*), afectando gravemente las ramas productivas, causando momificación de frutos y, eventualmente, la muerte del árbol por anillamiento del tronco. El exceso de humedad en el suelo y en el ambiente favorece la presencia de la roya del cafeto (*Hemileia vastatrix*), que es la principal enfermedad que afecta al cultivo del café. En los últimos años las condiciones climáticas en Colombia, han sido favorables para que se desarrollen severas epidemias de esta enfermedad en las variedades susceptibles, particularmente en la variedad Caturra, hasta el punto que es una de las causas de la baja de producción registrada en los últimos dos o tres años. Es posible controlar la enfermedad mediante el uso de fungicidas químicos, como los recomendados por Cenicafé (Rivillas *et al.*, 1999), pero aunque estos fungicidas son de baja categoría toxicológica, no dejan de ser un peligro para el ambiente por la contaminación que ocasionan.

Igualmente exceso de humedad del suelo y el ambiente ha incrementado la ocurrencia de llagas radicales y ha favorecido el ataque de babosas, que ocasionan el anillamiento del tallo en plantas jóvenes (Posada *et al.* 2001). Cuando se registra exceso hídrico se pueden presentar síntomas como la pudrición de la raíz y clorosis de las hojas, seguido por la muerte del árbol.

Problemas asociados a la nutrición de la planta se hicieron más evidentes por las altas densidades de siembra, como la mancha de hierro (*Cercospora coffeicola*), que además de afectar las hojas en plántulas de almácigo, ataca el pericarpio de frutos verdes y maduros, afectando la calidad del grano en lesiones avanzadas. Por su parte, la incidencia de las llagas radicales (*Rosellinia bunodes* y *R. pepo*) se hizo más notoria cuando las raíces de los árboles de sombrero removidos de suelos ricos en materia orgánica, actuaron como fuentes de inóculo, resultando en pérdidas por la muerte inevitable del cafeto afectado, así como por la remoción preventiva de las plantas sanas localizadas alrededor del foco para controlar la dispersión (Cadena y Gaitán, 2006).

El uso intensivo e indiscriminado de agroquímicos para combatir las enfermedades y plagas del café ha dado lugar a varios problemas: la alteración ambiental fuera del área tratada con el agroquímico, resultando en un incremento de los problemas de las plagas en cultivos

adyacentes o la creación de un problema de plagas donde antes no existía; los peligros para la salud humana por envenenamientos con agroquímicos, y la contaminación de los recursos naturales como son el aire, suelo y agua.

Circunstancias actuales de la producción cafetera, entre las que se encuentran la disponibilidad de agua, eficiencia en la producción, costos de beneficio, calidad del café, ambiente sano, regulaciones ambientales, entre otras, así como una conciencia naciente por los problemas de contaminación ambiental generados por la inadecuada disposición o utilización de los subproductos, han generado la necesidad de revisar y optimizar cada una de las etapas involucradas en el proceso de beneficio húmedo del café, con el fin de realizar acciones tendientes a prevenir, reducir o tratar la contaminación que se genere en cualquiera de ellas.



## 4. JUSTIFICACIÓN

El establecimiento de sistemas apropiados de producción, acordes con las disponibilidades técnicas y económicas de los agricultores, permite minimizar y prevenir la degradación de los suelos y conservar la cantidad y calidad del agua, mediante prácticas integrales de conservación de suelos y aguas, que a la vez mantengan o incrementen la productividad de los suelos con sistemas de manejo técnicos, apropiados, oportunos y de bajo costo. Para lograr que el caficultor implemente en forma adecuada y permanente estas prácticas, se requiere de un trabajo conjunto entre investigadores, extensionistas y comunidad, tendiente a mejorar o adaptar prácticas a nivel tecnológico y organizativo, que permitan aportar a la producción sostenible de café.

La solución de la problemática que generan las aguas mieles tiene repercusiones ambientales en la protección de los recursos naturales, sociales a la luz de la mejora de la calidad de vida de nuestros caficultores, representada en menores riesgos de enfermedad de transmisión hídrica y conservación de sitios para recreación, y económicos que es un requisito en la comercialización de cafés especiales, los cuales tienen un precio preferencial, además que la mala calidad del agua afecta la calidad del grano, lo que representa pérdidas para nuestros productores.

Debido a que la gran mayoría de nuestros productores son pequeños agricultores, se tuvo como reto diseñar estrategias para el manejo eficiente del agua en el proceso de beneficio y sistemas de tratamiento, que fueran eficientes, sencillos, económicos y modulares para tratar las aguas mieles, que pudieran ser adoptados sin dificultad por nuestros productores y que perduraran en el tiempo, favoreciendo la comercialización de su café y permitiendo conservar los recursos naturales.

La importancia que tiene la solución del problema que generan las aguas residuales es evidente dada la proyección directa que tiene éste sobre la salud del campesino y la calidad del ecosistema en la zona cafetera. De acuerdo con el Departamento Nacional de Planeación- DNP, para el año de 2001 la tasa promedio proyectada de mortalidad infantil en Colombia fue de 21 por cada 1.000 nacidos (MinSalud, 2001); una alta proporción de estos niños mueren por enfermedades directamente relacionadas con la mala calidad del agua, como es el caso de la gastroenteritis.

Desde el punto de vista técnico, los procesos anaerobios brindan la posibilidad de reducir la contaminación de aguas residuales con elevada carga orgánica, característica de los efluentes líquidos del proceso de beneficio húmedo del café. Además, los costos de tratamiento anaeróbico son más reducidos si se les compara con los tratamientos convencionales de tipo aeróbico (Zambrano *et al.*, 1999). Desde el punto de vista económico, no es necesario calcular las ganancias que genera el hecho de mantener la población campesina del país en un buen estado de salud. Estas ganancias se expresan en menores gastos de salud pública (atención médica y hospitalaria) y en menores pérdidas por días no trabajados por incapacidad.

El efecto económico de la calidad del agua también puede expresarse en las pérdidas por mala calidad de los productos agrícolas que necesitan de este elemento en sus procesos de post-cosecha, para nuestro caso, en el beneficio del café.

De otra parte, la composición química de los residuos orgánicos generados en la zona cafetera, hace que éstos sean apropiados para ser utilizados en la producción de abono orgánico (Dávila y Ramírez, 1996) y en el cultivo de hongos comestibles y medicinales (Rodríguez y Jaramillo, 2005). Las grandes fortalezas del área cafetera para este aprovechamiento, son la gran disponibilidad de subproductos fibrosos, la diversidad de climas apropiados para el cultivo de los hongos y las ventajas comparativas que se tienen por la cercanía a los grandes mercados. Esta forma de aprovechamiento, además de darle valor agregado a los subproductos, evitan que éstos se convierten en fuentes de contaminación ambiental de los recursos suelo y agua.

El efecto benéfico de la aplicación de abonos orgánicos al suelo se debe al suministro inmediato de sustancias nutritivas y al mejoramiento o mantenimiento de las condiciones físicas del suelo, tales como la granulación, la estabilidad estructural y la relación aire-agua. Es decir, los abonos orgánicos son acondicionadores físicos del suelo de valor incalculable.

Al cultivar un suelo debe protegerse la capa superficial donde se encuentra la materia orgánica y evitar pérdidas por lavado o volatilización de sus nutrientes. Es importante devolver al suelo nuevas fuentes de materia orgánica mediante su incorporación.

Las cuencas son llamadas también áreas de drenaje natural, en donde se recolecta y almacena agua, para los diferentes usos, por ello la preservación de las cuencas en la zona cafetera es vital para el desarrollo integral del caficultor. Éstas se constituyen en las unidades primordiales del ciclo hidrológico, por lo que es necesario reforestarlas, dado que

su vegetación regula los suministros de agua, absorbe las lluvias que se infiltran en el suelo y llegan a los ríos, ayuda a la regulación del clima y provee un hábitat a una gran variedad de plantas y animales. De no existir vegetación en las cuencas, se presentaría erosión de los suelos y desaparición de fuentes de agua en períodos de sequía y el transporte de sedimentos hacia los ríos y lagos causaría un deterioro significativo del recurso hídrico.



## 5. OBJETIVOS

### Objetivo general

- Generar un modelo para la Gestión Integral del Recurso Hídrico en la caficultura colombiana, que sea eficiente, económico y de fácil adopción por parte de todos los productores, para proteger, conservar, aprovechar y disponer adecuadamente el recurso hídrico de la zona cafetera, manejando de forma eficaz los riesgos inherentes al recurso.

### Objetivos específicos

- Estrategias para la protección y conservación del recurso hídrico obtenidas de las investigaciones en conservación de suelos, manejo integrado de enfermedades y plagas, estudios climáticos, balances hídricos, especies forestales.
- Diagnóstico de la contaminación del agua generada en cada una de las etapas del proceso de beneficio húmedo del café.
- Estrategias para reducir la contaminación y el consumo de agua en el proceso de beneficio húmedo del café.
- Tecnologías apropiadas, económicas e integrales para el tratamiento de las aguas residuales generadas en el proceso de beneficio, que eviten el impacto biológico en el ecosistema acuático cafetero.
- Identificación de acciones relacionadas con la educación sobre el agua, el desarrollo de capacidad y aprendizaje social.
- Identificación de acciones relacionadas con la consecución de recursos externos para facilitar el abastecimiento de agua, el saneamiento básico y la protección del recurso hídrico en la zona cafetera.



## 6. METODOLOGÍA

### 6.1. Manejo del agua en el proceso de cultivo

Mediciones del flujo de agua en el ciclo hidrológico, tales como la cantidad de lluvia que ingresa al ecosistema, la determinación de la cantidad de lluvia que atraviesa la vegetación incidiendo en la superficie del suelo, la cuantificación del agua de escorrentía a través de un área de captación y la determinación de la humedad del suelo, han permitido conocer los aspectos hidrológicos en áreas de bosques en zona cafetera y en los cultivos de café al sol y bajo la sombra y el transporte de nutrientes en el agua lluvia que puede alterar de forma significativa la calidad del agua en las fuentes subterráneas y superficiales.

Los registros diarios de lluvia, por períodos superiores a los 10 años, en las estaciones de la red climática de Cenicafe previamente georeferenciadas, se han utilizado para determinar los factores de erosividad de la lluvia en los suelos de diferentes municipios cafeteros de Colombia; la construcción de parcelas de escorrentía en zonas con y sin la adopción del manejo integrado de arvenses, ha permitido determinar las pérdidas de suelo por erosión en sistemas de producción de café con cultivos intercalados, la cuantificación de las aguas de escorrentía y percolación junto con las características físicas y químicas del suelo como son la resistencia a la penetración, distribución del tamaño de partícula, densidad aparente, estabilidad estructural de los agregados y contenido de materia orgánica, y la utilización de un simulador de lluvias, han permitido determinar la erodabilidad de los suelos de la zona cafetera.

La evaluación de especies forestales nativas para la reforestación de las microcuencas de la zona cafetera incluye entre otros aspectos, la recolección de los frutos maduros, la

extracción de la semilla, su selección por flotación y el secado de la semilla viable para su almacenamiento o germinación. La semilla germinada se trasplanta al germinador y luego al vivero, en donde se le hace un manejo agronómico y posteriormente se trasplanta a su lugar definitivo y se inician las prácticas agronómicas, de acuerdo con la edad de la planta, las medidas biométricas inherentes a su crecimiento y el estudio de las enfermedades y plagas y su control.

## 6.2. Manejo del agua en el proceso de beneficio del fruto

El primer paso en el manejo integrado del agua en el proceso de beneficio húmedo del café fue realizar un diagnóstico de la contaminación ambiental generada por los subproductos del proceso de beneficio del café, realizando un balance de materia en términos de contaminación orgánica y estableciendo estrategias para lograr el uso eficiente del agua en el proceso de beneficio del café. Para ello, se estudió el Proceso de Beneficio Húmedo de Café (PBHC) simulándolo a pequeña escala y bajo condiciones controladas.

El tercer paso consistió en determinar el mejor método de tratamiento para las aguas residuales generadas en la etapa de lavado del grano.

En 1984, Cenicafe estudió las diferentes propuestas que estaban disponibles para el tratamiento de las aguas residuales del café, pero con excepción de la digestión anaerobia, los demás sistemas de tratamiento fueron descartados por aspectos técnicos o económicos. Los procesos aeróbicos para el tratamiento de las aguas residuales de café como lodos activados de alta o de baja carga, filtros biológicos, lagunas de oxidación aireadas e irrigación son soluciones que están drásticamente limitadas por la topografía de la zona cafetera colombiana. Mientras que con la ozonización, de un estudio preliminar, se concluyó que ésta tenía capacidad de reducir la carga orgánica a un costo excesivo.

Entre 1984 y 1994, se realizaron investigaciones a escala de laboratorio que tuvieron como propósito evaluar, en reactores a pequeña escala, diferentes tecnologías de tratamiento anaerobio de las aguas residuales del proceso de beneficio húmedo del café, con el fin de conocer los porcentajes de remoción de la carga orgánica y la influencia de diferentes variables, entre las que se encuentran la acidez, temperatura, tipo de reactor e inóculos, entre otros, sobre el proceso de depuración. Posteriormente, se desarrollaron estudios a escala de planta piloto, entre el 1990 y el año 2000, con el fin de verificar a escala semi-industrial la información producida en el laboratorio, para encontrar los parámetros de diseño adecuados, desde el punto de vista técnico y económico, para generar la solución más eficiente a nivel de campo, para pequeños, medianos y grandes caficultores, en el tratamiento de las aguas residuales del proceso de beneficio húmedo del café.

La planta piloto estuvo constituida por tres tanques cilíndricos de 8 m<sup>3</sup>, en mampostería, para la maduración del lodo y almacenamiento de agua limpia y agua residual, un reactor hidrolítico rectangular de 10 m<sup>3</sup>, para realizar la separación de fases; el reactor metanogénico de 11,76

m<sup>3</sup>, conformado por tecnología mixta de manto de lodos UASB y filtro de flujo ascendente UAF<sub>11</sub>, construido en acero inoxidable y de forma cilíndrica (relación altura diámetro próxima a 3); y una campana para almacenamiento del biogás generado, con capacidad de 4 m<sup>3</sup>. Posteriormente, se desarrolló un sistema de tratamiento anaerobio con separación de fases, que operara por gravedad, sin necesidad de utilizar fuentes de calentamiento diferentes a la energía solar y con la imperiosa necesidad de que funcionaran sin el uso de álcali para neutralizar las aguas mieles, dado los altos costos asociados a la compra del NaOH para la neutralización y a la mano de obra requerida para su dosificación, con el fin de generar un sistema de tratamiento que fuera fácilmente adoptado por nuestros caficultores. Estas investigaciones se desarrollaron entre 1993 y 2006.

La separación de fases y la inclusión de una recámara dosificadora entre el reactor hidrolítico y el reactor metanogénico, permitió la utilización de reactores UAF para la etapa metanogénica, siendo éstos elementos los componentes de los Sistemas Modulares de Tratamiento Anaerobio (SMTA), propuestos para el tratamiento de las aguas mieles a escala de campo.

En la actualidad, los SMTA funcionan contiguos a los beneficiaderos, en los cuales se han adoptado el despulpado y transporte de pulpa en seco y el lavado del café en los tanques de fermentación tradicional, adaptados a tanques tina, utilizando para ello cuatro enjuagues de la masa, lo que permite tener un consumo de agua menor a 5,0 L/kg de c.p.s., y alcanzar concentraciones de DQO en los residuos cercanas a 27.000 ppm.

Para los caficultores que remueven el mucílago mediante esfuerzos mecánicos, utilizando desmucilaginosos, se diseñó un Sistema de Tratamiento Primario de los Lixiviados generados en la tecnología Becolsub, basado en principios físico-químicos, como el efecto invernadero, el compostaje, el secado y la hidrólisis-acidogénesis. El sistema consta de un acondicionador de pulpa, una unidad de control de insolubles, un filtro preacidificador y un lecho de secado.

Actualmente se estudia la implementación del tratamiento secundario a escala cafetera, incorporando un SMTA en serie, buscando la solución integral al problema de contaminación de los lixiviados, tal como se hizo con los SMTA para las aguas mieles.

Con el fin de conocer el impacto ecológico que generan los efluentes del SMTA, en Cenicafé se realizaron bioensayos a nivel de laboratorio, utilizando tres organismos pertenecientes a diferentes niveles tróficos dentro de la cadena alimenticia: *Chlorella vulgaris* (alga), *Daphnia pulex* (microcrustáceo) y *Lebistes reticulatus* (pez), determinándose la concentración efectiva media (CE<sub>50</sub>) para el alga y la concentración letal media (CL<sub>50</sub>) para los otros dos bioindicadores.

Considerando que los efluentes de los SMTA generan efectos tóxicos sobre la vida acuática, se determinó que éstos deben ser post-tratados, antes de ser vertidos a los cuerpos de agua de la zona cafetera, mediante la implementación de un sistema de tratamiento económico y de fácil adopción por parte de los productores y que tenga la capacidad de reducir la

carga orgánica de los efluentes del SMTA a valores por debajo de 490 y 279 ppm, en términos de DQO y DBO<sub>5</sub>, respectivamente, con el fin de minimizar su impacto ecológico. Por lo tanto, se buscó generar la información necesaria para el diseño de un biosistema integrado, que utilizara macrofitas para el postratamiento de las aguas mieles del café, de forma que sus efluentes generen el menor impacto negativo posible sobre el ecosistema acuático cafetero, presentando alternativas viables, desde el punto de vista técnico, económico, ambiental y social, para la adecuada disposición de la biomasa generada durante el proceso de depuración.

Se buscó determinar el efecto de la concentración y la carga orgánica, como DQO, de los efluentes de los sistemas modulares de tratamiento anaerobio, utilizados en el tratamiento de las aguas mieles del café, sobre los rendimientos de depuración de las especies acuáticas flotantes: *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms (jacinto de agua), *Pistia stratiotes* L., (lechuga de agua), *Salvinia auriculata* Aubl (oreja de agua) y de la especie emergente *Typha angustifolia* L. (eneá).

Para ello, en estado estable, se determinaron los porcentajes de remoción de carga orgánica, evaluada en términos de DQO, DBO<sub>5</sub>, Sólidos Totales y Sólidos Suspendidos Totales, la remoción de nutrientes como N, P y K y la remoción microbiológica del grupo coliformes (totales y fecales) y las tasas de crecimiento de la biomasa. De igual manera, se evaluó el desempeño de un monocultivo versus una combinación de especies, en sistemas acuáticos utilizados para post-tratar las aguas mieles del café.

Se determinó la cantidad de N, P, K que las macrofitas acuáticas eliminan del agua residual e incorporan a sus tejidos. Para ello, se tuvieron en cuenta las tasas de crecimiento de las macrofitas evaluadas y periódicamente se caracterizó la biomasa cosechada mediante el análisis de minerales.

Se evaluó la biomasa generada en el sistema de postratamiento como sustrato para la producción de abono orgánico mediante lombricultivo. Para ello, se ensayó la biomasa cosechada sola (por especie) y mezclada (utilizando todas las especies evaluadas), como alimento de la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*).



## 7. RESULTADOS

### 7.1. Variables climáticas y balance hídrico de la zona cafetera

Con relación a los balances hídricos presentes en un bosque y en cafetales a libre exposición solar y bajo diferentes sombríos, la mayor proporción de lluvia que ingresa al sistemas es retenida por la parte aérea de la planta (30% al 56%), estos valores de interceptación son de gran importancia en regiones secas, ya que una cobertura densa del sombrío podría limitar el agua disponible para el cultivo del café. Igualmente, la gran proporción de agua que se infiltra puede ser significativa en regiones húmedas por el lavado de los nutrientes a través del perfil de suelo. De acuerdo con los estudios de la distribución de la lluvia en los cafetales, los caficultores necesitan tener el control en los siguientes aspectos: a. En la interceptación que depende de la densidad del cafetal y del sombrío la cual controla las cantidades de agua que llegan al suelo. b. En la cantidad de agua que se mueve en el perfil del suelo y que va influir en el movimiento de los nutrientes; c. En la cantidad de agua que se desplaza por la superficie del suelo y que influye en los procesos de erosión superficial del suelo.

Cenicafé ha realizado estudios mediante modelos para simular la producción potencial del cultivo del café, estos trabajos relacionan el clima con la respuesta fenológica del cultivo, esto es, los procesos de desarrollo y crecimiento del café de acuerdo a las condiciones ambientales.

Además, se ha estudiado la incidencia de enfermedades especialmente la roya del cafeto, de acuerdo con la distribución de la lluvia y la temperatura en diferentes regiones cafeteras,

las poblaciones de plagas como la broca, se han determinado las épocas recomendables para la siembra de los cafetos y se han establecido los rangos adecuados de lluvia para el cultivo de café en Colombia.

El Centro Nacional de Investigaciones de Café ha estudiado la variabilidad climática de las zonas cafeteras, con énfasis en los Fenómenos de El Niño y La Niña y su influencia en el cultivo del café, estos eventos tienen un gran impacto en la producción nacional. Los períodos de ocurrencia de El Niño, debido a su condición de menor lluvia, normalmente favorecen la producción de café en las regiones húmedas, al aumentar el brillo solar y la temperatura, pero en las regiones secas tiene efectos desfavorables por aumentar las pérdidas por la formación de fruto vano o en sus estados más avanzados de falta de agua por la formación de grano negro. Durante la condición de El Niño se incrementan los niveles de broca en los cafetales. Igualmente, durante la ocurrencia de los eventos de La Niña se presentan condiciones desfavorables para la floración del café por el exceso de lluvia y disminución de la temperatura y el brillo solar; estas condiciones favorecen los aumentos en la incidencia de la roya del cafeto.

Con la información climática generada en la red meteorológica de Cenicafé, se han determinado las áreas de la zona cafetera favorables para el establecimiento y la adaptación de otros cultivos como el caucho y los cítricos.

Cenicafé ha elaborado instructivos educativos relacionados con el clima, mediante publicaciones y cursos virtuales, y ha emprendido acciones para establecer avisos de alertas tempranas para las condiciones del clima, y los niveles de roya y broca del café.

## **7.2. Especies forestales nativas para la reforestación de microcuencas de la zona cafetera**

En los últimos 15 años la FNC ha concentrado parte de sus actividades forestales dentro de un convenio bilateral entre los gobiernos de Alemania y Colombia, con el propósito de contribuir la estabilización del balance hídrico y la reducción de la erosión en microcuencas prioritarias de la cuenca media y alta del río Magdalena, a través de un incremento del uso forestal sostenible y la protección de ecosistemas boscosos.

La Federación Nacional de Cafeteros y su Programa Forestal Río Magdalena - KFW, con 40.389 ha (18% del área reforestada en el país), es la segunda empresa con mayor área plantada y la primera con superficie más grande en especies nativas 14.123. Igualmente dentro del desarrollo de las Fases II y III (Programa de Silvicultura), se ha logrado la selección y conservación mediante incentivos, de 12.718 hectáreas de relictos de bosques naturales primarios o secundarios, dependiendo de su importancia hídrica y florística, por estar asociados con sistemas abastecedores de acueductos veredales y municipales. Mediante enriquecimiento florístico de bosques degradados, se han incentivado e intervenido 4.109 hectáreas, incorporando especies forestales nativas, que tengan certeza de desarrollo, por

las condiciones particulares del sitio. El enriquecimiento florístico se logra sembrando 120 árboles por hectárea de especies nativas (Figuras 1 - 5).

En diversos estudios llevados a cabo por Cenicafé, sobre aspectos de biodiversidad en zonas cafeteras, se ha encontrado que pese a los esfuerzos de la FNC en materia de política sectorial, educación e implementación de estrategias de sostenibilidad, persiste una grave crisis de biodiversidad en las regiones andinas, destacando la fragmentación de los bosques en las laderas andinas como uno de los factores que más ha incidido en la pérdida de la biodiversidad, junto con la ausencia de alternativas económicas derivadas de su conservación, debido básicamente a la carencia de información.

Por ello y con el fin adicional de contribuir a mantener la biodiversidad genética de los ecosistemas forestales andinos colombianos, desde 1996 se desarrolla la investigación "Conservación de recursos genéticos forestales en la región andina Colombiana", la cual tiene dentro de sus objetivos el establecimiento de bancos de conservación *ex situ*, de las especies de mayor importancia y riesgo de desaparición dentro de los bosques de la zona cafetera.



**Figura 1.** Detalle de algunas especies forestales nativas asociadas a café en Venecia (Antioquia). **a.** Jagua (*Genipa americana*); **b. y c.** Molinillo (*Magnolia hernandezii*); **d.** Cedro amarillo (*Pseudosamanea guachapele*); **e.** Chaquiro (*Retrophillum rospigliosii*); **f.** Ceiba tolúa (*Pachira quinata*).



**Figura 2.** Detalle de especies forestales nativas sembradas en El Tambo (Cauca). **a.** Cucharo (*Myrsine guianensis*); **b.** Trapiche (*Prunus integrifolia*); **c.** Balso (*Ochroma pyramidalis*); **d.** Cascarillo (*Ladenbergia magnifolia*).



**Figura 3.** Especies forestales sembradas en El Tambo (Cauca). **a.** Guayacán de Manzales (*Laphoensia puniceifolia*); **b.** Guamo macheto (*Inga spectabilis*); **c.** Tambor (*Schizolobium parahyba*)



**Figura 4.** Especies sembradas en Belén de Umbría (Risaralda). **a.** Chaquiro (*Retrophyllum rospigliosii*) y Cedro negro (*Juglans neotropica*); **b.** Chaquiro; **c.** Tambor (*Schizolobium parahyba*).



**Figura 5.** Especies sembradas en Dosquebradas – Risaralda. **a.** Mondey (*Gordonia humboldtii*); **b.** Romerón (*Podocarpus oleifolius*); **c.** Chaquiro (*Retrophyllum rospigliosii*); **d.** Roble blanco (*Quercus humboldtii*); **e.** Trapiche (*Prunus integrifolia*); **f.** Cedro negro (*Juglans neotropica*).

**Tabla 1.** Bancos de conservación ex situ establecidos por Cenicafé

Departamento	Municipio	Finca	Altitud (msnm)	Área (ha)	Edad (años)	Especies destacables
Caldas	Chinchiná	Estación Central Naranjal	1.400	1,2	10,5	<i>Cedrela odorata</i> , <i>Prunus integrifolia</i> , <i>Vitex cymosa</i> , <i>Tabebuia rosea</i> , <i>Cordia alliodora</i> , <i>Tabebuia donell-smithii</i> , <i>Acrocarpus fraxinifolius</i> , <i>Guarea guidonia</i> , <i>Cordia gerascanthus</i> , <i>Schizolobium parahyba</i> , <i>Jacaranda copaia</i> , <i>Courupita darienensis</i> , <i>Centrolobium paraense</i> , <i>Swietenia macrophylla</i> , <i>Garcinia madrunno</i> .
Risaralda	Belén de Umbría	La Cascada	1.736	2,5	11,5	
Tolima	Libano	Isidro Parra	1.590	1,8	10,5	
Antioquia	Venecia	Estación Experimental El Rosario	1.420	1,4	4,5	

**Tabla 2.** Especies nativas de mejor desarrollo dentro de los bancos de germoplasma de Cenicafé

Especie	Edad de medición (años)	Crecimiento medio anual (CMA)		Altitud (m)
		Diámetro (cm/año)	Altura (m/año)	
Chaquirol ( <i>Retrophyllum rospigliosii</i> )	11,7	1,54	0,76	2.150
	11,0	1,6	0,84	2.000
	10,2	1,56	0,8	1.750
Trapiche ( <i>Prunus integrifolia</i> )	9,1	1,06	0,77	2.150
	10,3	1,02	1,01	1.750
Aliso ( <i>Alnus acuminata</i> spp <i>acuminata</i> )	10,9	1,32	1,17	2.150
Mondey ( <i>Gordonia humboldtii</i> )	11,3	1,05	0,87	2.150
	11,0	1,47	1,28	2.000
Roble ( <i>Quercus humboldtii</i> )	11,3	0,84	0,75	2.150
Cedro negro ( <i>Juglans neotropica</i> )	11,0	1,12	1,07	2.000
Tambor ( <i>Schizolobium parahyba</i> )	11,4	2,15	1,41	1.750
	10,7	1,13	0,89	1.750
Aceituno ( <i>Vitex cooperii</i> )	11,7	0,83	0,51	1.750
	10,7	1,25	0,88	1.400

En total, se han identificado 43 especies para conservación *ex situ*, las cuales están siendo evaluadas en siete bancos de conservación establecidos por Cenicafé (Tabla 1), con un área experimental de 18,7 ha, distribuidas así: 9,9 ha en zona cafetera y 8,8 ha en zona alta (por encima de 1.800 m). De éstas, alrededor de 18 especies han sido declaradas por el Instituto Alexander von Humboldt y el Instituto de Ciencias Naturales de la Universidad Nacional, en riesgo, en peligro o vulnerables.

Los bancos de germoplasma (Tabla 2), además de la conservación de especies con esta categoría riesgo, han permitido conservar, evaluar y determinar el manejo silvicultural más adecuado para 16 especies, en temas relacionados con vivero, establecimiento de plantaciones, manejo silvicultural (entresacas, raleos y podas), turnos de aprovechamiento e identificación y manejos de problemas fitosanitarios de importancia económica, tendientes a la obtención de mejores rendimientos de madera por fuera de su hábitat o plantación comercial.

La selección de estas especies ha permitido definir aquellas potenciales a ser incluidas en programas de certificación de café como Rainforest, Utz Certified o Nespresso. Además, permitirá conservar por lo menos 20 especies bajo esta categoría de amenaza.

El recuperar y conservar especies forestales nativas en riesgo o vulnerables, y que además, algunas de ellas se destaquen por su buena adaptación y desarrollo, pudiendo presentar crecimientos en volumen ( $m^3/\text{árbol}$ ) cercanos a los presentados por las especies denominadas introducidas como lo son los pinos y cipreses, en las que además se conozca su manejo silvicultural y que su uso comercial en algún momento pueda ser complementario al de las especies introducidas, abre el abanico de opciones para los caficultores, que tengan la alternativa, de acuerdo a su sistema de producción, de introducir especies como protección de cuencas y fuentes de agua, alimento para avifauna y pequeños mamíferos,

o madera comercial, como consumo nacional o en un mercado internacional que exige que sus productos de exportación relacionadas con la madera provengan de plantaciones comerciales.

### 7.3. Manejo integrado de plagas y enfermedades en el cultivo de café

En 2001, Cenicafé liberó otra variedad resistente a la roya: La Variedad Tabi, la cual a diferencia de la Variedad Colombia es de porte alto, y es recomendada para aquellas zonas cafeteras del país en la cual predominan las variedades Típica y Borbón las cuales tienen esta altura. Al igual que la Variedad Colombia, es una variedad compuesta derivada del cruzamiento de las variedades Caturra, Típica o Borbón por el Híbrido de Timor, sus componentes derivados de Caturra, son los genotipos de porte alto del cruzamiento con el Híbrido de Timor (Moreno 2002). La variedad Tabi evitó el uso de fungicidas en aquellas regiones cafeteras que prefieren estas variedades (30% del área cafetera nacional).

En el 2005, como resultado de la continua selección de nuevas progenies resistentes a la roya y de alta producción, fue liberada la Variedad Castillo® y sus compuestos regionales (resolución 03 de 2005 de la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia), la cual mantiene la resistencia a la roya, pero que tiene mayor tamaño de grano y producción que la Variedad Colombia (Alvarado *et al.*, 2005, 2008). Esta variedad es la base del programa de renovación de cafetales con variedades resistentes y de recuperación de la producción de café que viene adelantando la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia.

Después de las epidemias de los últimos años el interés por el uso de variedades resistentes se ha incrementado y por eso se espera que en los próximos años el área sembrada con variedades resistentes, especialmente en las altitudes entre 1200 y 1600 m donde las epidemias de roya son más severas, aumente notablemente. La Variedad Castillo® y sus compuestos regionales son la base de esa sustitución, y esto se ha reflejado en la creciente demanda de semilla de estas variedades por parte de los Comités Departamentales de Cafeteros (Federación Nacional de Cafeteros, 2010).

Las variedades resistentes han sido una solución económica y amigable con el ambiente, que durante los últimos 30 años y en más de 300.000 ha, Cenicafé ha ofrecido y continúa ofreciendo a los cafeteros Colombianos contra la roya del cafeto.

Las plagas del café pueden mantenerse en niveles por debajo de los umbrales de daño económico, si se seleccionan cuidadosamente diferentes estrategias de control dentro de un programa de Manejo Integrado, que incluya el continuo monitoreo de poblaciones en el campo, manteniendo un adecuado manejo de luz dentro de la plantación, zoqueando las plantaciones decadentes, cosechando oportunamente, evitando la dispersión de la plaga durante la recolección y el beneficio del café, conservando y aumentando los enemigos naturales nativos, introduciendo agentes biológicos de control, asperjando insecticidas

biológicos y usando como estrategia última insecticidas químicos de baja toxicidad, de manera localizada en el cultivo y únicamente en el momento de detectar los vuelos del insecto dentro de la plantación.

La estrategia de manejo integrado de la broca ha sido desarrollado completamente por Cenicafé, y está basada en la combinación de prácticas de control cultural, biológico, etológico, físico y químico, usando los resultados diagnósticos a partir de evaluaciones de infestación, monitoreo de poblaciones en vuelo y desarrollo fisiológico de las plantaciones de café. El uso de insecticidas químicos se restringe a la selección de aquellos productos ligeramente tóxicos, asperjados en momentos muy específicos del año.

Actualmente nuestros resultados, los cuales están ampliamente expuestos en el libro "Los insectos y su manejo en la caficultura" publicado en el 2008, son aplicados fuera de Colombia, en Ecuador, Perú, Brasil, Jamaica, India, México, Puerto Rico y algunos países centroamericanos como Costa Rica, Guatemala, El Salvador, Nicaragua y Honduras.

Antes de comenzar el plan de Manejo Integrado, se deben adelantar tres evaluaciones permanentes dentro de los cafetales: 1. Registros de la floraciones en los cafetales, 2. Evaluación de infestación por broca, y 3. Evaluación de la posición de la broca o registro de vuelos de broca en trampas de alcohol. La base fundamental del Manejo Integrado son las prácticas de control cultural, consistentes en la recolección oportuna de café maduro mediante la implementación de una cosecha manual mejorada, a partir de información de tiempo y movimientos de los cosechadores, y la realización de un repase riguroso al finalizar las cosechas principales de café, las cuales dependen de la ubicación altitudinal de la caficultura colombiana. Este repase consiste en la recolección de los frutos maduros, sobremaduros y secos, tanto del árbol como del suelo, máximo dos veces al año. Igualmente, se recomienda la cosecha sanitaria, consistente en la remoción total de los frutos de café, en el momento de renovar las plantaciones de las fincas. Para esta cosecha sanitaria se recomiendan prácticas de manejo previamente evaluadas en las Estaciones Experimentales de Cenicafé, tales como el uso de guantes de cuero de cerdo, carnaza o vaqueta durante la labor, así como el uso de dispositivos de asistencia a la recolección manual desarrollados en Cenicafé, como los "Canguaros" y "Hamacafé."

Los resultados más impactantes en el control biológico de plagas en el país han sido los desarrollados para el control de la broca del café, *Hypothenemus hampei*. Se ha puesto atención especial en agentes naturales dentro del control biológico de la broca, se han realizado aislamientos de los hongos entomopatógenos *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisoplae* y *Paecilomyces lillacinus*, se adelantaron experimentos independientes para cada uno de ellos y se tienen resultados contundentes de la eficacia de *B. bassiana* sobre la mortalidad de la broca que se encuentra perforando frutos de café en el campo o que vuelan a partir de frutos infestados que se encuentran en el suelo. También se introdujeron al país tres avispas parasitoides: *Cephalonomia stephanoderis*, *Prorops nasuta* y *Phymastichus coffea*, llamadas avispa de Costa de Marfil, de Uganda y de Togo, respectivamente, que atacan exclusivamente a la broca en África, de donde son originarios el café, la broca y estos controladores naturales. Estos insectos fueron producidos en los laboratorios de Cenicafé

posterior a la estandarización de las crías de cada especie, luego fueron liberados en el campo y se finalmente evaluó su capacidad de establecerse en el agroecosistema cafetero de Colombia. La avispa de Uganda se ha encontrado permanentemente, ocasionando controles naturales de hasta 50% en plantaciones de café de todo el país. El hongo *B. bassiana* y esta avispa, son los factores naturales de control más importantes en el control de la broca en Colombia.

El control etológico está fundamentado en el uso de trampas atrayentes adaptadas, las cuales atraen las hembras de la broca, y permiten identificar las épocas de mayores vuelos en el campo. Estas trampas han sido instaladas en ocho estaciones experimentales de Cenicafé y permiten alertar a los caficultores los momentos de mayor vigilancia sanitaria de los cafetales.

El control físico es recomendado para evitar el escape de la broca durante la recolección y el beneficio y secado del café. Para esto, se recomiendan cuatro prácticas que evitan el escape del 95% de la broca que regresa a los cafetales: 1. Usar costales de fibra durante la recolección del café y mantenerlos amarrados, 2. Pesar el café dos veces en el día, al mediodía y al finalizar la labor, 3. Transportar el café inmediatamente al beneficiadero, depositarlo en la tolva de recibo y cubrirla con un plástico impregnado de pegante, 4. Secar los flotes y pasillas de café en marquesinas plásticas diseñadas para esto, o solarizar el café durante 48 horas antes de secarlo.

El control químico se recomienda únicamente cuando las demás practicas no han funcionado, y debe ser considerado cuando los frutos de café de las cosechas principales se encuentran con 20% de materia seca, esto se logra a partir de los 120 días después de las floraciones, cuando el porcentaje de infestación supera el 2% y cuando las brocas que están volando se encuentran en posición de entrada al fruto. Para este control se tienen recomendaciones de muestreo precisas. Si se presentan estas tres condiciones, se recomienda el uso de tres insecticidas ligeramente tóxicos: fenitrotioin, clorpirifos o fentoato, en concentración de 6 cc/L de agua, y debe ser aplicado únicamente en aquellos lugares donde se encuentran agregados los insectos. Las experiencias en el campo permiten indicar que son necesarias de una a tres aspersiones al año como máximo.

Los resultados de estos experimentos han sido llevados a todas las plantaciones de café en Colombia a través del Servicio de Extensión de la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia.

Paralelamente, Cenicafé, con el apoyo del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR) está desarrollando un programa de mejoramiento genético que se inició con la Evaluación del Germoplasma Colombiano de Café por resistencia a la roya (Cortina, 2000), y continúa con la hibridación, evaluación y selección de genotipos que conserven las características mas importantes de las variedades comerciales y que además sean menos atacadas por la broca para reducir los daños y el uso de insecticidas para su control. Este proyecto también está siendo cofinanciado por el MADR. De llegar a buen término, su impacto también sería de mucho beneficio económico y ambiental.

Una de las enfermedades más graves del cultivo del café es la antracnosis de los frutos (CBD, por su sigla inglés), causada por el hongo *Colletotrichum kahawae*. En África, donde las pérdidas en ocasiones pueden superar el 50% de la producción, se realizan aplicaciones, que pueden ser semanales, de fungicidas. En el país no se encuentra, pero se espera que al igual que como sucedió con la roya y con la broca, en un futuro, ojalá lejano, ingrese al país; por eso desde hace varios años se viene desarrollando un proyecto que busca resistencia a esa enfermedad (Moreno *et al.*, 1999), dentro del cual se tienen progenies resistentes, algunas de las cuales hacen parte de la Variedad Castillo® y por tanto ya están siendo sembradas por los cafeteros (Alvarado *et al.*, 2008). Como sucedió con la roya, esta solución genética se anticipa al problema, y previene que la llegada de esta enfermedad aumente el uso de fungicidas, los costos de producción y la amenaza para el ambiente que esto representa.

## 7.4. Manejo integrado del suelo de la zona cafetera

Como resultado de varias investigaciones, Cenicafé recomienda el manejo racional e integrado de los recursos naturales de acuerdo con las condiciones del entorno y con su aptitud de uso, con el fin de prevenir los problemas de degradación como la erosión hídrica, los movimientos en masa, la contaminación de aguas, y así contribuir con la conservación de los suelos, aguas y biodiversidad, especialmente en las zonas de ladera. La conservación de los suelos y las aguas en las áreas cafeteras, requiere la implementación de ciertas restricciones en el uso y el manejo de los cultivos y la adopción de prácticas preventivas y de control de la degradación de los suelos, las cuales se deben aplicar no sólo en los cultivos de café, sino en cualquier sistema de producción agrícola. Dentro de las prácticas o estrategias recomendadas, para cumplir con estos objetivos están:

**1. Selección y localización apropiada de los cultivos, teniendo en cuenta los requerimientos ecológicos mínimos, a la luz de las relaciones suelo-clima-planta-hombre.** Para ello, en cada una de las regiones cafeteras se realizó el estudio de zonificación y uso potencial de los suelos, los cuales son base para dar el mejor uso y manejo a los suelos y aguas. Recientemente, se llevó a cabo el estudio del riesgo a la erosión en la zona cafetera central del departamento de Caldas, con el fin de caracterizar las zonas cafeteras de acuerdo a la erosión potencial, como una herramienta de planificación y así contribuir con la sostenibilidad de los recursos suelo y aguas; fue posible diferenciar zonas por el riesgo a la erosión hídrica, donde se encontró que el 78% de la zona estudiada presenta alto riesgo a la erosión potencial, principalmente debido a los factores lluvia y topografía (Ramírez e Hincapié, 2009). Se tiene proyectado continuar con este trabajo, debido a que cada zona o distrito debe contar con el inventario de sus recursos naturales, su vulnerabilidad, riesgos y potencialidades; además, se deben detectar las áreas afectadas por procesos de degradación, las causas y las razones por las cuales se da mal uso a los recursos naturales.

**2. Establecimiento de las coberturas en los suelos.** En la zona cafetera colombiana, se recomienda el manejo integrado de arvenses (MIA), como una estrategia o práctica de conservación de suelos y aguas y como opción para el manejo de las mismas.

El manejo de arvenses es una práctica clave para la competitividad y sostenibilidad de los sistemas de producción de café. El primer paso para iniciar un programa de manejo integrado de arvenses, con miras a dar un uso sostenible de los recursos naturales (suelo, agua y biodiversidad), es el reconocimiento de la flora asociada al cultivo. Dentro de la vegetación silvestre o nativa se considera "maleza" a aquella planta que en un momento dado puede interferir por alelopatía o competir por agua, nutrientes, CO<sub>2</sub>, oxígeno, luz y espacio con un cultivo, afectando económicamente el sistema productivo. El nombre "maleza" puede influir negativamente sobre la percepción que las personas tienen sobre alguna planta, conduciendo así a su destrucción permanente e indiscriminada; por el contrario, el término arvense que significa "planta acompañante de los cultivos", y no las discrimina entre plantas buenas o malas (Salazar e Hincapié, 2005).

Por lo tanto, un primer paso para el desarrollo del MIA fue el estudio de las arvenses más frecuentemente asociadas al cultivo del café en Colombia, diferenciándolas descriptivamente según su grado de interferencia con el cultivo, hábitat y utilidad. De este modo, Gómez y Rivera (1995), identificaron más de 170 especies de arvenses de ocurrencia frecuente en plantaciones de café, encontrando que todas ellas prestan algún tipo de beneficio al hombre, donde el 45% interfiere en grado alto al cafeto, el 35% en grado medio, el 5 % en grado bajo y el 15% (más de 25 especies) en grado muy bajo (coberturas nobles). Rivera (1997), desarrolló el equipo selector de arvenses, el cual ha facilitado realizar el MIA, con aplicación baja de herbicidas y agua.

El MIA, recomendado por Cenicafé, consiste en la aplicación combinada de diferentes métodos de control, en forma conveniente y oportuna, con el fin de disminuir las poblaciones de arvenses agresivas y favorecer el establecimiento de coberturas vivas de baja interferencia y de más fácil manejo. Este sistema contempla los siguientes aspectos: control manual de aquellas especies que son de difícil control por métodos mecánicos o químicos; control mecánico por medio de herramientas como el machete o la guadaña, esta práctica se realiza en las calles del cultivo, sin desnudar el suelo y control químico selectivo de las arvenses agresivas, con el equipo selector de arvenses; también se incluye el uso de coberturas muertas como un método de control físico de arvenses y de protección del suelo.

Este manejo integrado ha mostrado resultados económicos y ambientales óptimos. Es así como con la adopción de esta práctica se pueden lograr los siguientes beneficios:

- Reducir la erosión superficial, la pérdida de agua y nutrientes por escorrentía y aumentar la infiltración. En una investigación realizada en la Estación Experimental Central Naranjal, localizada en Chinchiná (Caldas), se demostró que mientras en un cafetal sin coberturas rastreras se perdieron hasta 4.882 kg.ha<sup>-1</sup>.año<sup>-1</sup> de suelo, 1.730 mm de agua por escorrentía, 6,95 kg.ha<sup>-1</sup> de nitratos, 18,29 kg.ha<sup>-1</sup> otras formas de

nitrógeno,  $0,98 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  de fósforo,  $24,03 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  de potasio,  $238,63 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  de calcio y  $151,66 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  de magnesio, en un cafetal con coberturas rastreras, las pérdidas de suelo por erosión fueron menores de  $1.000 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$  de suelo, con una escorrentía total de  $191,66 \text{ mm}$ , y una pérdida de nutrimentos de  $0,85 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  de nitratos,  $1,36 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  de otras formas de nitrógeno,  $0,03 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  de fósforo,  $2,35 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  de potasio,  $5,33 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  de calcio y  $4,9 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  de magnesio (Suárez de Castro, 1980).

- Aumentar la rugosidad superficial de suelo con el uso de las coberturas vivas, y a la vez aumentar la capacidad de infiltración y retención de agua en el suelo, lo cual explica la reducción de las pérdidas de agua y nutrimentos por escorrentía; de esta manera se puede reducir la pérdida de fertilizantes, la contaminación de corrientes y aguas de drenaje.
- Reducir el empleo de herbicidas en un 29% en el primer año de iniciada la práctica y en un 63% en el segundo año. Con ello se contribuye a una reducción significativa de los riesgos de contaminación ambiental, de degradación de la calidad de las aguas superficiales y subsuperficiales, por el uso de productos químicos. Se reduce el empleo de agua para el control químico de arvenses en más del 90%, ya que el manejo selectivo de éstas con el equipo selector, permite la aplicación de herbicidas con un bajo volumen de agua, entre  $15$  y  $30 \text{ L}\cdot\text{ha}^{-1}$  por aplicación, mientras que el sistema tradicional de aplicación de herbicidas, emplea un volumen de agua entre  $200$  a  $300 \text{ L}\cdot\text{ha}^{-1}$  por aplicación (Hincapié y Salazar, 2007).
- Reducir la presión de selección de los herbicidas sobre las arvenses, aspecto causante de la resistencia de éstas a los mismos.
- Incurrir en menores costos de equipos así como de su mantenimiento
- Contribuir al manejo integrado de plagas y enfermedades.

**3. Protección de los drenajes naturales.** Una de las principales prácticas para el manejo de las aguas de escorrentía y para prevenir los movimientos en masa y de erosión avanzada, es mantener protegidos los drenajes naturales con vegetación. La protección de estos drenajes debe llevarse a cabo en toda la cuenca, con la intervención y participación comunitaria. Los drenajes deben estar conectados entre sí, desde la parte más alta hasta el drenaje principal, lo cual permite una adecuada regulación de las aguas en toda la cuenca; a medida que el drenaje es de mayor tamaño e importancia, debe tener una mayor área de protección, con vegetación espontánea o debe poblarse con especies vegetales propias de la zona.

A su vez, los drenajes naturales son los sitios de captación de las aguas de escorrentía, éstas se deben conducir de tal manera que no se ocasione algún problema de erosión en el punto de entrada ni a lo largo del curso de drenaje.

Cenicafé ha venido trabajando en los métodos de bioingeniería para la protección y recuperación de los drenajes naturales, así como para el manejo de las aguas de escorrentía y para el control de los deslizamientos o movimientos en masa.

La bioingeniería del suelo se refiere al uso de la vegetación como un medio para la prevención y control de la erosión y movimientos masales. Investigaciones realizadas en Cenicafé sobre bioingeniería del suelo, han encontrado que ésta es una opción viable para la prevención y control de estos problemas, debido a sus costos bajos, eficiencia e impacto ambiental positivo (Rivera, 1999).

Para el manejo y estabilización de los causes en drenajes naturales o cárcavas, se recomienda la construcción de trinchos vivos, lo cuales permiten reducir la velocidad del agua de escorrentía y, por lo tanto, evitar el socavamiento en el fondo y los taludes del cause (Rivera, 1999, 2002).

Así mismo cuando se hace un corte en las laderas para la construcción de canales, caminos, carreteras o edificaciones, quedan conformados dos taludes, uno en la parte superior y otro en la inferior, estos cortes ocasionan un desequilibrio hidrológico y en la estabilidad de la ladera, por lo que es necesario dar un manejo para mitigar este impacto. Para ello, se recomienda cubrir el talud con coberturas vegetales densas, para evitar el impacto erosivo de las gotas de lluvia, además de favorecer el avance de las aguas de escorrentía sobre las coberturas sin que se produzca desprendimiento y arrastre de sedimentos (Rivera, 2001). La vegetación en todos sus estratos, desde la herbácea hasta la arbórea, juega un papel importante en la estabilidad de las laderas, debido a que cumple las siguientes funciones:

- Aumento de resistencia del suelo a los deslizamientos, debido al anclaje de las raíces que forman una red dentro de los horizontes del suelo.
- Captación de gran cantidad de agua lluvia
- Extracción de agua del suelo en zonas húmedas por evapotranspiración
- Reducción de la energía de las aguas de escorrentía
- Mejoramiento de la regulación de aguas en los drenajes naturales
- Incremento de la rugosidad de la superficie del suelo
- Mejoramiento en el ciclaje de materia orgánica y nutrimentos, entre otras.

Estudios realizados en Cenicafé, por Barrera (2003), con diferentes especies arbóreas comunes en la zona cafetera colombiana, demuestran que las raíces de las plantas tienen un efecto significativo sobre la cohesión y sobre la resistencia al cortante de los suelos, lo cual implica mayor resistencia de las laderas a los movimientos en masa cuando se establece una vegetación protectora.

**4. Manejo de las aguas.** Los movimientos en masa comúnmente llamados deslizamientos o derrumbes se definen como desplazamientos de masas de suelo o roca; se presentan debido a la interacción de diversos factores los cuales se pueden clasificar como naturales y antrópicos.

Los factores naturales pueden ser:

- El material de origen del suelo o roca
- El tipo de suelo
- Las características de la pendiente (grado y longitud)
- El clima (precipitaciones intensas y frecuentes)
- Movimientos telúricos y las fallas geológicas, entre otros.

Los factores antrópicos o aquellos acelerados por el hombre pueden ser:

- La deforestación y desprotección de los drenajes naturales
- Conflicto en el uso del suelo, es decir, cultivos no acordes con el uso potencial del suelo
- Prácticas agrícolas inadecuadas como el establecimiento de cultivos totalmente descubiertos
- Intervención de las laderas (cortes o excavaciones) para la construcción de viviendas, carreteras o caminos
- Manejo inadecuado de basuras que limitan la circulación adecuada del agua
- Manejo inadecuado de las aguas de escorrentía o aguas servidas.

Las condiciones topográficas, geológicas, climáticas y de suelo de la zona cafetera colombiana hacen que estos problemas se incrementen en épocas lluviosas, por ello se debe tener presente la cultura de la prevención, ya que una vez ocurridos los deslizamientos, su recuperación es un proceso lento y a un costo relativamente alto.

Se ha identificado que una de las principales causas por las cuales ocurren los movimientos en masa, está relacionada con el manejo de las aguas, tanto en las áreas cultivadas como en las obras de infraestructura.

Algunas estrategias para el manejo adecuado de las aguas incluyen:

- Captación y conducción de las aguas de escorrentía, provenientes de cultivos, caminos, carreteras u obras de infraestructura, hasta un drenaje natural bien protegido.
- Manejo y tratamiento de aguas residuales, incluyendo la conducción y descarga de éstas después de tratadas, hasta un drenaje natural protegido.
- Mantenimiento adecuado y rutinario de cunetas, cajas colectoras y demás obras de drenaje.
- Evitar la concentración e infiltración de altos volúmenes de agua en sitios puntuales.
- Mantenimiento preventivo de tanques, tuberías para evitar fugas e infiltraciones de agua en sitios puntuales.
- Colectar y en lo posible almacenar las aguas captadas en techos de viviendas u obras de infraestructura.

## 7.5. Diagnóstico de la contaminación en el proceso de beneficio del fruto de café

Uno de los aspectos de vital importancia en el proceso productivo del café, está relacionado con el beneficio que permite obtener a partir del fruto, el café pergamino seco que comercializa nuestro productor, y dado que en nuestro país éste se realiza por la vía húmeda, es necesario utilizar agua y para que los efluentes del proceso no impacten, negativamente el ecosistema cafetero, es preciso generar estrategias para el uso eficiente de la misma y para el manejo apropiado de las aguas residuales que se generan.

Una de las primeras etapas que fue preciso cubrir para el planteamiento de soluciones racionales a las necesidades del beneficio del café, desde el punto de vista de la utilización de agua en el proceso, del control de la calidad del café obtenido, del costo de la infraestructura física, del uso o disposición adecuada de subproductos y del control de la contaminación generada, fue la elaboración de un diagnóstico de contaminación en el PBHC.

El objetivo de la investigación fue conocer la distribución porcentual y la capacidad contaminante de los residuos en cada etapa húmeda del PBHC.

Los resultados permitieron identificar que en el PBHC se utilizan entre 40 y 50 litros de agua por kilogramo de café pergamino seco, cuando se hace de forma tradicional, cantidades de agua limpia que terminan siendo contaminadas en los beneficiaderos. Se encontró que la pulpa de café representa el 73,7% de la contaminación potencial de los subproductos del PBHC, y llega a perder cerca de la mitad de su equivalente en peso seco, durante el despulpado de las cerezas con agua y el transporte hidráulico hasta las fosas de descomposición, generando graves problemas de contaminación hídrica. Lo anterior pone de manifiesto, la necesidad casi obligada de utilizar el despulpado sin agua, que contempla pelar las cerezas sin agua y transportar la pulpa sin agua hasta las fosas techadas de los beneficiaderos de café (Álvarez, 1991), constituyéndose en la acción ambiental más importante que ha revolucionado el beneficio húmedo del café en Colombia.

El 26,3% restante de la contaminación la constituye el mucílago fermentado, cuya fracción soluble representa el 80% de la misma y que es necesario disponer adecuadamente o tratar con sistemas de tratamiento anaerobio (Zambrano y Zuluaga, 1993).

En un día normal un recolector de café puede cosechar 100 kilogramos de café en cereza, de los cuales se desprenden pulpa y mucílago durante su beneficio húmedo, con un potencial contaminante 115 veces superior a la excretas y la orina producidas por el recolector ese mismo día.

Se encontró que es posible realizar el despulpado del café sin agua y el transporte de la pulpa y del café despulpado a los tanques de fermentación y lavado utilizando la gravedad, por lo que no es necesario la utilización de agua en estas etapas.

## 7.6. Manejo eficiente del agua en el proceso de beneficio del fruto

### 7.6.1. Racionalización de agua

Para beneficiar el café en Colombia por métodos convencionales, se requieren entre 40 y 50 L/kg c.p.s., de los cuales la mitad se utiliza en el despulpado, el transporte hidráulico de la pulpa a las fosas y el transporte de café en baba a los tanques de fermentación. Los canalones de correteo típicos en Colombia para la clasificación y el lavado del café tienen consumos de agua entre 20 y 25 L/kg c.p.s..

Despulsar en seco, el fruto de café, elimina de raíz el consumo del agua en esta etapa y conserva la totalidad de la materia orgánica aprovechable de la pulpa.

Cuando la eliminación del mucílago se realiza por fermentación natural del café en baba, transportado 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 (Zambrano e Isaza, 1994). Para efectuar dicho control se propuso la práctica de realizar 4 enjuagues para lavar el café dentro de los tanques de fermentación: práctica muy antigua que se optimiza en método y en infraestructura, denominándose por los usuarios cafeteros Tecnología del Tanque Tina (Zambrano, 1993). Con ella, el consumo de agua promedio en ésta etapa se reduce a 4,13 L/kg c.p.s. (Zambrano e Isaza, 1994). Una vez retirado el mucílago fermentado del café con este lavado, se obtienen las mieles o aguas residuales del lavado del café, ARL, las cuales por su característica de alta concentración de contaminación orgánica soluble (25 g/L) se hace necesario tratarlas mediante la digestión anaerobia.

El potencial de usuarios de la Tecnología Tanque Tina sobrepasa el medio millón de UPAs (Unidades Productoras Agrícolas), las cuales corresponden en más del 90% a pequeños productores de café. En el año 2004 Cenicafé apoyó la transferencia de la tecnología en lavado en tanque tina a 574 productores de café orgánico de la Sierra Nevada de Santa Marta, la zona tiene una producción anual cafetera estimada de 2.821.641 kg de c.p.s. (0,38% de la cosecha nacional), lo que representa una economía de agua por el uso de tanque tina para estas pequeñas fincas cafeteras, del orden de 56,4 millones de litros de agua limpia, que permiten suplir las necesidades diarias de agua en una ciudad de 378 mil habitantes, o para las necesidades anuales de una población de 1.000 habitantes.

De la misma necesidad de reducir la contaminación en el PBHC y el consumo de agua para lavar el café, nace la tecnología Becolsub, Beneficio Ecológico del café y aprovechamiento de Subproductos, la cual utiliza menos de 1 litro de agua por kilogramo de c.p.s., por medio de una máquina desmucilagadora y lavadora mecánica, que mezcla en una de sus salidas la pulpa y el mucílago concentrado (115 g/L) 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 mucílago fermentado y que requiere de un tratamiento anaerobio que actualmente se estudia en la zona cafetera de Caldas (Roa et al., 1997).

**Tabla 3.** Consumo específico de agua y carga contaminante generada con tecnologías utilizadas en el lavado del café.

Tecnología	Consumo de agua	DQO
	L/kg cps	Ppm
Canal de correteo	20,0	5.867
Bomba	9,0	12.692
Canal semi-sumergido	6,4	17.505
Tanque tina	4,2	25.946

### 7.6.2. Nuevas Tecnologías para el Beneficio Ecológico del Café

Para retirar el mucílago del café en Colombia se utilizan la fermentación natural y la tecnología para el beneficio ecológico del café con manejo de los subproductos, Becolsub (Roa *et al.* 1999). Cuando se utiliza la fermentación natural se deja el café en tanques durante 16 hasta 20 horas, con el fin de permitir la degradación del mucílago por efecto de la actividad de microorganismos y enzimas del grano. El mucílago degradado es posteriormente retirado utilizando diferentes dispositivos con consumos específicos de agua que varían desde 4,2 L a más de 20 L/kg de café seco procesado (Tabla 3). Los efluentes resultantes presentan una carga orgánica, expresada en Demanda Química de Oxígeno-DQO de 5.867 a 25.946 mg/L (ppm), según la tecnología y el consumo específico de agua utilizados, los cuales deben ser tratados antes de descargarlos a las fuentes de agua para evitar contaminarlas y cumplir con la legislación actual (Decreto 1594). Cenicafé desarrolló una tecnología para el tratamiento anaerobio de aguas residuales del beneficio, que permite retirar entre el 75% y el 90% de la carga orgánica presente (Zambrano *et al.*, 2006).

En la tecnología Becolsub el mucílago se separa de los granos al agitarlos con un rotor especialmente diseñado para esta actividad, alcanzado más de 98% de remoción, con daño mecánico causado a los granos inferior al 1% (Mejía *et al.*, 2008). El café se puede secar inmediatamente obteniendo un producto final de alta calidad física y en taza (Pabón *et al.*, 2008). Las mieles resultantes del proceso se mezclan con la pulpa, permitiendo controlar el 90% de la contaminación generada (Roa *et al.*, 1999). Los lixiviados que se producen se pueden mezclar con pulpa descompuesta, permitiendo controlar más del 95% de la contaminación. El consumo específico de agua con la tecnología Becolsub varía de 0,7 a 1,0 L/kg de café seco procesado.

Después de 16 años de haber sido entregada a la industria nacional para su fabricación, en Colombia se utilizan actualmente cerca de 20.000 equipos, que permiten obtener cada año 291 millones de kilogramos de café pergamino seco, con economía de 11,4 millones de metros cúbicos (m<sup>3</sup>) de agua, evitando que 132.400 m<sup>3</sup> de mucílago lleguen a las fuentes de agua, con carga contaminante de 38.900 toneladas de DQO equivalente a la contaminación diaria de una ciudad de 100.000 habitantes aproximadamente.

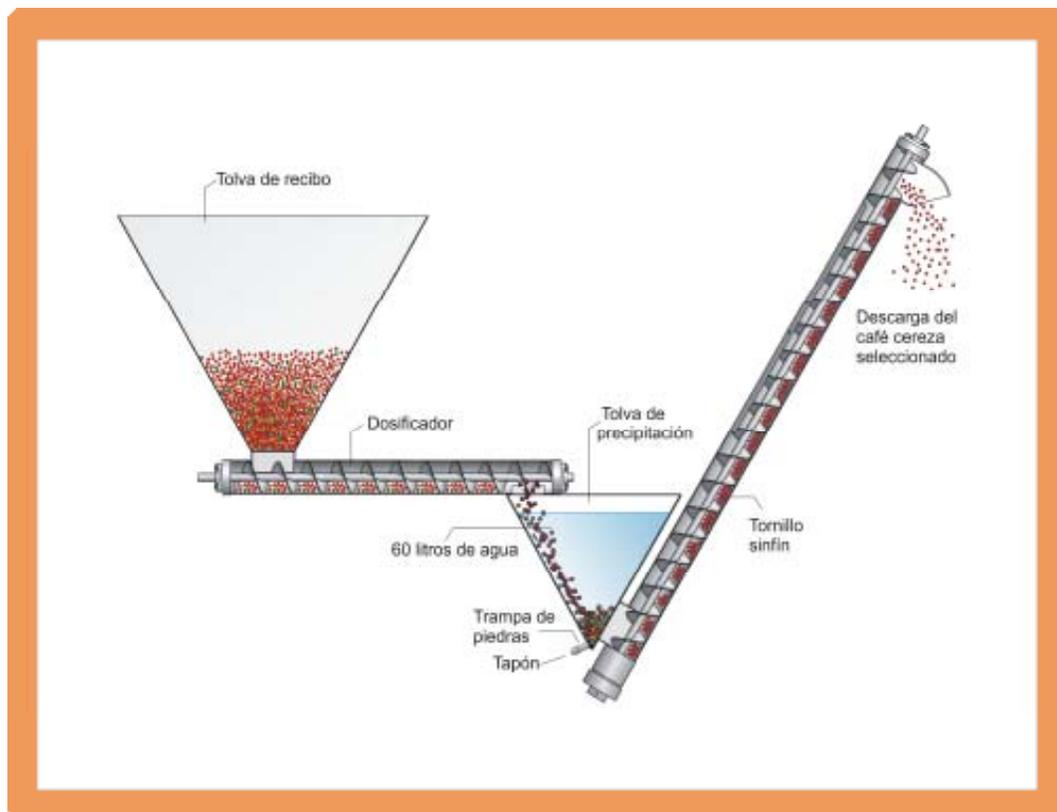
### 7.6.2.1. El separador hidráulico

En el café que llega al beneficiadero contiene frutos atacados por la broca (*Hypothenemus hampei*), por la mancha de hierro (*Cercospora coffeicola*), vanos y secos que deben ser retirados previamente al proceso de despulpado, para mejorar las condiciones del producto y obtener café seco de alta calidad física y en taza. La separación de este material contribuye al cumplimiento de las recomendaciones de las buenas prácticas agrícolas para el café (Puerta, 2006). El café también puede contener objetos densos y duros como piedras, partes metálicas, entre otros, los cuales deben retirarse para evitar daños a las despulpadoras. Con el fin de lograr lo anterior Oliveros *et al.* (2007) desarrollaron un dispositivo en el cual se combinan en forma eficiente las ventajas de la separación hidráulica y el transporte con tornillo sinfín, con bajo consumo específico de agua (0,025 L/kg de cps) y bajo requerimiento de potencia, adaptable a las condiciones de los beneficiaderos, en un amplio rango de necesidades de procesamiento (desde 300 kg/h de café cereza) y de relativo bajo costo. El nuevo equipo se denominó Separador Hidráulico de Tolva y Tornillo Sinfín (SHTS) (Figura 6).

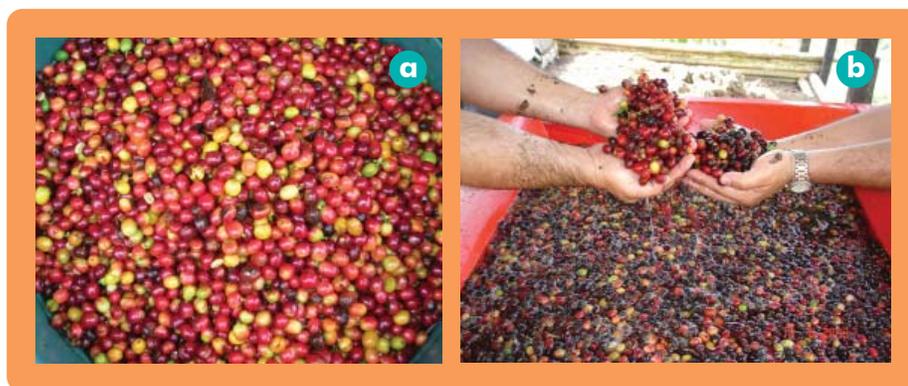
La tolva de precipitación del SHTS, se llena con 50 a 70 L de agua limpia, los objetos menos densos flotan, mientras que los de mayor densidad se precipitan hasta el fondo de la tolva. Los frutos e impurezas que se identifican como de menor densidad son principalmente frutos secos, vanos y brocados, así como hojas y palos. Los objetos de mayor densidad más comunes, diferentes a los frutos, son las piedras y las puntillas, entre otros. La descarga del transportador de tornillo sinfín está en un nivel más alto que el agua en la tolva de precipitación, con el fin de permitir que el líquido que acompaña los frutos transportados regrese por gravedad a la tolva. Las piedras y los objetos metálicos se depositan en un compartimiento localizado en un plano inferior a la zona de alimentación del tornillo sinfín



**Figura 6.** Separador hidráulico de tolva y tornillo sinfín desarrollado en Cenicafe por Oliveros y Col. (2007)



**Figura 7.** Esquema del separador hidráulico de tolva y tornillo sinfín desarrollado en Cenicafé por Oliveros y Col. (2007).



**Figura 8.** Café cereza clasificado en el SHTS sedimentado (a) y flotes (b).

**Tabla 4.** Desempeño en separación de flotes y objetos duros utilizando dos tecnologías.

Tecnología	Consumo específico de agua (L/kg de c.p.s.)	Eficacia separación flotes (%)	Eficacia separación objetos duros (%)	Fuente
Tanque sifón	4,7	89,0	49,0	Roa y Col. (1999)
Separador Hidráulico de Tolva y Tornillo Sinfín, SHTS	0,025	98,8	88,2	Oliveros y Col. (2009)

**Tabla 5.** Impacto en el ahorro de agua utilizando dos tecnologías para separar flotes y objetos duros en el café en cereza. Producción de café de 11 millones de sacos por año.

Tecnología	Producción nacional de café (%)		
	20	40	60
Tanque sifón (m3)	775.500	1.551.000	2.326.500
Separador Hidráulico de Tolva y Tornillo Sinfín, SHTS (m3)	4.125	8.250	12.375
Ahorro de agua (m3)	771.375	1.542.750	2.314.125

(5 cm). Para lograr que el SHTS funcione eficazmente, los frutos de café deben alimentarse en forma dosificada sobre la cara posterior de la tolva, en forma manual, en fincas con bajos flujos de café en días pico (menos de 1.000 kg/día de café cereza) y utilizando un sistema de dosificación. En la Figura 7 se observan el dosificador, la tolva de precipitación, la trampa para objetos duros (piedras y piezas metálicas) y el tornillo sinfín para transportar el café de mejor calidad.

Utilizando el SHTS se obtiene café como el presentado en la Figura 8, a partir de materia prima con 20% de cerezas de menor densidad que la del agua (flotes).

En la Tabla 4 se presenta información de dos tecnologías para separar flotes y objetos duros en el beneficiadero, el tanque sifón y el SHTS. Se observa que utilizando el SHTS se logra disminuir en 99,5% el consumo específico de agua, con mayor eficacia en separación de flotes y de objetos duros.

El impacto en el consumo y ahorro de agua se presenta en la Tabla 5, considerando una producción anual de 11 millones de sacos de café en almendra y tres niveles de uso de la tecnología (20%, 40% y 60%). Se observa que el volumen de agua utilizando el tanque sifón podría ascender a 2,33 millones de metros cúbicos al año, mientras que utilizando el SHTS sería de 12.375 m<sup>3</sup>, que equivale al empleado durante el año en una ciudad de 42.493 habitantes, con consumo de 150 L/día/habitante. El ahorro de agua al utilizar el SHTS en lugar del tanque sifón es muy elevado, de hasta 2.314.125 m<sup>3</sup>/año, con impacto favorable desde el punto de vista ambiental y social.

#### 7.6.6.2. Tecnología ecológica Ecolav, para el lavado del café en proceso con fermentación natural

Aunque la tecnología Becolsub se utiliza en 88,9% de las fincas colombianas para las cuales fue diseñado<sup>1</sup>; en el 95% de las fincas, correspondientes en su mayoría a pequeños productores, todavía se utiliza la fermentación natural en el proceso de beneficio. Como se menciona en la Tabla 3, en proceso con fermentación natural el consumo específico de agua

<sup>1</sup> Fincas con más de 5 ha sembradas en café (aprox. 22.500 fincas)



**Figura 9.** Tecnología para lavado del café en proceso con fermentación natural y con aplicación de enzimas pectinolíticas. Vista general del equipo (a), detalle de la descarga del tanque de fermentación (b), lavador mecánico (c) y mieles generadas en el lavado (d).

y la contaminación generada son elevados. En efecto, considerando la producción anual de café en 11 millones de sacos, un consumo promedio de agua en el lavado de 20 L/kg de c.p.s., 28 g de DQO por kilogramos de cereza y 70% de la producción de café beneficiada con fermentación natural, el volumen de agua utilizada y la carga contaminante ascienden a 11.268 millones y 78.878 t de DQO por año, respectivamente.

Con el fin de contribuir a la reducción en el volumen de agua utilizada en el lavado del café en el proceso con fermentación natural y con aplicación de enzimas pectinolíticas, de gran utilidad de acuerdo a resultados obtenidos en Cenicafé por Peñuela *et al.* (2011), y eliminar o reducir la contaminación generada en el proceso se diseñó la tecnología Ecolav (Figura 9), la cual consta de:

Estructura fabricada en acero inoxidable para soportar los componentes del equipo.

- Separador hidráulico de tolva y tornillo sinfín para retirar frutos de inferior calidad y objetos presentes en el café (piedras y piezas metálicas) que puedan causar daños a las despulpadoras.
- Despulpadora, de acuerdo a los requerimientos del equipo.
- Tanque cilíndrico con fondo cónico, para permitir la degradación del mucílago con fermentación natural o con aplicación de enzimas pectinolíticas. Por su diseño, el tanque permite descargar por gravedad el café en “punto de lavado” a un tornillo sinfín colocado en su base que lo entrega al lavador.
- Un lavador diseñado a partir del equipo Deslim desarrollado en Cenicafe (Roa et al., 1999), de flujo vertical ascendente de granos y descarga radial de fluidos, con dispositivo para controlar el caudal de agua suministrado.

**Tabla 6.** Consumo específico de agua en el lavado del café y su reducción, con Ecolav y otras tecnologías empleadas en Colombia.

Dispositivo	Consumo específico de agua (CEA), L/kg cps	Reducción en CEA, %
Ecolav	0,3	-
Becolsub	0,7	57,1
Tanque Tina	4,2	92,9
Canal semi - sumergido	6,4	95,3
Bomba sumergible	9,0	96,7
Canal de correteo	20,0	98,5



**Figura 10.**  
Deshidratación de las mieles de café  
resultantes del lavado con Ecolav,  
utilizando un secador.

Debido a su diseño y operación, con la tecnología Ecolav se lava café con consumo específico de agua de 0,3 a 0,4 L/kg de c.p.s., retirando más del 95% del mucílago presente en los granos, con potencia específica que varía de 0,86 a 1,29 W/h/kg de café lavado, que representa el 10,9% del valor observado en la tecnología Becolsub.

Con la tecnología Ecolav se logra un avance notorio en la reducción del agua utilizada en el beneficio húmedo del café, como se observa en la Tabla 6, al pasar de 20 a 0,3 L/kg de c.p.s. (98,5%) en el caso del canal de correteo. Con relación al tanque tina y la tecnología Becolsub, la disminución en el consumo de agua asciende a 92,4% y 57,1%, respectivamente.

Debido al bajo consumo específico de agua con Ecolav las mieles resultantes del lavado del café pueden ser deshidratadas en 4 a 7 días, en las condiciones climáticas de Chinchiná (Caldas), utilizando secadores solares tipo túnel con cubiertas plásticas, de bajo costo, desarrollados en Cenicafé (Oliveros *et al.*, 2007), como se observa en la Figura 10, y posteriormente, adicionarlas a la pulpa descompuesta, permitiendo, por primera vez, controlar el 100% de la contaminación generada por el mucílago del café.

**Tabla 7.** Impacto en el ahorro de agua y en el mucílago generado en el proceso de lavado del café con la tecnología Ecolav.

Nivel de adopción (%)	Ahorro de agua (millones de m3)	Mucílago aprovechado		
		m3 x 1.000	Producto seco (10%-12%), † x 1.000	Toneladas de DQO
20	3.2	115.5	19.6	2633.4
40	6.5	231.0	39.2	5266.8
60	9.7	346.5	58.8	7900.2
80	12.9	462.0	78.4	10533.6
100	16.2	577.5	98.0	13167.0



**Figura 11.** Mucílago seco, 11% de humedad (base húmeda), obtenido con la tecnología Ecolav desarrollada en Cenicafé.

El impacto en el ahorro de agua y en la eliminación de la contaminación causada por el mucílago del café utilizando la tecnología Ecolav, considerando una producción anual de café de 11 millones de sacos de café verde y cinco escenarios de adopción, se presenta en la Tabla 7. Se podría ahorrar cada año hasta 16,2 millones de metros cúbicos de agua, volumen utilizado al año por 300.000 habitantes, y convertir el mucílago producido en un material con 11% de humedad, hasta 98.000 toneladas de material (Figura 11), que se podría utilizar como fertilizante en almácigos de café, controlando el 100% de la contaminación generada por el beneficio húmedo del café.

## 7.7. Tratamiento de aguas residuales del café

Mediante la caracterización de las aguas residuales que se producen durante el proceso de beneficio húmedo del fruto del café, se determinó que son biodegradables y que poseen características fisicoquímicas particularmente agresivas con el medio ambiente: pH bajos, acidez alta y concentraciones de materia orgánica alta correspondiente a poderes contaminantes entre 60 y 240 veces superiores a las aguas residuales domésticas (Zambrano y Rodríguez, 2008).

En 1984 se inicia la investigación en tratamiento de aguas residuales del café -investigaciones que aun se mantienen buscando generar diseños cada vez más sencillos, económicos y eficientes para depurar las aguas residuales del proceso de beneficio del fruto-, cuando la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia encomendó a Cenicafé el acompañamiento de un estudio, de la problemática de la contaminación hídrica en la zona cafetera Colombiana generada por los subproductos del PBHC, con la participación de un grupo de científicos Británicos con amplia experiencia en el tratamiento de aguas residuales, quienes recomendaron la digestión anaerobia como la tecnología más adecuada para abordar las investigaciones en tratamiento de las aguas residuales, tanto de la etapa de despulpado como de la etapa de lavado del café. Las investigaciones se ejecutaron en tres etapas: laboratorio, planta piloto y prototipos de finca.

### 7.7.1. Estudios a escala de laboratorio y planta piloto

En los estudios de laboratorio y planta piloto para el tratamiento de las aguas residuales del beneficio del café se ensayaron Filtros Anaeróbicos de Flujo Ascendente (UAF), Manto de Lodos Anaeróbicos de Flujo Ascendente (UASB) y una combinación de los dos anteriores UASB/UAF; siendo la última tecnología la que resultó ser la más eficiente y prometedora. Con ella se lograron operar los reactores con cargas de 10 kg DQO/m<sup>3</sup>-día, removiendo el 81% de la carga contaminante, con tiempos de retención hidráulica de 24 horas, temperatura de 37°C y sin neutralizar la acidez de las aguas residuales (Zuluaga *et al.*, 1991).

En los estudios a escala de planta piloto, en promedio se logró aplicar cargas orgánicas entre 2,28 kg DQO/m<sup>3</sup>r-día (Rodríguez, 1997) y 3,94 kg DQO/m<sup>3</sup>r-día (Rodríguez, 1998) y el efluente cumpliendo con el decreto-ley 1594 de 1984 (remoción de DQO > al 80%), operando con sustrato ácido a temperatura ambiente.

Los valores de carga orgánica aplicada encontrados en el reactor de la planta piloto fueron superiores en un 156% a los encontrados en los estudios de laboratorio, operando ambos reactores con lodo metanogénico preparado a base de borra de café fresca y a temperatura ambiente. Estas diferencias se presentaron por el efecto de la temperatura, ya que el reactor de la planta piloto estaba aislado térmicamente. Esta información resultó importante para los diseños en campo, en donde los reactores son de color negro para favorecer la temperatura en su interior y con ello el proceso biológico.

Como requisito fundamental, en esta parte del estudio se propuso el desarrollo de sistemas que trataran sólo las aguas mieles, ya que ambientalmente es nocivo, continuar con el uso de agua para despulpar los frutos. De acuerdo con los estudios de laboratorio y Planta piloto, se buscó desarrollar un sistema que utilizara los mismos principios anaerobios para la depuración: la Hidrólisis/Acidogénesis y la Metanogénesis, pero realizadas en unidades independientes, lo que se conoce como separación de fases, así surgieron los Sistemas Modulares de Tratamiento Anaerobio que son las plantas de tratamiento de aguas residuales de lavado del café, desarrolladas para el sector cafetero, utilizando materiales producidos y reciclados en la zona cafetera, combinados a procesos biotecnológicos que utilizan microorganismos metanogénicos.

Una evaluación realizada durante una prueba de esfuerzo, en campo, mostró una remoción neta de DQO, por parte de un SMTA de 4 m<sup>3</sup>, del 90,7%, después de aplicar durante 47 días continuos, la máxima carga orgánica generada por día, en una finca, contenida en las aguas residuales del lavado del grano procedente de 600 kilogramos de frutos, calculándose una carga orgánica aplicada media de 8,2 kg DQO/m<sup>3</sup> - día (Zambrano, 1994).

Utilizando tanques de polietileno y trozos de botellas plásticas no retornables, para conformar reactores metanogénicos tipo UAF, como alternativa de filtro al uso de trozos de guadua, se redujo en el 50% los costos de inversión de los SMTA. manteniendo los porcentajes de remoción acordes a lo dispuesto en la legislación vigente (Decreto 1594 de 1984).

Los Departamentos con más adopción de SMTA en Colombia al año 2009 son: Tolima con un total de 927 sistemas, Nariño con 548 sistemas, Magdalena con 398 sistemas y Santander con 210 sistemas. Departamentos como Cauca y Quindío ya han iniciado con la adopción de esta tecnología.

El STLB está conformado por los siguientes componentes: Acondicionador de pulpa -AP-, unidad de control de insolubles -UCI-, lecho de secado -LS- y filtro preacidificador -FP-. Se pudo calcular para UCI y FP una remoción neta de DQO de 36,4% y 48,16% y una remoción acumulada del 67,04%, respectivamente. Con la tecnología STLB remover 1 kg DQO tiene un costo de USD\$ 0,063, estimando una vida útil de 5 años para este sistema (Zambrano y Cárdenas, 2000).

Actualmente se estudia en una finca cafetera cercana a Cenicafé, la implementación del tratamiento secundario a escala cafetera de los STLB, incorporando un SMTA en serie, buscando la solución integral al problema de contaminación de los Lixiviados. Al nuevo prototipo se le ha denominado SITAL (Sistema Integral de Tratamiento Anaerobio) (Zambrano, 2006) y se evaluará, con el fin de generar la información necesaria que permita ajustar los diseños definitivos para los productores cafeteros que utilicen la tecnología BECOLSUB y que requieran este tipo de sistemas.

#### **7.7.4. Postratamiento de las aguas residuales del beneficio del café.**

Con los Sistemas Modulares para el Tratamiento Anaerobio de las aguas mieles del café se consigue eliminar entre el 80 y 90% de la contaminación orgánica, cumpliendo con lo dispuesto por la legislación ambiental colombiana en el Decreto-ley 1594 de 1984. No obstante los efluentes tratados presentan una concentración que oscila entre 2500 y 5000 ppm, en términos de DQO.

En investigaciones realizadas para determinar el impacto biológico de los efluentes generados en los sistemas de tratamiento, sobre el ecosistema acuático cafetero, utilizando diferentes bioindicadores de la cadena trófica alimentaria, se determinó que éste era significativo y por lo tanto necesario implementar sistemas de postratamiento que minimicen o eviten este impacto.

En los estudios de ecotoxicidad de los efluentes de los SMTA en campo se encontró, en términos de DQO, una  $CE_{50}$  de 890 ppm para el alga *Chlorella vulgaris*, una  $CL_{50}$  de 700 ppm para el microcrustáceo *Daphnia pulex* y de 490 ppm para el pez *Lebistes reticulatus*, siendo este el indicador más sensible. En ese mismo estudio se encontró una relación  $DQO/DBO_5$  de 1,76, siendo la  $CL_{50}$  para el pez, en términos de  $DBO_5$ , de 279 ppm (Matuk, Puerta y Rodríguez, 1997).

En el marco del desarrollo sostenible, aplicado a sistemas de tratamiento de aguas residuales, es preciso diseñar sistemas integrales que combinen diferentes métodos de tratamiento, Por lo general, un solo método no es suficiente para lograr la depuración del agua residual a valores que no ocasionen impacto biológico.

En el postratamiento se busca la eliminación de materia orgánica, sólidos suspendidos y remoción de nutrientes que no se han conseguido en el sistema modular, teniendo en consideración aspectos como la versatilidad del sistema, su facilidad de operación y economía del mismo.

##### **7.7.4.1. Postratamiento a escala piloto (Rodríguez, 2009)**

Se utilizaron macrófitas flotantes y emergentes presentes en la zona cafetera con el propósito de disminuir la concentración de carga orgánica y de N, P y K presentes en los efluentes del SMTA con el objetivo de evitar impactar negativamente los recursos suelo y agua presentes en la zona cafetera.

Se presentó efecto de la concentración de los efluentes del SMTA sobre la variable porcentaje de remoción de la  $DBO_5$  en las 4 especies acuáticas evaluadas Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*), Lechuga de agua (*Pistia stratiotes*), oreja de agua (*Salvinia auriculata*) y Enea (*Typha angustifolia*) mostrando una tendencia cuadrática en la planta emergente (*T. angustifolia*) y en las especies flotantes (*S. auriculata* y *P. stratiotes*) mientras que *E. crassipes* presentó una tendencia lineal negativa.

Entre las plantas flotantes, el Jacinto y la Lechuga de agua mostraron las mayores eficiencias de remoción de  $DBO_5$  en el estado estable, con valores medios, a las 3 concentraciones, de 80,91% y 80,72% respectivamente, seguidos de la *Salvinia* (79,09%). La planta emergente mostró una remoción media del 77,19%. El mayor valor de carga orgánica aplicada fue para el Jacinto, con un valor de 72,21 Kg  $DBO_5$ /ha –año.

En la eliminación de N, P, K no se presentaron diferencias estadísticas al 5%, entre las 3 especies flotantes, las cuales siempre presentaron remociones mayores y estadísticamente diferentes a su control y a la especie emergente, excepto en la variable K con la especie emergente.

Los valores cercanos a la unidad obtenidos para el coeficiente de determinación, aunado al significado estadístico encontrado (según prueba t al 5%) para los coeficientes de regresión del modelo, permiten inferir que la eliminación de la DQO,  $DBO_5$ , SST,  $N_T$ ,  $P_T$ , K de las aguas mieles del café tratadas anaerobiamente, sigue un modelo cinético de primer orden.

Las ecuaciones de regresión obtenidas permiten predecir que se presenta inhibición del crecimiento de *E. crassipes* a concentraciones de DQO de 1281 ppm; para *P. stratiotes* a una concentración de DQO de 1222 ppm; para *S. auriculata* a concentraciones de DQO de 903 ppm y para *T. angustifolia* se presenta inhibición en el incremento del número de plantas a una concentración de DQO de 508 ppm.

Las ecuaciones de regresión obtenidas en la investigación permitieron predecir que se presenta inhibición en el crecimiento de las plantas con cargas orgánicas aplicadas de 926 kg  $DBO_5$ /ha-d para *E. crassipes*, 825 kg  $DBO_5$ /ha-d para *T. angustifolia*, 739 kg  $DBO_5$ /ha-d para *P. stratiotes* y 443 kg  $DBO_5$ /ha-d para *S. auriculata*.

Considerando el desempeño de las 4 especies acuáticas en la remoción (medida como mg/m<sup>2</sup>-d) de los parámetros  $DBO_5$ , SST,  $N_T$ ,  $P_T$  y K en efluentes del SMTA, se determinó que la mejor especie para el postratamiento de las aguas mieles del café, fue la especie flotante *E. crassipes*, seguida de la especie flotante *P. stratiotes*, de la especie emergente *T. angustifolia* y de la especie flotante *S. auriculata*.

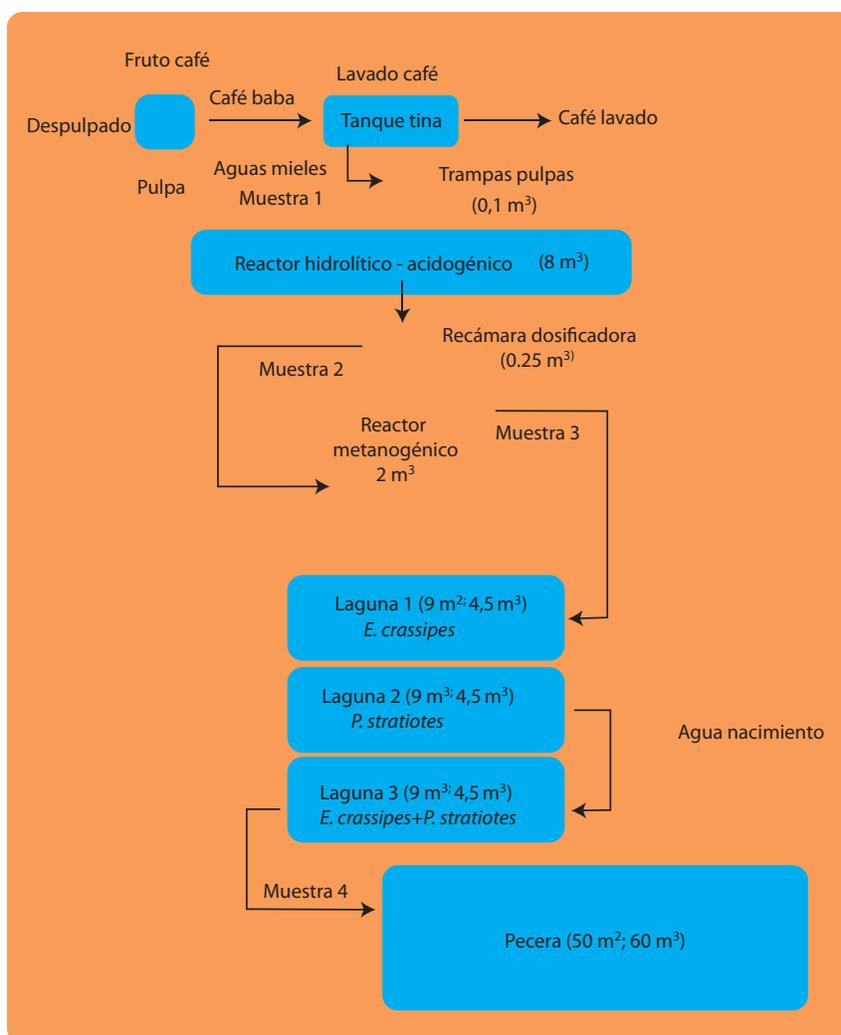
Para el diseño de un sistema de postratamiento con *E. crassipes*, se pueden utilizar los valores medios de los coeficientes cinéticos de eliminación de la DQO y la  $DBO_5$  encontrados en el presente estudio:  $k_{DQO} = 0,1483$  (135 < DQO < 1285 ppm);  $k_{DBO_5} = 0,1491$  (73 <  $DBO_5$  < 610 ppm).

### 7.7.4.2. Postratamiento a escala de campo (Rodríguez, 2009).

Los ensayos realizados a Escala de Finca Cafetera, cuyo esquema de tratamiento se presenta en la Figura 12, permitieron determinar que un sistema acuático de tratamiento utilizando las especies flotantes *E. crassipes* y *P. stratiotes*, con un área de 27 m<sup>2</sup>, para una finca con una producción media de 844 @ cps/año, una cosecha principal de 2/3 la cosecha total y un TRH de 16 días, permitió obtener, a partir de aguas mieles tratadas anaerobiamente, efluentes con concentraciones de DQO y DBO<sub>5</sub> inferiores a 490 y 279 ppm, respectivamente.

El balance hídrico tuvo un efecto significativo en el sistema de tratamiento acuático permitiendo una dilución global de los afluentes hasta en un 35%.

Los resultados obtenidos a escala de finca cafetera con las especies flotantes *E. crassipes* y *P. stratiotes* fueron muy consistentes con los obtenidos a escala de mesocosmos utilizando una mezcla de plantas flotantes (*E. crassipes*, *P. stratiotes* y *S. auriculata*).



**Figura 12.** Esquema del sistema acuático de tratamiento acoplado al SMTA en una finca cafetera y localización de los puntos de muestreo.

Se comprobó que efluentes de los reactores metanogénicos con concentraciones de DQO superiores a 1000 ppm ocasionan inhibición y en muchos casos la muerte de las especies flotantes *E. crassipes* y *P. stratiotes*.

El sistema acuático de tratamiento con las especies flotantes *E. crassipes* y *P. stratiotes* permitió alcanzar, con TRH de 16 días, porcentajes de remoción medios en las aguas mieles del café tratadas anaerobiamente, del 80,17% en DQO, 81,98% en DBO5, 46,34% en ST y 65,36% en SST, durante el estado estable.

La integración del sistema acuático de tratamiento al SMTA permitió incrementar las remociones de la DQO de las aguas mieles del café del 91,84 al 98,61%, de la DBO5 del 92,19 al 98,64%, de los ST del 86,18 al 92,60% y de los SST del 96,04 al 98,91%.

Los efluentes del Sistema Acuático de Tratamiento no mostraron efectos tóxicos en la producción de Tilapia roja y se constituyen en una oportunidad de aprovechamiento para la producción piscícola en fincas con oferta limitada de agua.

Finalmente se concluye que es necesario disminuir la concentración de las aguas mieles tratadas anaerobiamente a valores de DQO por debajo de 1172 ppm para poder utilizar sistemas de tratamiento con plantas acuáticas y que un biosistema integrado que utilice una mezcla de las especies flotantes *E. crassipes*, *P. stratiotes* y *S. auriculata* y en el cual se aproveche la biomasa generada para la elaboración de abono orgánico mediante el proceso de lombricultura o como suplemento de los sustratos tradicionales utilizados en la producción de hongos comestibles es el apropiado para el postratamiento de las aguas mieles del café en la zona cafetera colombiana.

#### **7.7.5. Modelo de Manejo integrado del agua en el proceso de beneficio del fruto**

El café colombiano lleva implícita una característica de calidad, que se asocia al proceso húmedo de las cerezas, donde inevitablemente se requiere de la utilización de agua, y que lo enmarca dentro de una categoría que se conoce como “de los suaves lavados”. Bajo este aspecto es indudable pensar, que si se requiere del agua para beneficiar el café por la vía húmeda, el uso de la misma se debe asumir con una responsabilidad ambiental absoluta, que se logra adoptando tecnologías que enmarquen el producto dentro de un “sello verde” como es el caso de los cafés especiales. En este orden de ideas, el despulpado y transporte de la pulpa sin agua a las fosa techadas, indudablemente se constituye en la acción ambiental preventiva más importante, ya que esta sola práctica evita que el 72% de la contaminación potencial de los subproductos del beneficio húmedo del café, llegue a las fuentes hídricas, a través de los constituyentes de la pulpa, perdiéndose la posibilidad de utilizarla y darle valor agregado.

El 28% restante de la contaminación la genera el mucílago, y su disposición se orienta hacia tratamiento con un SMTA, en pequeñas y medianas fincas cafeteras que remuevan el

mucilago por fermentación natural y utilicen el Tanque tina para lava el grano o recirculación de agua en canalón de correteo con consumos de agua entre 4 y 5 L/kg cps; esta práctica deberá acompañarse con un postratamiento que permita atenuar el impacto ambiental sobre la biota del agua, e incrementar las eficiencias de remoción de contaminación desde 80% con solo SMTA, hasta cerca del 95% con macrófitas.

Para productores cafeteros grandes que utilizan el desmucilaginado mecánico, se hace necesario la utilización de los sistemas de tratamiento primario para lixiviados STL B, mientras se termina la investigación que determina su desempeño conjunto, con un tratamiento secundario con SMTA y un postratamiento en serie con macrófitas.

## 7.8. Evaluación de la calidad del agua y la diversidad de macroinvertebrados acuáticos en la zona cafetera

En Colombia los cafetales se superponen altitudinalmente con los bosques montanos y bosques de niebla. Estos bosques albergan gran proporción de diversidad para el país, siendo unos de los más diversos por unidad de superficie. Además de esto, su importancia radica en los servicios ambientales que suministran como vegetación ribereña en cuanto a la captación, purificación y mantenimiento de los cuerpos de agua.

El proceso de café conlleva altos costos ambientales reflejados en disminución del oxígeno disuelto en las quebradas, putrefacción de las aguas, disminuciones en la vida acuática, etc. (Matuk, 1996; Zambrano y Rodríguez, 2008, Rodríguez, 2009). No obstante, para la integridad de los ecosistemas de agua dulce, el control de la contaminación es necesario, pero insuficiente, si el caudal de agua no está disponible cuando la biota lo requiera o si la cuenca ha sido degradada o transformada de forma severa por el uso inadecuado (Galindo, 2010).

Concertar las necesidades de estos ecosistemas y las necesidades de los caficultores para abastecerse de agua en su vida diaria y en las labores de su finca es uno de los retos relacionados con el complejo manejo de este importante recurso, cuyas exigencias actuales en cuanto a cantidad y calidad merecen atención y orientación para lograr disminuir el impacto. Se inicia la consecución de datos dando impulso a una serie de parámetros biológicos, que a pesar de no ser suficientemente conocidos, son importantes por la valiosa información que suministran en el análisis integral e interpretación de los diferentes factores que inciden sobre la calidad de cuerpos de agua utilizados directa o indirectamente como reservorios de carga residual de origen antrópico (Galindo, 2010).

Dentro de los resultados más relevantes se ha observado que las transformaciones físicas severas en los cuerpos de agua, como represamientos, desviaciones del cauce, pérdida de la vegetación riparia y de la cobertura de dosel, etc. conllevan cambios drásticos en las concentraciones de oxígeno disuelto, caudal e incluso a la desaparición de la corriente

de tal manera que afecta directamente la biota de los cuerpos de agua. En contraste, la abundante vegetación y el mantenimiento de las corrientes naturales se refleja en los niveles del caudal y por ende en la oxigenación del agua que favorece el sostenimiento de comunidades de macroinvertebrados menos tolerantes a la contaminación orgánica (Galindo, 2010).

Se evaluaron diferencias en la calidad de ecosistemas acuáticos y del agua en fincas certificadas y no certificadas por el sello Rainforest Alliance en municipios de los departamentos de Cundinamarca y Santander. Se seleccionaron de manera aleatoria 12 y 14 fincas cafeteras en Cundinamarca y Santander, respectivamente, con menos de tres años de certificación por Rainforest Alliance y se le asignó un par, que correspondió a una finca cercana en las mismas condiciones ecológicas y sin certificación, que cumplieran los siguientes criterios: presencia de un cuerpo de agua que nazca al interior de la finca y transformaciones del ecosistema que permitían fluir el agua (Cenicafé, 2010).

Se evaluaron los criterios SVAP y CIPAV, se registraron variables fisicoquímicas *in situ* en dos tiempos (cosecha y no cosecha) y en dos puntos del cuerpo de agua (origen y final) y se realizaron recolecciones de macroinvertebrados. Se determinaron índices de calidad de agua como BMWP y Riqueza de *Ephemeroptera/Elmidae*, *Plecoptera* y *Trichoptera* (EPT y ELPT) y se estimaron los intervalos de confianza, con un coeficiente de confianza del 95% y a través del estadístico de prueba t, con las variables cuantitativas. En total, se recolectaron 11.275 ejemplares para los dos departamentos, distribuidos en 35 órdenes, 114 familias y 362 morfoespecies. Todos los cuerpos de agua en las fincas de Cundinamarca permitieron la escorrentía o cauce, por el contrario en Santander, el 35% de las fincas certificadas y el 42% de las no certificadas presentaron cuerpos de agua con transformaciones severas (Cenicafé, 2010).

Se encontraron diferencias significativas ( $t < 0,05$ ) a favor de las fincas certificadas en cuanto a la calidad del entorno físico de los ecosistemas, evaluada con los protocolos SVAP y CIPAV, en los dos departamentos con valores SVAP de  $16,2 \pm 0,9$  y  $13,4 \pm 1,0$  para fincas CE y NC de Cundinamarca y de  $17,1 \pm 1,5$  y  $11,9 \pm 2,0$  para fincas CE y NC de Santander (Cenicafé, 2010).

Los valores CIPAV para fincas CE y NC de Cundinamarca fueron de  $8,1 \pm 0,4$  y  $6,7 \pm 0,5$  respectivamente y de  $8,5 \pm 0,7$  y de  $5,9 \pm 1,0$  para Santander. Las variables de calidad de agua con base en la comunidad de macroinvertebrados, mostraron diferencias significativas a favor de las fincas certificadas para los dos departamentos con valores de BMWP de  $106,7 \pm 9,4$  en el origen y  $67 \pm 6,4$  al final en fincas CE y de  $68,4 \pm 9,6$  en el origen y  $45,1 \pm 7,3$  en el final en fincas NC de Cundinamarca. Para Santander los valores BMWP fueron de  $53,8 \pm 6,7$  en el origen y  $65,4 \pm 10,1$  al final en fincas CE, y de  $40,2 \pm 6,9$  en el origen y  $47,6 \pm 10,7$  al final en fincas NC (Cenicafé, 2010).

Los valores del índice EPT para Cundinamarca fueron de  $6,1 \pm 0,9$  en fincas CE y de  $3,6 \pm 0,8$  en fincas NC. Igualmente para Santander el índice EPT fue de  $7,6 \pm 1,5$  en fincas CE y de  $4,9 \pm 1,1$  en las fincas NC (Cenicafé 2010).

En cuanto a las variables fisicoquímicas estudiadas, tanto la concentración de oxígeno disuelto como la carga de contaminación orgánica DBO, mostraron diferencias significativas entre fincas certificadas y no certificadas en el departamento de Cundinamarca, con valores de  $74 \pm 3,3$  ppm en el origen y  $80,5 \pm 3,5$  ppm al final en fincas CE y  $57 \pm 8,3$  ppm en el origen y  $49,6 \pm 9,2$  ppm al final en fincas NC, de tal manera que el promedio de contaminación orgánica fue más alto en las fincas no certificadas. En cuanto al promedio de oxígeno disuelto fue  $7,1 \pm 0,6$  ppm en las fincas CE y de  $5,8 \pm 0,6$  ppm en fincas NC de Cundinamarca, con valores más altos en las fincas certificadas (Cenicafé, 2010).

Así mismo, Santander arrojó valores de DBO más altos para las fincas no certificadas demostrando diferencias significativas a favor de las fincas certificadas, con valores de  $18,7 \pm 3,9$  ppm en el origen y  $17,7 \pm 5,7$  ppm en el final en fincas CE y  $39,9 \pm 11,3$  ppm en el origen y  $33,3 \pm 7,8$  ppm al final en fincas NC (Cenicafé, 2010).

Este estudio exploratorio es pionero en la generación de información que contribuye como línea base para posteriores monitoreos de calidad de ecosistemas acuáticos. Con la información obtenida se puede concluir que la Norma de Agricultura Sostenible tuvo un efecto tangible, cuantificable y positivo sobre la calidad del agua y del hábitat en los cuerpos de agua, de tal manera que su cumplimiento contribuyó con el sostenimiento de comunidades de macroinvertebrados bioindicadores.

## 7.9. Desarrollo de capacidad y aprendizaje social

Se necesita la preocupación de la comunidad para así movilizar el apoyo efectivo para el manejo sostenible del agua e inducir los cambios en las conductas y acciones requeridas para llevarlos a cabo. Además, la preocupación de la comunidad y la presión por la acción subsecuente, pueden ser vitales en acelerar la voluntad política para actuar.

*“Se ha identificado la capacidad como un problema recurrente que ha obstaculizado el logro de muchas metas nacionales e internacionales, tales como las Metas de Desarrollo del Milenio. La educación, capacitación y desarrollo de capacidad han sido tratados con frecuencia como programas adicionales de desarrollo. En particular, se ha hecho caso omiso a las instituciones locales para el desarrollo de capacidad. Éste se considera un proceso continuo fundamental para lograr la sustentabilidad de las inversiones. El aprendizaje social está estrechamente vinculado con el desarrollo de capacidad, haciendo hincapié en el proceso dinámico que permite que las personas participen en maneras nuevas de pensar en conjunto para solucionar los problemas del uso sustentable del agua” (Consejo Mundial del Agua, 2006).*

La educación y la extensión, como elementos clave de apoyo a la sostenibilidad agrícola, requiere de un talento humano preparado con una formación integral. Por lo tanto, es de gran interés para el sector agrícola el desarrollo de propuestas basadas en la formación y el desarrollo de competencias, donde lo que se busca es desarrollar capacidad de gestión en las personas, es decir, además de acumular conocimientos, es aprender a aprender, a hacer, a organizar, a decidir, a convivir y a participar en un grupo de trabajo.

*A continuación se relaciona la participación de Cenicafé con la comunidad educativa con el fin de desarrollar competencias en la temática de la conservación del agua.*

### **Las competencias laborales y su aplicación en la implementación del sistema integrado de gestión en buenas prácticas agrícolas en la cadena productiva del café**

La implementación de sistemas integrados de gestión en buenas prácticas agrícolas, fundamentados en el recurso humano, permite fortalecer las capacidades de los agricultores, sus familias, trabajadores de campo y comunidad a través de procesos de sensibilización y concientización, de acuerdo con planes de formación y programas educativos que buscan garantizar el buen desempeño, el bienestar y la seguridad de las personas que intervienen en el sistema productivo y a la vez contribuir en el fortalecimiento de la cultura de sostenibilidad de la caficultura colombiana.

Cenicafé a través de la Disciplina de Gestión de la Sostenibilidad para la Caficultura, ha gestionado la participación del Servicio Nacional de Aprendizaje - SENA, entidad que lidera en el país el Sistema Nacional de Formación para el Trabajo. Específicamente se contó con la participación y coordinación del Centro para la Formación Cafetera, con sede en el SENA regional Caldas, la cual tuvo bajo su responsabilidad realizar la formación y certificación por competencias laborales del equipo de personas (150 trabajadores de campo) que hacen parte del sistema de producción de café en la Estación Central Naranjal de Cenicafé y de 165 jóvenes caficultores en ocho Unidades Cafeteras Empresariales – UCAEs, dentro del Modelo Jóvenes Caficultores, en ocho departamentos del país, con el fin de garantizar el cambio y el nivel adecuado de formación de estas personas.

Para la formación de los jóvenes caficultores, se construyeron conjuntamente con la Fundación Manuel Mejía- FMM, SENA y Cenicafé el contenido de los módulos de capacitación, el cual se dividió en tres temas: 1. Gerenciando mi empresa cafetera, 2. Sistemas de producción de café sostenibles y 3. Seguridad alimentaria, y se realizó en 410 horas; mediante esta capacitación obtuvieron el título de Auxiliares en Gestión e Implementación de Buenas Prácticas Agrícolas en el sistema de producción de café. El cual se encuentra publicado y disponible a través de la plataforma Sofía Plus del SENA.

En la formación de Profesionales a nivel de Diplomado en Buenas Prácticas Agrícolas, Cenicafé ha celebrado el Convenio Interinstitucional CEN-627-2010 con la Universidad Autónoma de Manizales y en la Maestría en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente, en el área de Biosistemas Integrados (Manejo Integrado del agua y del suelo) Cenicafé ha celebrado el Convenio Interinstitucional CEN-344-2005 con la Universidad de Manizales.

### **7.10. Garantizando la colaboración a través de los sectores y las fronteras**

El sector del agua es grande y diverso, y el financiamiento adecuado es esencial para todas sus partes, lo que significa que se deben considerar las necesidades de todos sus componentes,

incluyendo: desarrollo y administración de los recursos hídricos , administración y conservación del medio ambiente, investigación, administración y elaboración de políticas, administración fluvial, navegación y control de avenidas, energía hidroeléctrica, irrigación agrícola, uso de agua por los sectores industrial, comercial y turístico, uso y saneamiento del agua municipal y residencial, recolección y tratamiento de aguas residuales, y desecho de lodos (Consejo Mundial del Agua, 2006).

*“Existe una necesidad de encontrar maneras apropiadas para coordinar la realización de políticas, planificar e implementar, de manera integrada, a través de las fronteras sectoriales, institucionales y profesionales, los temas más complejos de coordinación que surgen del manejo de los recursos de agua” (GWP, 2000).*

A continuación se relaciona la participación de la Federación Nacional de Cafeteros en la realización de Convenios con organismos internacionales en la búsqueda de recursos para favorecer a la comunidad cafetera en la temática del agua.

### **Preservando la biodiversidad y contribuyendo a la mitigación y adaptación al cambio climático**

Como complemento a las actividades forestales en el convenio bilateral entre los gobiernos de Alemania y Colombia se formuló un componente denominado “Preservando la biodiversidad y contribuyendo a la mitigación y adaptación del cambio climático”, cuyo objetivo es mejorar el manejo de la biodiversidad por parte de los agricultores de las áreas de influencia del Programa Forestal. Para el logro de este objetivo, se han definido cuatro resultados principales, que incluyen: 1) el establecimiento de corredores de conservación estratégicos en las áreas de influencia del Programa; 2) sistemas de producción sostenibles operando en las fincas participantes; 3) reducción de la contaminación de agua ocasionada por el procesamiento de café; 4) identificación y desarrollo de alternativas de mercados verdes para los participantes del proyecto.

Para establecer las actividades y desarrollos que permitan alcanzar las metas del proyecto fue necesario partir por el establecimiento de la línea base en los componentes que el proyecto requería para lo cual, Cenicafé a través de las Disciplinas de Gestión de Sostenibilidad para la Caficultura, Biología de la Conservación y Calidad y Manejo Ambiental con el apoyo de la Disciplina de Biometría, construyeron los instrumentos de evaluación que permitieron obtener el diagnóstico o estado actual de las zonas de influencia del programa forestal. De acuerdo a los resultados, Cenicafé desarrollará el proyecto “Implementación de un Sistema Integrado de Gestión en Buenas Prácticas Agrícolas en las unidades productivas cafeteras de las áreas de influencia del programa forestal”.

Con base en la experiencia que la Disciplina de Gestión de Sostenibilidad ha generado en los últimos 3 años, en la construcción y ajuste de una metodología que permita la implementación de las Buenas Prácticas Agrícolas- BPA bajo el enfoque de mejoramiento continuo, se llevará a cabo la implementación del Sistema Integrado de Gestión (SIG) en BPA

que permitirá la producción sostenible de café. Esta se basa en principios internacionalmente aceptados, los cuales buscan que la agricultura sea una actividad que permita obtener sus productos sin poner en peligro la capacidad de las futuras generaciones, y así satisfacer sus necesidades.

La implementación del SIG contribuirá a la sostenibilidad es sus tres pilares principales: (1) económico y de calidad, (2) ambiental y (3) social, al proponer herramientas basadas en el desarrollo de tecnologías apropiadas para la producción de café en Colombia producto de los resultados obtenidos en Cenicafé. Estas tecnologías garantizan la competitividad, la sostenibilidad, la reducción de costos de producción, y contribuyen a la conservación del medio ambiente a través de prácticas que promueven el uso racional y eficiente de los recursos naturales. De otra parte, fortalece las capacidades de los agricultores, sus familias, trabajadores de campo y comunidad a través de procesos de sensibilización, concientización, planes de formación y programas educativos que buscan garantizar el buen desempeño, el bienestar y la seguridad de las personas que intervienen en el sistema productivo y a la vez contribuir en el fortalecimiento de la cultura de sostenibilidad de la caficultura colombiana.

### **Huellas de Paz**

Es un Convenio de Cooperación Internacional entre la ONG de España Fundación "Humanismo y Democracia" (H+D) y la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, financiado por la Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo, AECID.

El convenio tendrá un período de ejecución de 4 años (2011-2014), y beneficiará directa o indirectamente, a más de 100.000 personas, ubicadas en 22 municipios de Antioquia, Valle del Cauca, Cauca y Nariño. La inversión total es de 7.367.004 Euros, de los cuales 5.000.000 serán subvencionados por AECID.

El objetivo del Convenio es mejorar la estabilización social e integración de grupos étnicos afectados por el conflicto armado que sufre el país, el abastecimiento de agua potable, la generación de ingresos y la sostenibilidad ambiental de comunidades rurales, como mecanismos para construir modelos de paz en el campo colombiano.

Para alcanzar este objetivo, la Federación de Cafeteros ha adquirido gran experiencia en diversos frentes de desarrollo como educación, capacitación, extensión rural, desarrollo de infraestructuras comunitarias y productivas, uso y protección de la denominación de origen, desarrollo sostenible, construcción de paz, buen gobierno, entre otros.

En las zonas objeto de intervención del Convenio se busca asegurar las condiciones de bienestar para las familias de pequeños caficultores por medio de la implementación de Sistemas Integrados de Gestión Rural – SIGR, que fomenten la convivencia armónica y la aplicación de buenas prácticas sociales, ambientales y económicas, contribuyendo al fortalecimiento de las organizaciones comunitarias, el buen gobierno y la equidad de

género; las capacidades individuales y colectivas y el mejoramiento de la infraestructura productiva y social que facilite el aumento de los ingresos y el cuidado del medio ambiente. La protección y buen uso de los recursos hídricos, el suministro de agua potable y el saneamiento ambiental, serán parte de las actividades básicas de apoyo social rural, a partir la construcción y mantenimiento de acueductos y alcantarillados, apoyados en la participación y organización comunitaria con juntas administradoras de agua y actividades complementarias ambientales de recuperación y cuidado de fuentes, como reforestación y limpieza de cauces.

La colaboración entre Humanismo y Democracia y la Federación se inició en 1999, y ha favorecido, mediante la ejecución de cinco proyectos, tres programas y un convenio, a más de 250 mil familias, en un área de cobertura que abarca a 16 departamentos colombianos y con aportes del orden de 20 millones de Euros.

**Información complementaria:** Las familias de pequeños productores cafeteros de Antioquia, Cauca, Nariño y Valle del Cauca, viven en condiciones de pobreza y la permanente amenaza del conflicto armado, lo que ha generado el debilitamiento del tejido social y del desarraigo en estas zonas, viendo lesionados sus derechos básicos. Esta situación se refleja en el alto índice de necesidades básicas insatisfechas, sistemas productivos pobres, el deterioro de los ecosistemas naturales y la débil organización comunitaria.

Para lograr la paz duradera en estas zonas rurales es necesario reestablecer la equidad social tanto fortaleciendo el colectivo social como generando condiciones individuales de bienestar y oportunidades de desarrollo, que signifiquen una alternativa real a la situación actual. Las redes sociales deben contar con la participación de las comunidades y las instituciones con principios de convivencia, democracia y respeto por los derechos y las diferencias. Las familias necesitan asegurar condiciones dignas de vida y opciones de generación de ingresos.

Esta propuesta busca contribuir a fortalecer la política de desarrollo, la seguridad y la reconstrucción de tejido social en la zona rural colombiana, a través de mayor y mejor participación de los titulares de derechos para fomentar el arraigo, la convivencia pacífica, la reducción de la pobreza y el desarrollo sostenible en las comunidades rurales vulnerables.

Los titulares de derechos son familias campesinas con hombres, mujeres y niños de origen indígena, afro descendiente y mestizo, que son afectados por la violencia interna y tienen altos índices de necesidades básicas insatisfechas y pobreza extrema y con pocas opciones para generar ingresos estables. Esto se refleja, en la falta de accesos a agua potable, que es un derecho fundamental y factor imprescindible para la salud, el bienestar y el desarrollo.

Se han elegido zonas rurales de los departamentos colombianos de Antioquia, Valle del Cauca, Cauca y Nariño, por su vulnerabilidad manifiesta al conflicto armado actual, como alta incidencia guerrillera y de cultivos ilícitos; o por encontrarse en el delicado momento de salida del conflicto, presentando una alta necesidad de atención para reconstruir procesos sociales que garanticen una paz y convivencia duradera y sostenible.

La población se beneficiará con la organización comunitaria y el incremento de la participación para la convivencia armónica sustentada en el buen gobierno, la cultura de paz y la equidad de género; con la cobertura de necesidades básicas a partir del agua como derecho fundamental; el fortalecimiento de las capacidades individuales y colectivas con formación humana y capacitación técnica; la mejora de los sistemas productivos y comerciales agrícolas, y la recuperación y cuidado del medio ambiente.

El convenio integra las fortalezas de los socios y promueva la participación de múltiples actores locales como alcaldías y gobernaciones, en la solución de las necesidades expresadas por la población titular de derechos. Esta colaboración y el aumento de la capacidad de coordinación son elementos fundamentales para satisfacer necesidades básicas, desarrollar sistemas productivos sostenibles y reconstruir el tejido social hacia el futuro.

Las actividades en estas zonas contribuirán de manera decisiva a la convivencia pacífica y a la consecución de las metas de Desarrollo del Milenio, enmarcadas en las líneas de ejecución del Plan Director de la Cooperación Española 2009-2012, atendiendo de manera especial, a las clases sociales más vulnerables y a las poblaciones colombianas azotadas por la violencia interna.



## 8. CONCLUSIONES

A continuación se presentan las Buenas Prácticas Agrícolas que se han generado en las diferentes investigaciones de Cenicafé, que tienen relación directa con el ciclo hidrológico y que se pueden utilizar para ir construyendo el Modelo de Gestión Integrada del Recurso Hídrico en la caficultura colombiana, por ser económicas, eficientes y de relativa fácil adopción por parte de los caficultores, con el fin de proteger, conservar y cuidar el agua en la zona cafetera.

### **Conservar la cantidad y la calidad del agua en las microcuencas**

Reforeste las microcuencas con especies forestales nativas que se adapten a las condiciones agroecológicas de la zona, que se destaquen por su buena adaptación y desarrollo y de las cuales se conozcan las soluciones ante problemas de enfermedades y plagas. Así mismo, es necesario tener el conocimiento para su manejo silvicultural, y que además de proteger las cuencas y las fuentes de agua, sirvan de alimento para avifauna y pequeños mamíferos, y para la producción de madera comercial.

Utilice la información climática y las alertas tempranas sobre la ocurrencia de los eventos de El Niño y La Niña para planificar los cultivos y disminuir los riesgos de daño.

Realice el manejo racional e integrado de los recursos naturales, de acuerdo con las condiciones del entorno y con su aptitud de uso, con el fin de prevenir los problemas de degradación como la erosión hídrica, los movimientos en masa, la contaminación de aguas,

y así contribuir con la conservación de los suelos, aguas y biodiversidad, especialmente en las zonas de ladera. Para el manejo integrado del suelo realice la selección y localización apropiada de los cultivos, el establecimiento de coberturas en los suelos, la construcción de trinchos vivos para la canalización de las aguas de escorrentía, el mantenimiento de las bocatomas, el manejo integrado de arvenses y los tratamientos de bioingeniería.

## Variedades resistentes a enfermedades y plagas

Siembre las Variedades Castillo® Regionales y la variedad Tabi, resistentes a la roya del cafeto. Desde hace más de 25 años, Cenicafé a través de la producción de variedades resistentes, ha contribuido a la estabilidad y rentabilidad del cultivo del café en toda la zona cafetera nacional, al disminuir las pérdidas en el cultivo y los gastos asociados a su control, además ha contribuido a la conservación del ambiente, al presentar una solución alterna al uso de los pesticidas para el control de enfermedades. Ésta es una política continua, en la que se buscan soluciones a problemas que como la broca y la roya, están presentes en el país, pero que también incluyen soluciones para problemas futuros como el CBD.

## Manejo integrado de enfermedades y plagas

Utilice el manejo integrado para prevenir y tratar problemas de enfermedades y plagas. Las plagas del café, como el caso de la broca, pueden mantenerse en niveles por debajo de los umbrales de daño económico, si se seleccionan cuidadosamente diferentes estrategias de control dentro de un programa de Manejo Integrado, que incluya el continuo monitoreo de poblaciones en el campo, manteniendo un adecuado manejo de luz dentro de la plantación, zoqueando las plantaciones decadentes, cosechando oportunamente, evitando la dispersión de la plaga durante la recolección y el beneficio del café, conservando y aumentando los enemigos naturales nativos, introduciendo agentes biológicos de control, asperjando insecticidas biológicos y usando como estrategia última insecticidas químicos de baja toxicidad, de manera localizada en el cultivo y únicamente en el momento de detectar los vuelos del insecto dentro de la plantación.

La estrategia de manejo integrado de la broca ha sido desarrollado completamente por Cenicafé, y está basada en la combinación de prácticas de control cultural, biológico, etológico, físico y químico, usando los resultados diagnósticos a partir de evaluaciones de infestación, monitoreo de poblaciones en vuelo y desarrollo fisiológico de las plantaciones de café. El uso de insecticidas químicos se restringe a la selección de aquellos productos ligeramente tóxicos, asperjados en momentos muy específicos del año.

## Manejo eficiente del agua en el proceso de beneficio

Despulpe el fruto de café sin utilizar agua y transporte la pulpa a las fosas de manejo por gravedad o medios mecánicos, con ello se evita las  $\frac{3}{4}$  partes del problema de contaminación orgánica generada en el proceso de beneficio de café.

Para la clasificación hidráulica del fruto de café, utilice el Separador Hidráulico de Tolva y Tornillo Sinfin (SHTS), que tiene un bajo consumo específico de agua (0,025 L/kg c.p.s.) y bajo requerimiento de potencia, adaptable a las condiciones de los beneficiaderos, en un amplio rango de necesidades de procesamiento (desde 300 kg/h de cereza) y de relativo bajo costo. El SHTS logra disminuir en 99,5% el consumo específico de agua (respecto al tanque sifón), con mayor eficacia en separación de flotes y de objetos duros.

Para el café beneficiado por fermentación natural, lave el café dentro de los tanques de fermentación, utilizando la práctica de los cuatro enjuagues en el tanque tina, con lo cual se disminuye el consumo de agua en la etapa de lavado del grano de café a valores cercanos a 4 L/kg de c.p.s. sin afectar la calidad física ni en taza del producto, favoreciendo, desde el punto de vista económico, el diseño de los sistemas de tratamiento de las aguas mieles generadas.

El potencial de usuarios de la Tecnología Tanque Tina sobrepasa el medio millón de UPAs (Unidades Productoras Agrícolas), las cuales corresponden en más del 90% a pequeños productores de café. En el año 2004 Cenicafe apoyó la transferencia de la tecnología en lavado en tanque tina a 574 productores de café orgánico de la Sierra Nevada de Santa Marta, la zona tiene una producción anual cafetera estimada de 2.821.641 kg de c.p.s., (0,38% de la cosecha nacional), lo que representa una economía de agua por el uso de tanque tina para estas pequeñas fincas cafeteras, del orden de 56,4 millones de litros de agua limpia, que permiten suplir las necesidades diarias de agua en una ciudad de 378 mil habitantes, o para las necesidades anuales de una población de 1.000 habitantes.

Para el café beneficiado por desmucilaginado mecánico, utilice la tecnología Becolsub, que requiere menos de 1 litro de agua por kilogramo de café pergamino seco. Luego de 16 años de haber sido entregada a la industria nacional para su fabricación, en Colombia se utilizan actualmente cerca de 20.000 equipos, que permiten obtener cada año 291 millones de kilogramos de café pergamino seco, con economía de 11,4 millones de metros cúbicos de agua, evitando que 132.400 m<sup>3</sup> de mucílago lleguen a las fuentes de agua, con carga contaminante de 38.900 toneladas de D.Q.O., equivalente a la contaminación diaria de una ciudad de 100.000 habitantes aproximadamente.

Utilice lavadores mecánicos en los beneficiaderos donde sea posible, para el café beneficiado por fermentación natural. Con la tecnología Ecolav se logra un avance notorio en la reducción del agua utilizada en el beneficio húmedo del café, al pasar de 20 a 0,3 L.kg/ c.p.s (98,5%) en el caso del canal de correteo. Con relación al tanque tina y la tecnología Becolsub, la disminución en el consumo de agua asciende a 92,4% y 57,1%, respectivamente.

Debido a su diseño y operación, con la tecnología Ecolav se lava café con consumo específico de agua de 0,3 a 0,4 L/kg de c.p.s., retirando más del 95% del mucílago presente en los granos, con potencia específica con una variación de 0,86 a 1,29 W.h/kg de café lavado, que representa el 10,9% del valor observado en la tecnología Becolsub.

El impacto en el ahorro de agua y en la eliminación de la contaminación causada por el mucílago del café utilizando la tecnología Ecolav, considerando una producción anual de 11 millones de sacos de café verde, podría llegar hasta 16,2 millones de m<sup>3</sup>/año, equivalente al volumen utilizado al año por una población de 300.000 habitantes.

## Tratamiento integral a las aguas residuales del proceso de beneficio

Para el tratamiento de las aguas mieles provenientes del lavado del grano utilizar los *Sistemas Modulares para el Tratamiento Anaerobio*, SMTA, los cuales permiten el tratamiento del mucílago fermentado, que corresponde al 28% de la contaminación total que generan los subproductos, y que está presente en las aguas residuales de lavado, con un aporte de 24 g de Demanda Química de Oxígeno DQO por kilogramo de café en cereza, y una concentración de 27.400 mg/L, contaminación que se genera en los canalones de clasificación y correteo operados con recirculación de agua o lavado en los tanques de fermentación, como es el caso de tecnología del tanque tina. Con estos sistemas es posible eliminar más del 80% de la contaminación generada por las aguas mieles, cumpliendo con lo dispuesto en el decreto 1594 de 1984.

Para productores cafeteros que utilizan el desmucilaginado mecánico, se utilizan Sistemas de Tratamiento Primario para Lixiviados (STLB), los cuales constan de un acondicionador de pulpa (AP), una unidad de control de insolubles (UCI) y un filtro preacidificador (FP), que permite bajar la concentración de los afluentes a valores que pueden ser dosificados a los SMTA. Se pudo calcular para UCI y FP una remoción neta de DQO de 36,4% y 48,16% y una remoción acumulada del 67,04%, respectivamente.

Actualmente, en una finca cafetera cercana a Cenicafé, se estudia la implementación del tratamiento secundario a escala cafetera de los STLB, incorporando un SMTA en serie, buscando la solución integral al problema de contaminación de los lixiviados. Al nuevo prototipo se le ha denominado SITAL (Sistema Integral de Tratamiento Anaerobio), con el fin de generar la información necesaria que permita ajustar los diseños definitivos para los productores cafeteros que utilicen la tecnología Becolsub y que requieran este tipo de sistemas.

Para el postratamiento de las aguas mieles con concentraciones de DQO < 1172 ppm, utilice sistemas de tratamiento natural que involucren una mezcla de las especies flotantes *E. crassipes*, *P. stratiotes* y *S. auriculata*, en el cual se aproveche la biomasa generada para la elaboración de abono orgánico mediante el proceso de lombricultura o como suplemento de los sustratos tradicionales utilizados en la producción de hongos comestibles. De esta forma, se pueden obtener efluentes con concentraciones de DQO menores a 400 ppm, menores a la concentración letal media encontrada para el pez *Lebistes reticulatus*, bioindicador acuático más sensible en estudios de impacto biológico realizados en la zona de estudio, cuyo valor fue de 490 ppm.



## 9. ANEXOS

### Publicaciones en formato digital en variables climáticas y balance hídrico de la zona cafetera

**JARAMILLO R., A. Distribución de la lluvia dentro de los cafetales. Avances Técnicos Cenicafé No. 262:1-4. 1999.**

**RESUMEN:** En este Avance Técnico se relacionan los diferentes componentes del balance hídrico observados en Cenicafé y en la subestación Paraguaicito-Quindío, en cafetales a libre exposición solar y cafetales bajo sombrío de guamo *Inga* sp., nogal *Cordia alliodora*, pino *Pinus oocarpa* y eucaliptos *Eucaliptus grandis*. La Estación Central de Cenicafé está localizada a 05°00' latitud norte, 75°36' longitud oeste y 1.425 m de altitud, con las siguientes características anuales de clima: lluvia 2.530 mm, evaporación 1.300 mm, temperatura media de 20°C, temperatura máxima de 26,8°C y temperatura mínima de 15,8°C. El brillo solar registra 1.800 horas y un 78% la humedad relativa. La Subestación de experimentación de Cenicafé, Paraguaicito en el departamento del Quindío, está localizada a 04°23' Norte, 75°44' Oeste y 1.250 m de altitud; con valores anuales de lluvia de 2.100 mm, evaporación de 1.324 mm, temperatura media 21,3°C, temperatura máxima de 28,1°C, temperatura mínima de 16,8°C, brillo solar de 1.797 horas y una humedad relativa del 77%. Las áreas experimentales en Cenicafé fueron: - Una parcela de café de la variedad Caturra, plantada a una distancia de siembra de 2,0 m entre surcos y 1,0 m entre plantas bajo sombrío de guamo *Inga* sp. plantado a una distancia de siembra de 12,0 m x 12,0 m; - Una parcela de café de la variedad Colombia a libre exposición solar, con una distancia de siembra de 2,0 m entre surcos y 1,0 m entre plantas. En Paraguaicito, las parcelas experimentales reunían las siguientes características: - Una plantación de café de la variedad Colombia a libre exposición solar, sembrada a 1,5 m x 1,5 m; - Plantaciones de café de la variedad Colombia sembrada a 1,5 m x 1,5 m bajo sombrío de nogal, pino y eucalipto sembrados a 6,0 m x 6,0 m. En general para los cafetales a libre

exposición solar y bajo diferentes tipos de sombrío, la mayor proporción de la lluvia externa que ingresa al sistema es retenida por la parte aérea de la planta, con valores de interceptación del 56%; solamente un 44% de la lluvia llega a la superficie del suelo, de la cual un 38% se infiltra en el perfil del suelo y un 6% es agua de escorrentía. La máxima interceptación de la lluvia se observó en los cafetales con sombrío de nogal (61%) y la mínima en cafetales a libre exposición solar (46%).

**JARAMILLO R., A.; CHAVES C., B. Aspectos hidrológicos en un bosque y en plantaciones de café, *Coffea arabica* L. al sol y bajo sombra. Cenicafé, (Colombia) 50(2):97-105. 1999.**

**RESUMEN:** En esta investigación se cuantificaron las diferencias que ocurren en los componentes del balance hidrológico debido al cambio de la cobertura vegetal. Se realizó en un bosque primario multiestrato y en parcelas experimentales de café, *Coffea arabica* L. en condiciones de libre exposición solar y bajo sombrío de guamo *Inga* sp. Se encontraron relaciones de tipo exponencial entre la lluvia incidente, en la parte externa y los valores de lluvia efectiva, interceptación, escorrentía y percolación. Las expresiones matemáticas encontradas fueron de tipo logístico con valores máximos (asíntota) y tasas variables según la cobertura y la intensidad de la lluvia. Se observa una alta variabilidad en las cantidades de lluvia interceptada (asíntota máxima), se presentan en el bosque (53,7 mm) y en cafetales bajo sombrío de guamo (60,3 mm). Las diferencias entre los valores máximos de la escorrentía no son apreciables para las tres coberturas y presentan valores de 4,5 mm en el bosque, 4,8 mm en el cafetal bajo sombrío y 5,2 mm en el cafetal a libre exposición solar. Las asíntotas máximas para la percolación varían entre 27,1 mm en el cafetal bajo sombra y 34,2 mm en el cafetal a libre exposición solar.

**JARAMILLO R., A. Climatología de región andina de Colombia; microclima y fenología del cultivo del café. Chinchiná (Colombia), Cenicafé, 2000. 172 p.**

**RESUMEN:** El presente trabajo recopila gran parte de los estudios realizados por la disciplina de Agroclimatología de Cenicafé. Se expone una visión del clima de las regiones cafeteras y del microclima de los cafetales. Se presentan aspectos sobre la región Andina de Colombia y un análisis de los diferentes elementos que componen el clima como son la radiación y el brillo solar, la temperatura del aire y del suelo, la lluvia en su cantidad, distribución e intensidad, la evaporación, el balance hídrico, el viento, la presión atmosférica, granizo, tormentas eléctricas y las modificaciones del clima regional por la topografía (topoclimas), especialmente por la altitud. Con relación al microclima de los diferentes balances de radiación solar, de energía y de agua, la temperatura de la planta, la humedad atmosférica, la evaporación y el viento dentro de las plantaciones, se presenta el comportamiento fenológico del café, patrones de floración, crecimiento del fruto en relación a la disponibilidad hídrica, distribución de la cosecha. Se relacionan otros aspectos como son las heladas y el cambio climático global.

**JARAMILLO R., A. La lluvia y el transporte de nutrimentos dentro de ecosistemas de bosque y cafetales. Cenicafé 54(2):134-144. 2003.**

**RESUMEN:** Se presentan la redistribución de la lluvia y el transporte de nutrimentos en un bosque y en cafetales a libre exposición solar y bajo sombrío de guamo *Inga* sp, nogal *Cordia alliodora*, pino *Pinus oocarpa* y eucalipto *Eucalyptus grandis*. Se encontró que los niveles de interceptación varían entre el 46 y el 59%, con un valor medio del 54% que son altos cuando se comparan con otros reportados en la literatura. La cantidad de agua que llega a la superficie del suelo registró un valor medio del 46% con valores que varían entre el 41 y 54%. Los niveles de percolación son del orden del 40% (varió entre el 36 y el 48%) del total de la lluvia, siendo un valor alto y de tener en

cuenta en el lavado de nutrientes y de contaminantes a través del perfil del suelo. La escorrentía varía entre el 4% y 8% con un valor medio del 6% del total de la lluvia. Las cantidades de agua almacenada en la parte aérea de los diferentes ecosistemas varían entre 0,33 y 1,07mm. El Potasio es el elemento que en mayor cantidad ingresa al suelo en el agua de lavado foliar, siguiendo en orden descendente el Calcio y el Magnesio. Las cantidades de nutrientes que se mueven en el agua de escorrentía son comparativamente bajas debido a que esta componente solo representa alrededor del 6% de la lluvia total.

**GIRALDO J., J.F.; JARAMILLO R., A. Ciclo hidrológico y transporte de nutrientes en cafetales bajo diferentes densidades de sombrío de guamo. Cenicafé 55(1):52-68. 2004.**

**RESUMEN:** En un sistema agroforestal de *Coffea arabica* L. con sombrío de *Inga edulis*, se evaluaron el ciclo hidrológico y el transporte de nutrientes en el agua de lluvia. El estudio se desarrolló en cafetales establecidos con sombrío en tres distancias de siembra y dos niveles de fertilización. Se encontraron relaciones lineales entre la lluvia efectiva y la percolación con respecto a la lluvia externa. No hubo relación entre la escorrentía y la lluvia externa. Aunque sin tendencia definida, la interceptación presentó menos dispersión que la escorrentía. La distancia de siembra no afectó los componentes del ciclo, excepto la humedad del suelo. La percolación calculada difiere de la medida en el campo. En cada parcela hubo gran variabilidad de la lluvia efectiva. De la lluvia externa, la vegetación retuvo 15%, y del 85% que llegó al suelo, 5% se perdió como escorrentía y 65% ingresó como percolación. Si bien el transporte de nutrientes en el agua no se vio afectado por la distancia de siembra se observó relación entre el nivel de fertilización y las cantidades de nutrientes en el agua. Se destacaron las cantidades de potasio en el lavado foliar ( $181\text{kg ha}^{-1}\text{ año}^{-1}$ ) y las de calcio en la percolación ( $199\text{kg ha}^{-1}\text{ año}^{-1}$ ).

**JARAMILLO R., A.; ARCILA P., J. Variabilidad climática en la zona cafetera colombiana asociada al evento de la niña y su efecto en la caficultura. Avances Técnicos Cenicafé No. 389:1-8. 2009.**

**RESUMEN:** La Niña es un evento climático natural que se produce por la interacción entre la atmósfera y el océano; su principal característica es la disminución de la temperatura en las aguas superficiales del océano Pacífico en una gran área de la región ecuatorial, situada entre los 10° Norte y 10° Sur. Como resultado de este enfriamiento del océano, se afecta el clima en la Tierra, con disminución de las lluvias en algunas regiones y el incremento en otras, asociadas a cambios en el brillo solar y la temperatura. El evento de La Niña tiene una duración media de doce meses, sin embargo las condiciones frías del océano Pacífico pueden prolongar este evento hasta por tres años. La Niña se presenta en forma recurrente pero no periódica y, en términos generales, ocurre una o dos veces cada diez años. Comparativamente, La Niña ha sido menos frecuente que el evento de El Niño, es así como entre 1935 y el 2008 se han presentado ocho episodios de La Niña, en comparación con 16 eventos El Niño.

**JARAMILLO R., A.; ARCILA P., J. Variabilidad climática en la zona cafetera colombiana asociada al evento de El Niño y su efecto en la caficultura. Avances Técnicos Cenicafé No. 390:1-8. 2009.**

**RESUMEN:** El Niño, es un evento climático natural que se produce por la interacción entre la atmósfera y el océano. Su principal característica es el incremento de la temperatura en las aguas superficiales del océano Pacífico, en una gran área de la región ecuatorial, situada entre los

10° Norte y 10° Sur. Como resultado de este calentamiento del océano, se afecta el clima terrestre, con disminución de las lluvias en algunas regiones y el incremento en otras, asociadas a cambios en el brillo solar y de la temperatura.

## Publicaciones en formato digital en especies forestales nativas para la reforestación de microcuencas de la zona cafetera

**OSPINA P., C.M.; HERNÁNDEZ R., R.J.; GÓMEZ D., D.S.; GIL P., Z.N.; GODOY B., J.A.; ARISTIZABAL V., F.A.; PATIÑO C., J.N.** Guías silviculturales para el manejo de especies forestales con miras a la producción de madera en la zona andina colombiana; el frijolito o tambor *Schizolobium parahyba*. Chinchiná (Colombia), Cenicafé-FNC-PROEXPORT-KfW, 2004. 23 p.

**RESUMEN:** Sobre esta especie forestal *Schizolobium parahyba* se presenta su morfología, selección de árboles semilleros, recolección, secado y almacenamiento de semillas, viveros, plagas que la atacan y aprovechamiento.

**HERNÁNDEZ R., R.J.; OSPINA P., C.M.; GÓMEZ D., D.S.; GODOY B., J.A.; ARISTIZABAL V., F.A.; PATIÑO C., J.N.; MEDINA O., J.A.** Guías silviculturales para el manejo de especies forestales con miras a la producción de madera en la zona andina colombiana : El nogal cafetero *Cordia alliodora* Ruiz y Pavón Oken. Chinchiná: CENICAFE : FNC : PROEXPORT, 2004. 32 p.

**RESUMEN:** Sobre esta especie forestal *Cordia alliodora* se presenta su morfología, selección de árboles semilleros, recolección, secado y almacenamiento de semillas, propagación vegetativa, establecimiento de la plantación, plagas y enfermedades, aprovechamiento u usos.

**OSPINA P., C.M.; HERNÁNDEZ R., R.J.; ARISTIZABAL V., F.A.; PATIÑO C., J.N.; SALAZAR C., J.W.** El cedro negro: una especie promisoría en la zona cafetera. Boletín Técnico Cenicafé N° 25. Chinchiná. Caldas. 2003. 40 p.

**RESUMEN:** Sobre el cedro negro *Juglans neotropica* se presenta su taxonomía, descripción morfológica, fenología, germinación y transplante, recolección de frutos y almacenamiento de semillas, manejo de plántulas, plagas y enfermedades y usos.

## Publicaciones en formato digital en manejo integrado de plagas y enfermedades en el cultivo de café

**VILLALBA G., D.A.** Calibración de aspersoras manuales de espalda. Bogotá (Colombia), FNC-Cenicafé, 1993. 16 p. (Boletín de Extensión No. 75).

**RESUMEN:** Para el manejo integrado de la Broca de los frutos del Café *Hypothenemus hampei*, se indica cómo usar las aspersoras tanto para control biológico con aspersiones del bioinsecticida a partir del hongo *Beauveria bassiana*, como para una posible aplicación de insecticidas. Se describen las clases de aspersoras que existen, su calibración y los pasos a seguirse. Se indican las boquillas recomendables para realizar las aplicaciones. Se concluye con el gasto de agua y las dosificaciones del bioinsecticida o de los químicos.

**RIVILLAS O., C.A.; LEGUIZAMON C., J.E.; GIL V., L.F. Recomendaciones para el manejo de la roya del cafeto en Colombia. Boletín Técnico Cenicafé No. 19:1-36. 1999.**

**RESUMEN:** Se indican los criterios básicos para iniciar un programa de manejo de la roya del cafeto *Hemileia vastatrix*, mencionando los efectos del hongo sobre la calidad y cantidad de la producción, cómo realizar el control químico mediante calendarios fijos y de acuerdo a niveles de infección. Se dan indicaciones para la calibración de las aspersiones. Se concluye con aspectos de costos de control de la roya con diferentes fungicidas y equipos de aspersión, haciendo un análisis financiero de estos aspectos.

**MORENO R., L.G.; ALVARADO A., G. La Variedad Colombia; veinte años de adopción y comportamiento frente a nuevas razas de la roya del cafeto. Boletín Técnico Cenicafé No. 22:1-32. 2000.**

**RESUMEN:** La Variedad Colombia, cultivar resistente al ataque de la roya *Hemileia vastatrix* fue entregada por Cenicafé en 1980. Fue el resultado de un proyecto de investigación iniciado a finales de la década de los años 60. Desde su obtención, esta variedad se ha sembrado continuamente en las últimas dos décadas, mostrando buenos resultados con relación a factores de resistencia al patógeno y con excelente comportamiento agronómico. Se ha continuado con el proceso de investigación desde el momento mismo de su entrega a los caficultores para su cultivo, produciendo nuevos componentes que han mejorado sus características inicialmente obtenidas y han permitido mantener actualizada la resistencia a la roya y así contrarrestar el efecto causado por la aparición de nuevas razas del patógeno.

**BUSTILLO P., A.E. El manejo de cafetales y su relación con el control de la broca del café en Colombia. Boletín Técnico Cenicafé No. 24:1-40. 2002.**

**RESUMEN:** En este boletín técnico se dan generalidades sobre la broca del café, cómo hacer un muestreo y cuáles son los umbrales de daño económico, los enemigos nativos de la broca, el control cultural, se relacionan los hongos y los parasitoides que se utilizan para el control, eficacia de los insecticidas y evaluación del manejo integrado. Para finalizar se dan algunas recomendaciones para los cafeteros.

**ALVARADO A., G.; POSADA S., H.E.; CORTINA G., H.A. Castillo: Nueva variedad de café con resistencia a la roya. Avances Técnicos Cenicafé No. 337:1-8. 2005.**

**RESUMEN:** Este Avance Técnico presenta la nueva variedad Castillo, para la cual se utilizaron como progenitores la variedad Caturra y el Híbrido de Timor. Para la selección de los componentes de esta variedad se tuvieron en cuenta los criterios de evaluación de resistencia completa e incompleta a la roya del cafeto en una o varias combinaciones, su porte bajo y fenotipo compatible en mezclas de progenies, la producción y adaptabilidad a las condiciones de la zona cafetera, así como la productividad similar o superior de las variedades Caturra y Colombia. Además, las características del grano y la calidad, similares o superiores a las de otras variedades tradicionalmente cultivadas y la incidencia de enfermedades diferentes a la roya no mayor a la observada en variedades tradicionales. Su conformación genética es garantía de estabilidad en sus atributos agronómicos y de resistencia a la roya, permite su siembra en diferentes zonas donde la roya del cafeto es un factor limitante a la producción, como también donde la enfermedad no tiene mayor incidencia. En las regiones de mayor altitud permite a los productores beneficiarse del mayor potencial productivo, de la excelente granulometría y de la ventaja por ahora intangible de la tolerancia a la enfermedad de las cerezas del café.

**ALVARADO A., G.; POSADA S., H.E.; CORTINA G., H.A.; DUQUE O., H.; BALDIÓN R., J.V.; GUZMÁN M., O. La Variedad Castillo Naranjal para las regiones cafeteras de Caldas, Quindío, Risaralda y Valle. Avances Técnicos Cenicafé No. 338:1-8. 2005.**

**RESUMEN:** En este Avance Técnico se presenta la nueva Variedad Castillo Naranjal, la cual se caracteriza por su resistencia a la roya y a otras enfermedades, así como por sus atributos agronómicos sobresalientes, con altas productividades por unidad de área y una amplia adaptación a las condiciones de la caficultura colombiana.

**ALVARADO A., G.; POSADA S., H.E.; CORTINA G., H.A.; DUQUE O., H.; BALDIÓN R., J.V.; GUZMÁN M., O. La Variedad Castillo Paraguaicito para las regiones cafeteras de Quindío y Valle del Cauca. Avances Técnicos Cenicafé No. 339:1-8. 2005.**

**RESUMEN:** En este Avance Técnico se presenta la nueva Variedad Castillo Paraguaicito, la cual se caracteriza por su resistencia a la roya y a otras enfermedades, así como por sus atributos agronómicos sobresalientes con altas productividades por unidad de área y una amplia adaptación a las condiciones de la caficultura colombiana.

**ALVARADO A., G.; POSADA S., H.E.; CORTINA G., H.A.; DUQUE O., H.; BALDIÓN R., J.V.; GUZMÁN M., O. La Variedad Castillo El Rosario para las regiones cafeteras de Antioquia, Risaralda y Caldas. Avances Técnicos Cenicafé No. 340:1-8. 2005.**

**RESUMEN:** En este Avance Técnico se presenta la nueva Variedad Castillo El Rosario, la cual se caracteriza por su resistencia a la roya y a otras enfermedades, así como por sus atributos agronómicos sobresalientes con altas productividades por unidad de área y una amplia adaptación a las condiciones de la caficultura colombiana.

**ALVARADO A., G.; POSADA S., H.E.; CORTINA G., H.A.; DUQUE O., H.; BALDIÓN R., J.V.; GUZMÁN M., O. La Variedad Castillo Pueblo Bello para las regiones de Magdalena, Cesar, La Guajira y Norte de Santander. Avances Técnicos Cenicafé No. 341:1-8. 2005.**

**RESUMEN:** En este Avance Técnico se presenta la nueva Variedad Castillo Pueblo Bello, la cual se caracteriza por su resistencia a la roya y a otras enfermedades, así como por sus atributos agronómicos sobresalientes con altas productividades por unidad de área y una amplia adaptación a las condiciones de la caficultura colombiana.

**ALVARADO A., G.; POSADA S., H.E.; CORTINA G., H.A.; DUQUE O., H.; BALDIÓN R., J.V.; GUZMÁN M., O. La Variedad Castillo Santa Bárbara para las regiones cafeteras de Cundinamarca y Boyacá. Avances Técnicos Cenicafé No. 342:1-8. 2005.**

**RESUMEN:** En este Avance Técnico se presenta la nueva Variedad Castillo Santa Bárbara, la cual se caracteriza por su resistencia a la roya y a otras enfermedades, así como por sus atributos agronómicos sobresalientes con altas productividades por unidad de área y una amplia adaptación a las condiciones de la caficultura colombiana.

**ALVARADO A., G.; POSADA S., H.E.; CORTINA G., H.A.; DUQUE O., H.; BALDIÓN R., J.V.; GUZMÁN M., O. La Variedad Castillo La Trinidad para regiones cafeteras de Tolima. Avances Técnicos Cenicafé No. 343:1-8. 2006.**

**RESUMEN:** En este Avance Técnico se presenta la nueva Variedad Castillo La Trinidad, la cual se caracteriza por su resistencia a la roya y a otras enfermedades, así como por sus atributos agronómicos sobresalientes con altas productividades por unidad de área y una amplia adaptación a las condiciones de la caficultura colombiana.

**POSADA S., H.E.; ALVARADO A., G.; CORTINA G., H.A.; SOLARTE P., C.R.; DUQUE O., H.; BALDIÓN R., J.V.; GUZMÁN M., O. La variedad Castillo El Tambo: para regiones cafeteras de Cauca, Nariño, Huila, Tolima y Valle del Cauca. Avances Técnicos Cenicafé No. 344:1-8. 2006.**

**RESUMEN:** En este Avance Técnico se presenta la nueva Variedad Castillo El Tambo, la cual se caracteriza por su resistencia a la roya y a otras enfermedades, así como por sus atributos agronómicos sobresalientes con altas productividades por unidad de área y una amplia adaptación a las condiciones de la caficultura colombiana.

**CADENA G., G.; GAITÁN B., A.L. Las enfermedades del café: logros y desafíos para la caficultura colombiana del siglo XXI. Manejo Integrado de Plagas y Agroecología (Costa Rica) No. 77:89-93. 2006.**

**RESUMEN:** El cafeto es una planta originaria de Africa e introducida a Colombia en el siglo XVIII. Por las favorables condiciones climáticas y de suelos, su cultivo prosperó en el territorio nacional bajo un esquema de caficultura tradicional, con la ventaja de no encontrarse por muchos años ante factores limitantes para su crecimiento y producción. Durante ese período se describió una docena de enfermedades causadas en su mayoría por hongos, que por su naturaleza local y ocasional no requerían prácticas exigentes para su manejo. El cambio hacia una caficultura tecnificada trajo consigo una mayor productividad y una alteración en la importancia relativa de las enfermedades presentes, que se marcó definitivamente con la llegada de la roya del cafeto a Colombia en 1983. Ante la presencia constante de la roya y su evidente daño se llevaron a cabo investigaciones en epidemiología, tecnologías de aspersión y desarrollo de variedades resistentes, hasta eventualmente entrar en una fase de convivencia con la enfermedad. Las condiciones del mercado, la evolución de los patógenos y los avances en la investigación han modificado el panorama de sanidad vegetal para comienzos del siglo XXI. El desafío que se presenta es generar oportunamente el conocimiento científico para mejorar la calidad fitosanitaria de los cafetales, buscando un mayor beneficio para el caficultor, para el medio ambiente y, especialmente, para el consumidor.

## Publicaciones en formato digital en manejo integrado del suelo de la zona cafetera

**HINCAPIÉ G., E.; RIVERA P., J.H. Validación del factor erodabilidad en suelos de la Unidad Chinchiná (*Melanudands*) mediante el uso de simulador de lluvias. Cenicafé 54(1):77-89. 2003.**

**RESUMEN:** En cuatro localidades de la zona cafetera central colombiana, ubicadas en los departamentos de Caldas, Risaralda y Antioquia con suelos de la Unidad Chinchiná (*Melanudands*) se determinó bajo condiciones de laboratorio el factor erodabilidad entre surcos Ki - WEPP, se utilizó un simulador de lluvias de boquillas oscilatorias; los valores de erodabilidad se correlacionaron con 27 propiedades físicas y químicas determinadas en cada una de las localidades estudiadas. No obstante, los suelos de las cuatro localidades están clasificados dentro de la misma unidad de suelo,

se presentaron diferencias estadísticas en algunas propiedades físicas y químicas tales como la resistencia del suelo al cortante tangencial, la cual fue estadísticamente mayor en Naranjal - Caldas (31,38 kpa) y la Catalina - Risaralda (33,34 kpa) y menor en El Rosario - Antioquia (25,5 kpa) y Supía - Caldas (24,51 kpa); la resistencia del suelo a la penetración a diferentes profundidades, con valores estadísticamente mayores en La Catalina (0,85; 1,26 y 1,39 Mpa a 1, 5 y 10 cm de profundidad, respectivamente) y menores en El Rosario (0,41; 0,54 y 0,57 Mpa a 1; 5 y 10 cm de profundidad, respectivamente). La erodabilidad correlacionó positivamente con propiedades como densidad aparente ( $R^2 = 0,66$ ); densidad real ( $R^2 = 0,4$ ); agregados estables en agua de 2-1 mm ( $R^2 = 0,58$ ); de 1-0,5 mm ( $R^2 = 0,63$ ); de 0,5-0,25 mm ( $R^2 = 0,68$ ) y negativamente con propiedades como contenido de materia orgánica ( $R^2 = 0,25$ ); estabilidad de los agregados en agua ( $R^2 = 0,61$ ) agregados estables en agua 2 mm ( $R^2 = 0,61$ ) y porosidad total ( $R^2 = 0,68$ ). Al realizar un análisis de componentes principales se encontró que la mayor resistencia del suelo a la erosión está asociada con valores altos de propiedades como: Contenido de nitrógeno, materia orgánica, capacidad de Intercambio Catiónico, estabilidad de agregados en húmedo, contenido de arenas de 0,1-0,05, retención de humedad a 1/3, 1 y 15 bares y con valores bajos en propiedades como densidad aparente y real, contenido de arenas de 1-0,5, de 0,5-0,25, y de 0,25-0,1 mm. Estos resultados confirman que la estabilidad de los agregados en húmedo es una de las propiedades que más influye en la resistencia de un suelo a la erosión.

**SALAZAR G., L.F.; HINCAPIÉ G., E. Arvenses de mayor interferencia en los cafetales. Avances Técnicos Cenicafé No. 333:1-8. 2005.**

**RESUMEN:** En este Avance Técnico se presenta la relación de las arvenses de mayor interferencia en los cafetales, sus características generales y beneficios y usos potenciales de cada una. Se destaca la importancia de su reconocimiento, como un primer paso para iniciar el programa de manejo integrado de arvenses (MIA), con miras a alcanzar la sostenibilidad y mejorar la productividad y la viabilidad económica de las explotaciones cafeteras.

**MENZA F., H.D.; SALAZAR G., L.F. Estudios de resistencia al glifosato en tres arvenses de la zona cafetera colombiana y alternativas para su manejo. Avances Técnicos Cenicafé No. 350:1-12. 2006.**

**RESUMEN:** En este Avance Técnico se presentan los resultados de una investigación desarrollada en Cenicafé, con el fin de evaluar la resistencia de las arvenses *Eleusine indica* L., *Erigeron bonariensis* L. y *Emilia sonchifolia* L. (DC.) a glifosato en algunas fincas de la zona cafetera colombiana.

**SALAZAR G., L.F.; HINCAPIÉ G., E. Causas de los movimientos masales y erosión avanzada en la zona cafetera colombiana. Avances Técnicos Cenicafé No. 348:1-8. 2006.**

**RESUMEN:** En este Avance Técnico se analizan las causas antrópicas directas más frecuentes de los movimientos masales, como son: 1. Desprotección de los drenajes naturales; 2. Falencia o ausencia de obras de infraestructura; 3. Manejo inapropiado del suelo; 4. Uso inadecuado del suelo.

**HINCAPIÉ G., E.; SALAZAR G., L.F. Manejo integrado de arvenses en la zona cafetera central de Colombia. Avances Técnicos Cenicafé No. 359:1-8. 2007.**

**RESUMEN:** En este Avance Técnico se comparan las prácticas y los costos para el control de arvenses realizadas por los caficultores en el sistema convencional y aquellas realizadas dentro del manejo integrado de arvenses.

**RAMÍREZ O., F.A.; HINCAPIÉ G., E.; SADEGHIAN K., S.; PÉREZ G., U. Erosividad de las lluvias en la zona cafetera central y occidental del departamento de Caldas. *Cenicafé* 58(1):40-52. 2007.**

**RESUMEN:** La zona cafetera colombiana se caracteriza por presentar lluvias de gran intensidad y duración, las cuales pueden causar graves problemas de erosión que llevan a una disminución de la productividad, principalmente en zonas de ladera, cuando no se da el uso y manejo adecuados de los suelos. El conocimiento de la erosividad de las lluvias es una herramienta básica para la zonificación y planificación del uso de los suelos. En esta investigación se delimitaron zonas de acuerdo a la agresividad de sus lluvias, se utilizó la información pluviométrica de 34 estaciones de la red climática de Cenicafé, ubicadas en el área de influencia de la zona de estudio entre los 04° 55' a 05° 42' Latitud Norte y 75° 58' a 75° 21' Longitud Oeste y altitudes entre 1.000 a 2.000m. Se evaluó la erosividad mediante la estimación del Índice de Fournier Modificado (IFM), el cual expresa el potencial erosivo de las lluvias según la precipitación mensual. Los valores del IFM variaron entre 173,9 y 267,9 y se correlacionaron con el factor de erosividad (EI30) de la USLE, determinado en anteriores investigaciones en Cenicafé para un período de 15 años en algunas de las estaciones climáticas. Los resultados fueron espacializados mediante interpolación geoestadística, posteriormente se construyeron mapas de erosividad o Factor R, IFM y de concentración de las lluvias para la zona de estudio mediante el uso de sistemas de información geográfica.

**QUIRÓZ M., T.; HINCAPIÉ G., E. Pérdidas de suelo por erosión en sistemas de producción de café con cultivos intercalados. *Cenicafé* 58(3):227-235. 2007.**

**RESUMEN:** Para determinar el efecto de los cultivos transitorios intercalados con café sobre la degradación de los suelos, se realizó un experimento en la Estación Central Naranjal (Chinchiná, Caldas), en 24 predios de escorrentía. Se evaluaron ocho tratamientos con tres repeticiones, consistentes en cultivos transitorios de maíz (*Zea mays*), frijol (*Phaseolus vulgaris*) y yuca (*Manihot esculenta*), intercalados entre las zocas de café, con y sin manejo integrado de arvenses (MIA) y dos tratamientos con café en monocultivo, con y sin manejo de arvenses. Se establecieron dos ciclos de cultivos de maíz y frijol y uno de yuca y se estimaron la escorrentía y las pérdidas de suelo por erosión. Durante los diez meses de evaluación, las menores pérdidas de suelo se presentaron en el tratamiento café intercalado con maíz y MIA (1,16t.ha<sup>-1</sup>), mientras que los mayores valores se registraron en el tratamiento de café intercalado con frijol y suelo desnudo (4t.ha<sup>-1</sup>). En los tratamientos de yuca intercalada con café, las pérdidas fueron similares a los demás tratamientos, pero éstas se incrementaron después de la cosecha, y superaron a los demás tratamientos. En general, las pérdidas de suelo fueron menores en los tratamientos con MIA y el flujo de agua por escorrentía no presentó diferencias estadísticas entre los tratamientos. De acuerdo con estos resultados es posible reducir la erosión a niveles tolerables, con el establecimiento de cultivos intercalados con el café y el MIA.

**RAMÍREZ O., F.A.; HINCAPIÉ G., E.; SADEGHIAN K., S. Erodabilidad de los suelos de la zona central cafetera del departamento de Caldas. *Cenicafé* 60(1):58-71. 2009.**

**RESUMEN:** La erodabilidad del suelo o factor K, es una descripción cuantitativa que indica la susceptibilidad del suelo a ser erosionado, es considerado como el factor más importante para la predicción de la erosión y refleja el hecho de que diferentes suelos se erosionan a diferente tasa cuando los demás factores que afectan la erosión son los mismos. En este trabajo se determinó el factor K de los suelos pertenecientes a la zona cafetera central del departamento de Caldas, ubicada entre 4°55' a 5°42' latitud N y 75°45' a 75°20' longitud O. Se ubicaron 72 puntos de

muestreo abarcando 14 unidades cartográficas de suelos, georeferenciados mediante el sistema de posicionamiento global. En cada punto se tomó una muestra de suelo de 10 kg, en los primeros 10 cm de profundidad, las cuales se llevaron a laboratorio para determinar en forma directa el factor K y mediante un simulador de lluvias de boquillas tipo Vee-jet 80100, se aplicó una intensidad de lluvia de 86 mm.h<sup>-1</sup> durante una hora. Se determinaron algunas propiedades del suelo y se correlacionaron con el factor K. Los valores del factor K oscilaron entre 0,0008 y 0,0086 t.ha.h.MJ<sup>-1</sup>. ha<sup>-1</sup>.mm<sup>-1</sup>. Se encontró correlación entre la erodabilidad y el diámetro ponderado medio ( $r = -0,82^{**}$ ), la densidad aparente ( $r = 0,54^*$ ) y la resistencia a la penetración ( $r = -0,54^*$ ). Con los promedios de erodabilidad por unidad de suelo se construyó el respectivo mapa para la zona de estudio, apoyados con sistemas de información geográfica.

**RAMÍREZ O., F.A.; HINCAPIÉ G., E. Riesgo a la erosión en la zona cafetera central del departamento de Caldas. Cenicafé 60(2):173-189. 2009.**

**RESUMEN:** En la zona cafetera colombiana la erosión constituye uno de los problemas agrícolas y ambientales más serios, debido a lluvias de gran intensidad y duración, a la diversidad de suelos y las fuertes pendientes; por ello se hace necesario conocer su magnitud para realizar planes de uso y manejo eficientes y focalizar esfuerzos donde realmente se necesitan. Esta investigación se propuso con el objetivo de generar un instrumento para estimar el riesgo a la erosión, para ello se empleó la ecuación universal de pérdida de suelo con modificaciones (RUSLE) utilizando el análisis multiplicativo de los factores erosividad (R), erodabilidad (K), longitud y gradiente de la pendiente (L y S). La erosividad se determinó mediante el Índice de Erosividad EI30 calculado a partir del índice de Fournier modificado  $IFM = S (p^2/P)$  y espacializados mediante interpolación Kriging; la erodabilidad o factor K se determinó en forma directa en el laboratorio, utilizando un simulador de lluvias y muestras de suelo alteradas, obtenidas en 72 puntos de muestreo, los cuales fueron georeferenciados con el fin de espacializar la información; los factores longitud y el gradiente de la pendiente se determinaron con la ayuda del modelo de elevación digital. Con la información obtenida de las pérdidas de suelo por erosión y la profundidad del horizonte A, fue posible diferenciar zonas con riesgo a la erosión apoyado con sistemas de información geográfica y se encontró que el 78% de la zona estudiada presenta alto riesgo a la erosión potencial.

**HINCAPIÉ G., E.; RAMÍREZ O., F.A. Riesgo a la erosión en suelos de ladera de la zona cafetera. CENICAFE, 2010. 8 p. (Avances Técnicos No. 400).**

**RESUMEN:** El suelo es un recurso natural vital en gran medida no renovable, que está sometido a una presión de uso cada vez mayor y a procesos de degradación, entre ellos la erosión hídrica, la cual es considerada a nivel mundial como el principal problema medioambiental que ocurre en la agricultura convencional y, por consiguiente, el más importante que afrontar, para mantener la capacidad productiva de los suelos, y en el cual los agricultores tienen el mayor margen de actuación.

**SALAZAR G., L.F.; HINCAPIÉ G., E. Manejo de suelos y aguas para la prevención y mitigación de deslizamientos en fincas cafeteras. CENICAFE, 2010. 8 p. (Avances Técnicos No. 401).**

**RESUMEN:** Los movimientos en masa comúnmente llamados deslizamientos o derrumbes, y las cárcavas, formadas por la erosión avanzada de los suelos, son muy frecuentes en la región cafetera de Colombia y causan pérdidas económicas importantes por los daños directos en las áreas productivas e indirectos, debido a que afectan obras de infraestructura y generan riesgo a la vida de las personas.

## Publicaciones en formato digital en diagnóstico de la contaminación del agua en el proceso de beneficio

**ZULUAGA V, J.; ZAMBRANO F, D.A. Manejo del agua en el proceso de beneficio húmedo del café para el control de la contaminación. Avances Técnicos Cenicafé No. 187:1-4. 1993.**

**RESUMEN:** La situación actual en la zona cafetera, caracterizada por una deficiencia de agua para las labores de beneficio, la necesidad de procesar cada vez volúmenes más grandes de café cereza y una conciencia creciente sobre los problemas de contaminación, hacen necesario un replanteamiento del manejo del agua y de los subproductos en el proceso de beneficio húmedo de café. Con el fin de solucionar técnica y económicamente el problema de contaminación generada en el proceso de beneficio húmedo del café, se hace necesaria la adopción y construcción de sistemas de transporte diferentes al hidráulico, como los desarrollados por Cenicafé, entre ellos el de gravedad, el tornillo sinfin y el cable-disco.

La utilización de la gravedad, mediante el diseño racional de las instalaciones de beneficio, puede ser una de las alternativas más interesantes para los nuevos beneficiaderos o para las modificaciones a las infraestructuras existentes. El transporte no hidráulico de la pulpa y del café en baba tienen múltiples ventajas, entre las que se deben destacar: 1. Ahorro de más del 50% del agua usada en el proceso; 2. Generación de volúmenes más bajos de aguas contaminadas y disminución de la cantidad de materia orgánica que es necesario almacenar y tratar, la mayoría de las veces, a muy altos costos; 3. La pulpa contiene menos agua y conserva todos sus componentes naturales, lo cual facilita su manejo y la hace un producto más apropiado para ser utilizado como materia prima en cualquier otro proceso tendiente a su valorización (producción de hongos comestibles, cultivo de lombriz roja californiana y producción de lombricompuesto, fermentación aeróbica y producción de humus, producción de biogás, etc.); 4. Una fermentación más rápida y homogénea tanto del café en baba como de la pulpa. Para un tratamiento técnico-económico posible de las aguas residuales del lavado del café, se hace necesario racionalizar el consumo de agua en esta operación, utilizando menos de un litro de agua para lavar el café fermentado proveniente de un kilogramo de café en cereza. Lo anterior se puede lograr lavando en el tanque de fermentación y separando las "cabezas" de lavado para ser tratadas por biodigestión. De esta manera, se pueden obtener volúmenes manejables de aguas residuales en el proceso, con concentraciones de materia orgánica apropiada para ser tratadas por biodigestión anaeróbica en biodigestores de alta eficiencia, como los utilizados con éxito en el tratamiento de las aguas residuales de la industria alimenticia, adaptar o desarrollar tecnología para el tratamiento de las aguas residuales del lavado del café por biodigestión anaeróbica, para la producción de biogás combustible, lodos y efluentes con propiedades fertilizantes utilizables a nivel de finca cafetera.

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

**RESUMEN:** Se cuantificó la demanda química de oxígeno DQO, el Nitrógeno total Nt y la materia seca MS de los subproductos del proceso tradicional de beneficio húmedo de café PBHC, constituido por despulpado, transporte hidráulico de la pulpa y desmucilaginado por fermentación natural. Se beneficiaron 8 muestras con peso entre 25 y 32 kg de café en cereza (CC), de *Coffea arabica* var. Caturra de recolección normal.

El consumo de agua fue de 1,8 L/Kg CC. Se simularon el despulpado y la extracción sólido-líquido, colocando la pulpa (P), en sacos bajo agua durante 18 horas, sin agitación. La fermentación del café en baba se efectuó durante 16 horas, a 20°C y permitió retirar el mucílago. El lavado se realizó en un tanque que no permitía el drenado, lo cual facilitó la obtención del agua residual. Por cada kilogramo de CC se obtuvieron 108,2 g de subproductos secos (76,8% de P y 23,2% de M) de los cuales 1,84 g correspondieron a Nt (75,4% de P y 24,6% de M), que produjeron 115,1 g de DQO (73,7% de P y 26,3% de M). La pulpa después de su transporte hidráulico produjo un residuo líquido que contenía el 37,2% de su peso seco, quedando una pulpa lavada cuyo peso correspondió al 62,8% restante, equivalente al 41,4% y 58,6% en términos de la DQO, respectivamente. El mucílago fermentado retirado después del lavado produjo un agua residual con contenido de materia soluble del 86,6%, causante del 78,3% de la DQO que genera este residuo.

## Publicaciones en formato digital en racionalización del consumo de agua en el proceso de beneficio

**ZAMBRANO F., D.A. Fermente y lave su café en el tanque tina. Avances Técnicos Cenicafé No. 197:1-8. 1993.**

**RESUMEN:** El tanque tina, una adaptación de los tanques convencionales que consiste en redondear sus ángulos y las esquinas, propuesta por Cenicafé y denominado así por los usuarios de esta infraestructura, permite conseguir no sólo economía de agua para lavar el café, sino también un control de la contaminación generada durante esta etapa del PBHC, al conseguir reunir en un bajo volumen, casi la totalidad del mucílago fermentado. Como requisito para su normal funcionamiento, es necesario que el despulpado y el transporte del café en baba al tanque se hayan realizado sin agua. El lavado del café fermentado se lleva a cabo dentro del tanque tina, haciendo cuatro enjuagues.

El primer enjuague (I) se realiza adicionando agua y con agitación simultánea, hasta que se presente fluidez de la masa. En esta operación se drena el residuo del lavado en menos de cinco minutos. La adición de agua en el segundo (II) y tercer (III) enjuague se realiza hasta cubrir la masa, agitando fuertemente el conjunto. El cuarto (IV) enjuague se realiza en forma análoga al II y III, adicionando agua por encima de la masa de café, hasta cinco centímetros, para facilitar el retiro de los flores o granos vanos. Una vez se haga el lavado del café y el drenaje final se debe proceder a la descarga. Una operación de lavado de café procedente de 500 kg de café cereza toma alrededor de 30 minutos, incluyendo el tiempo de descarga del café lavado. Las concentraciones menores que se presentan en los enjuagues II, III y IV, permiten pensar en el aprovechamiento de estos residuos para lavar el mismo día otras masas de café fermentado, al distribuir la capacidad total en varios tanques tina ubicados en forma escalonada y así aprovechar el flujo por gravedad de un tanque al otro. De esta forma se reduce aún más el consumo unitario de agua durante la operación de lavado.

**ROA M., G.; OLIVEROS T., C.E.; SANZ U., J.R.; ALVAREZ G., J.; RAMIREZ G., C.A.; ALVAREZ H., J.R. Desarrollo de la tecnología BECOLSUB para el beneficio ecológico del café. Chinchiná : CENICAFE, 1997. 6 p. (Avances Técnicos No. 238).**

**RESUMEN:** La tecnología BECOLSUB (Beneficio Ecológico del café y de los Subproductos) se desarrolló en Cenicafé, para obtener cafés de alta calidad física y de la bebida y además controlar la contaminación potencial de las fuentes de agua ocasionada por la pulpa y el mucílago, manteniendo

o aumentando los ingresos del caficultor. Gracias a las ventajas que ofrece su diseño compacto, relativo bajo peso y especialmente el bajo consumo específico de agua, el módulo BECOLSUB también ha permitido descentralizar el beneficio y llevarlo hasta puntos de acopio de café cereza en el campo. El BECOLSUB 600 móvil, accionado por un motor de combustión interna de 8,0 HP, ha mostrado en condiciones de campo todas las bondades observadas en la nueva tecnología de beneficio ecológico del café, principalmente el control de más del 90% de la contaminación, consumo específico de agua inferior a 1,0 L/kg de c.p.s. y excelente calidad física del café. El módulo BECOLSUB consta de un ensamblaje, en una misma estructura y con un mismo sistema motor, de una máquina despulpadora que despulpa sin agua, un desmucilagador mecánico de flujo ascendente DESLIM y un sistema de tornillo sinfín, dispuesto de tal forma que permite transportar y simultáneamente, mezclar la pulpa y el mucílago resultantes del proceso. Existen tres modelos de módulos BECOLSUB para capacidades de 600, 1.000 y 3.000 kg de café cereza por hora (c.c./h), con zaranda para café despulpado, o sin ésta.

**OLIVEROS T., C.E.; SANZ U., J.R.; RAMÍREZ G., C.A.; ÁLVAREZ G., J.; ÁLVAREZ H., J.R. El BECOLSUB 300. Avances Técnicos Cenicafé No. 253:1-8. 1998.**

**RESUMEN:** En este Avance Técnico se describe el funcionamiento del BECOLSUB 300 el cual está diseñado para caficultores que producen menos de 15.000 kg de cps/año (1.200 arrobas de café seco/año), conserva las ventajas del BECOLSUB 600, BECOLSUB 1.000 y BECOLSUB 3.000, como su consumo específico de agua máximo 1,0 litro/kg de cps y control de la contaminación superior al 90%.

**OLIVEROS T., C.E.; ÁLVAREZ G., J.; ÁLVAREZ M., F.; RAMÍREZ G., C.A.; ÁLVAREZ H., J.R. El BECOLSUB 100: Beneficio ecológico para pequeños productores. Avances Técnicos Cenicafé No. 261:1-4. 1999.**

**RESUMEN:** El módulo BECOLSUB 100, ofrece en una escala de procesamiento menor (100 Kg de cereza/h) todas las ventajas técnicas y ecológicas de los equipos 300, 600, 1.000 y 3.000. En su diseño se tuvo en cuenta lo siguiente: 1. Potencia instalada compatible con la infraestructura de los clientes potenciales (1 motor de 1 HP a 115 voltios para accionar todo el equipo); 2. Desmucilagador en acero inoxidable para mayor duración y facilidad de limpieza; 3. Tornillo sinfín en U de acero inoxidable, para la mezcla y transporte de las mieles y de la pulpa; 4. Bandas tipo B que operan en un solo plano de trabajo, mediante el uso de un motorreductor; 5. Estructura tubular en hierro galvanizado (o conduit metálico) colocada sobre ruedas con neumático, para facilitar el transporte del equipo desde su sitio de bodegaje hasta el área de trabajo. Con ello se pretende evitar la construcción de obras civiles para el beneficio húmedo.

**OLIVEROS T., C.E.; SANZ U., J.R.; RAMÍREZ G., C.A.; MEJÍA G., C.A. Separador hidráulico de tolva y tornillo sinfín. Avances Técnicos Cenicafé No. 360:1-8. 2007.**

**RESUMEN:** Este Avance Técnico presenta un nuevo equipo, denominado Separador Hidráulico de Tolva y Tornillo Sinfín (SHTS), en el cual se combinan en forma eficiente las ventajas de la separación hidráulica y el transporte con tornillo sinfín, con bajo consumo específico de agua, bajo requerimiento de potencia, adaptable a las condiciones de los beneficiaderos, en un amplio rango de necesidades de procesamiento (desde 300 kg cereza/h) y de relativo bajo costo.

## Publicaciones en formato digital en tratamiento en aguas residuales del café

**ZAMBRANO F., D.A.; ISAZA H., J.D.; RODRÍGUEZ V., N.; LÓPEZ P., U. Tratamiento de aguas residuales del lavado del café. Boletín Técnico Cenicafé No. 20:1-26. 1999.**

**RESUMEN:** A raíz de los resultados obtenidos en Cenicafé sobre aguas residuales, se realizaron ajustes en el diseño de un sistema de tratamiento anaeróbico, se seleccionaron materiales de construcción más adecuados, se plantearon estrategias de operación y dimensionamiento de cada una de las unidades que conforman el sistema, para llegar a proponer el Sistema Modular de Tratamiento Anaerobio (SMTA). Esta nueva tecnología ha sido operada y evaluada durante tres años en Cenicafé y ha mostrado eficiencias de remoción de la carga orgánica superiores al 80% de la Demanda Bioquímica de Oxígeno  $DBO_5$ , promedio, acordes con lo exigido por la Legislación Colombiana en el Decreto 1594 de 1984 sobre usos del agua y residuos líquidos. Con la utilización del SMTA se remueve la contaminación presente en las aguas residuales producida por el mucílago fermentado del café, en el lavado de café en los tanques de fermentación.

**ZAMBRANO F., D.A.; CÁRDENAS C., J. Manejo y tratamiento primario de lixiviados producidos en la tecnología BECOLSUB. Avances Técnicos Cenicafé No. 280:1-8. 2000.**

**RESUMEN:** En Cenicafé se han desarrollado diferentes tecnologías que permiten atenuar el impacto ambiental de los subproductos del proceso de beneficio. Son éstas: el despulpado sin agua, el lavado del café en tanques de fermentación, el tratamiento de aguas residuales de lavado de café y el beneficio ecológico del café con manejo de subproductos denominada BECOLSUB. 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.

La tecnología BECOLSUB evaluada sobre un módulo 600, permitió reducir la contaminación por kilogramo de café pergamino seco (cps), hasta un rango entre 50,83 y 70,32 g de demanda química de oxígeno (DQO), cuando el equipo se operó con un consumo de agua entre 0,6 y 1 L/kg de cps, respectivamente. De estas operaciones se produjo un residuo líquido (lixiviado) cuya concentración promedio en términos de demanda química de Oxígeno fue 110.000 ppm. De lo anterior se puede calcular, respecto al beneficio convencional de café, una reducción de contaminación estimada para aguas residuales entre el 77,5% y 83,8%, equivalente a una reducción de contaminación global estimada para pulpa y mucílago entre 87,2% y 90,8%. Buscando reducir la contaminación producida por los lixiviados derivados del uso de la tecnología BECOLSUB, durante 1998 se realizaron observaciones preliminares en lo que se denominó "fosa ecológica", la cual consistió en una infraestructura que operó con los mismos principios del sistema aquí descrito, diseñado y construido para la Subestación Experimental de Cenicafé La Catalina y denominado STLB: Sistema para el tratamiento de lixiviados de pulpa y mucílago generados en la tecnología BECOLSUB. Estos principios fundamentales son los siguientes: efecto invernadero, compostaje, lecho de secado y reactor hidrolítico/acidogénico. El STLB permitió llevar a cabo las reacciones bioquímicas de hidrólisis y acidificación de los lixiviados producidos en la tecnología BECOLSUB. Durante su recorrido por el STLB, la DQO de los lixiviados se redujo desde 110.000 ppm hasta 36.200 ppm, concentración apta para tratamiento secundario y terciario utilizando un sistema modular de tratamiento anaerobio SMTA, desarrollado en Cenicafé para el tratamiento de las aguas residuales del lavado del café. Los lixiviados tratados con el STLB mostraron un pH mayor de 5 y ausencia de insolubles (SST), acorde con lo exigido en el Decreto 1594/84 del Minsalud. Con la operación correcta del STLB se consiguió un efluente que no contenía sólidos suspendidos totales, lo que exime el pago de tasas retributivas,

consignado para este parámetro en el Decreto 901/97 del Ministerio del Medio Ambiente. En términos de contaminación, el STLB redujo el 67,04% de la DQO (73,24% de DBO5) de los cuales el 54,8% correspondió a la Unidad de Control de Insolubles y el 45,2% al Filtro Preacidificador. A Junio del año 2000, esto correspondió a reducir el pago de tasa retributiva por arroba de café pergamino seco desde \$17,56 Col hasta \$4,70 Col.

**ZAMBRANO F., D.A.; RODRÍGUEZ V., N.; LÓPEZ P., U.; OROZCO R., P.A.; ZAMBRANO G., A.J. Tratamiento anaerobio de las aguas mieles del café. Boletín Técnico Cenicafé No. 29:1-28. 2006.**

**RESUMEN:** En este Boletín Técnico se presenta una manera fácil y más económica de construir los Sistemas Modulares de Tratamiento Anaerobio (SMTA), con el fin de obtener eficiencias acordes con lo exigido por la legislación colombiana. La tecnología SMTA continúa recomendándose para remover la contaminación presente en las aguas residuales del lavado del mucílago fermentado del café, generada en canalones de clasificación y correteo operados con recirculación de agua o la resultante del lavado en los tanques de fermentación, como es el caso de la tecnología denominada tanque tina.

Un SMTA imita la naturaleza de un aparato digestivo normal, y utiliza los mismos principios bioquímicos anaerobios para metabolizar o biodegradar, aún moléculas orgánicas grandes de polímeros que hacen parte de la composición de las mieles del café y que generan la contaminación de las quebradas:

a) *Hidrólisis enzimática y acidificación* de los polímeros, en compartimentos aislados para favorecer la eficiencia global del proceso, en tanques de polietileno de coloración negra o Reactores Hidrolíticos Acidogénicos, b) *Digestión anaeróbica* de los productos de la fase anterior con énfasis en la *Metanogénesis* por microorganismos propios de las excretas animales, en tanques similares de polietileno o Reactores Metanogénicos, provistos en su interior de tercios de botellas plásticas no retornables, como hábitat de la biomasa microbiana. Conjugando estas dos características bioquímicas, se encuentran variables que es necesario favorecer y controlar durante la operación, como son la "coloración negra" de los tanques que favorecen el incremento de la temperatura, lo que se traduce en el aumento de capacidad de la carga metabólica diaria, y la regulación de su flujo másico mediante el uso de la gravedad y las cabezas hidráulicas. A lo anterior se le adiciona la posibilidad de operar el sistema sin el uso de álcali para neutralizar las mieles, lo cual es un caso excepcional en el mundo, que se logra con una correcta aclimatación de los microorganismos, estrategia que también se contempla durante la construcción y puesta en marcha de un SMTA.

**ZAMBRANO F., D.A.; RODRÍGUEZ V., N.; LÓPEZ P., U.; ZAMBRANO G., A.J. Construya y opere su sistema modular de tratamiento anaerobio para las aguas mieles [cd rom]. Chinchiná : Cenicafé, 2010. 36 p.**

**RESUMEN:** Los sistemas modulares de tratamiento anaerobio SMTA, han sido desarrollados en Cenicafé para reducir más del 80% de la contaminación presente en las aguas residuales de lavado del grano o "mieles del café", las cuales se originan en beneficiaderos que tiran el mucílago o baba del café por el método convencional de fermentación natural, alcanzando remociones de demanda bioquímica de oxígeno DBO5 acordes con lo exigido por la legislación colombiana en el decreto 1594 de 1984. Diferentes Comités departamentales de cafeteros han incorporado la tecnología SMTA en sus programas de certificación de cafetales y de producción de cafés especiales. Tal es el caso de los Comités departamentales de Magdalena, Tolima, Cundinamarca y Nariño, que han recibido capacitación por parte de Cenicafé en diseño e instalación de los SMTA. Esta publicación

ilustra paso a paso, el proceso para el montaje, instalación, arranque y operación de un SMTA en una finca, respondiendo a las múltiples consultas realizadas por técnicos del Servicio de extensión y caficultores en proceso de certificación, quienes han expresado la necesidad de tener diseños detallados, que faciliten la instalación de un SMTA y que se ajusten a su producción.

## Publicaciones en formato digital en bioindicadores de la calidad del agua

**MATUK V., V.; PUERTA Q., G.I.; RODRÍGUEZ V., N. El Impacto Biológico de los Efluentes del Beneficio Húmedo de Café. Cenicafé 48(4):234-252. 1997.**

**RESUMEN:** Se evaluó el impacto biológico de los efluentes del beneficio húmedo de café: aguas del lavado tratadas anaerobiamente y no tratadas, mucílago proveniente del desmucilagador mecánico y drenados de la pulpa y del mucílago obtenidos en el módulo BECOLSUB. Se utilizó el alga *Chlorella vulgaris*, el pez *Lebistes reticulatus* y el microcrustáceo *Daphnia pulex*. Se determinó la CE50 (Concentración efectiva media) para el alga y la CL50 (Concentración letal media) para los otros dos bioindicadores.

El drenado de la pulpa y del mucílago causó el mayor efecto, con una concentración efectiva media (en función de la DQO) de 495 ppm para *C. vulgaris*, una CL50 de 390 ppm para *D. pulex* y 290 ppm para *L. reticulatus*. Las aguas del lavado tratadas anaerobiamente generaron el efecto menos nocivo. *L. reticulatus* fue el organismo más sensible y se demostró que todos los efluentes del beneficio húmedo sin tratamiento pueden ser tóxicos en el ecosistema en concentraciones superiores a 300 ppm de DQO. Las aguas del lavado tratadas anaerobiamente son tóxicas en concentraciones superiores a 500 ppm. Todos los efluentes deben ser tratados antes de ser vertidos a los cuerpos de agua, inclusive aquellos provenientes del Sistema Modular de Tratamiento Anaerobio.

**GIL P, Z.N.; BUSTILLO P, A.E.; GOMEZ S., N.; GARCÍA R., P.A.; ZULUAGA F, Y.M. Las libélulas y su rol en el ecosistema de la zona cafetera. Avances Técnicos Cenicafé No. 357:1-8. 2007.**

**RESUMEN:** En este Avance Técnico se describe la biología de las libélulas, su hábitat e importancia como indicadores de biodiversidad, considerándolas un grupo taxonómico privilegiado para el estudio y la preservación de los medios acuáticos.

## Publicaciones en formato digital en Postratamiento de las aguas residuales del café

**RODRÍGUEZ V., N. Estudio de un biosistema integrado para el postratamiento de las aguas residuales del café utilizando macrófitas acuáticas. Valencia (España), Universidad Politécnica de Valencia. Departamento de Ingeniería hidráulica y Medio ambiente, 2009. 508 p. (Tesis: Doctor).**

**RESUMEN:** El objetivo principal de esta investigación es la generación de la información necesaria para el diseño de un biosistema integrado que utilice macrófitas para el postratamiento de las aguas mieles del café, buscando que sus efluentes generen el menor impacto negativo posible sobre el ecosistema acuático cafetero, presentando alternativas viables, desde el punto de vista técnico, económico, ambiental y social, para la adecuada disposición de la biomasa generada durante el proceso de depuración.



## 10. LITERATURA CITADA

---

ALVARADO A., G.; POSADA S., H.E.; CORTINA G., H.A. Castillo: Nueva variedad de café con resistencia a la roya. Avances Técnicos Cenicafe No. 337:1-8. 2005.

ALVARADO A., G.; POSADA S., H.E.; CORTINA G., H.A.; DUQUE O., H.; BALDIÓN R., J.V.; GUZMÁN M., O. La Variedad Castillo Naranja para las regiones cafeteras de Caldas, Quindío, Risaralda y Valle. Avances Técnicos Cenicafe No. 338:1-8. 2005.

ALVARADO A., G.; POSADA S., H.E.; CORTINA G., H.A.; DUQUE O., H.; BALDIÓN R., J.V.; GUZMÁN M., O. La Variedad Castillo Paraguaquito para las regiones cafeteras de Quindío y Valle del Cauca. Avances Técnicos Cenicafe No. 339:1-8. 2005.

ALVARADO A., G.; POSADA S., H.E.; CORTINA G., H.A.; DUQUE O., H.; BALDIÓN R., J.V.; GUZMÁN M., O. La Variedad Castillo El Rosario para las regiones cafeteras de Antioquia, Risaralda y Caldas. Avances Técnicos Cenicafe No. 340:1-8. 2005.

ALVARADO A., G.; POSADA S., H.E.; CORTINA G., H.A.; DUQUE O., H.; BALDIÓN R., J.V.; GUZMÁN M., O. La Variedad Castillo Pueblo Bello para las regiones de Magdalena, Cesar, La Guajira y Norte de Santander. Avances Técnicos Cenicafe No. 341:1-8. 2005.

- ALVARADO A., G.; POSADA S., H.E.; CORTINA G., H.A.; DUQUE O., H.; BALDIÓN R., J.V.; GUZMÁN M., O. La Variedad Castillo Santa Bárbara para las regiones cafeteras de Cundinamarca y Boyacá. Avances Técnicos Cenicafe No. 342:1-8. 2005.
- ALVARADO A., G.; POSADA S., H.E.; CORTINA G., H.A.; DUQUE O., H.; BALDIÓN R., J.V.; GUZMÁN M., O. La Variedad Castillo La Trinidad para regiones cafeteras de Tolima. Avances Técnicos Cenicafe No. 343:1-8. 2006.
- ALVARADO A., G.; POSADA S., H.E.; CORTINA G., H.A. La variedad Castillo : Una variedad de café *Coffea arabica* L. con elevada productividad y amplia resistencia a enfermedades Fitotecnia colombiana 8(1):1-21. 2008.
- ALVARADO A., G.; POSADA S., H.E.; CORTINA G., H.A. Las variedades Castillo regionales : Variedades de café *Coffea arabica* L. con alta productividad elevada resistencia a enfermedades y adaptación específica Fitotecnia colombiana 8(1):22-38. 2008.
- ÁLVAREZ, J. Despulpado de café sin agua. Chinchiná (Colombia), Cenicafe, 1991. 6 p. (Avances Técnicos Cenicafe N° 164).
- BARRERA G., J.E. Evaluación del sistema radical de cuatro especies vegetales en la estabilidad de laderas de la zona cafetera colombiana. Bogotá (Colombia), Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Facultad del Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2003. 137 p. (Tesis: Ingeniero Forestal).
- BUSTILLO P., A.E. El manejo de cafetales y su relación con el control de la broca del café en Colombia. Boletín Técnico Cenicafe No. 24:1-40. 2002.
- BUSTILLO P., A.E.; CARDENAS M., R.; VILLALBA G., D.A.; BENAVIDES M., P.; OROZCO H., J.; POSADA F., F.J. Manejo integrado de la broca del café *Hypothenemus hampei* (Ferrari) en Colombia. Chinchiná (Colombia), Cenicafe, 1998. 134 p.
- CADENA G., G; GAITÁN B., A. Las enfermedades del café: logros y desafíos para la caficultura colombiana del siglo XXI. Manejo Integrado de Plagas y Agroecología (Costa Rica) N°77. 2006. p 89-93.
- CALLE V., H. Subproductos del café. Chinchiná (Colombia). Cenicafe. 1977. 84 p. (Boletín Técnico N° 6).
- CASTILLO Z., J.; MORENO R., L.G. Selección de cruzamientos derivados del Híbrido de Timor en la obtención de variedades mejoradas de café para Colombia. Cenicafe 32(2):37-53. 1981.
- CASTILLO Z., J.; MORENO R., L.G. Obtención de materiales de café resistentes a *Hemileia vastatrix* en Colombia en ausencia de la enfermedad; un programa cooperativo entre Cenicafe y el CIFIC. García de Orta; Serie de Estudios Agronómicos (Portugal) 9(1-2):119-128. 1982.
- CASTILLO Z., J.; MORENO R., L.G. La Variedad Colombia: Selección de un cultivar compuesto resistente a la roya del cafeto. Chinchiná (Colombia), Cenicafe, 1988. 171 p. Esp. (Premio Nacional de Ciencias "Fundación Alejandro Ángel Escobar", 1986).

- CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFÉ. Informe Anual Cenicafé 2010. Cenicafé. 2010. 168 p.
- CONSEJO MUNDIAL DEL AGUA. Perspectiva Transversal A: Modelos Innovadores para el Financiamiento de Actividades Locales. Documento Temático. 4° Foro Mundial del Agua. Ciudad de México, Marzo de 2006 14 p.
- CONSEJO MUNDIAL DEL AGUA. Perspectiva Transversal C: Desarrollo de Capacidades y Aprendizaje Social. Documento Temático. 4° Foro Mundial del Agua. Ciudad de México, Marzo de 2006 61p.
- CORTINA G., H.A. Búsqueda de fuentes de resistencia genética a la broca *Hypothenemus hampei*, en germoplasma de café; Informe técnico final a Colciencias. Chinchiná (Colombia), Cenicafé, 2000. 90 p.
- DÁVILA, M. T.; RAMÍREZ, C. A. (1996). Lombricultura en pulpa de café. Chinchiná, CENICAFÉ. 1996. 11 p. (Avances Técnicos N° 225).
- FARFÁN C., M.I. Impacto económico de la investigación en café en Colombia: El caso de la variedad Colombia. Ensayos sobre Economía Cafetera (Colombia) 2(14):21-41. 1998.
- FEDERACION NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA. BOGOTÁ. COLOMBIA. Producción de semilla variedad castillo y sus Compuestos Regionales en fincas de caficultores. Documento de Trabajo. Gerencia Técnica. Bogotá, FNC, 2010. 10 p.
- FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA. El café de Colombia. Caficultura Colombiana. La zona cafetera colombiana. On line. Internet. Disponible en <http://www.cafedecolombia.com>. Fecha de consulta: Febrero del 2008.
- FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA. Gerencia Técnica. Oficina de estudios y proyectos básicos cafeteros. Censo Cafetero 1997. Sistema de Información Cafetera (SICA). Santafé de Bogotá, FEDERACAFÉ, 1997. 178 p.
- GALINDO L., L.A. Evaluación de la calidad del agua y la diversidad de macroinvertebrados acuáticos en la zona cafetera. Chinchiná: CENICAFE, 2010. Seminario Mayo 07.
- GIL P., Z.N.; BUSTILLO P., A.E.; GÓMEZ S., N.; GARCÍA R., P.A.; ZULUAGA F., Y.M. Las libélulas y su rol en el ecosistema de la zona cafetera. Avances Técnicos Cenicafé No. 357:1-8. 2007.
- GIRALDO J., J.F.; JARAMILLO R., A. Ciclo hidrológico y transporte de nutrientes en cafetales bajo diferentes densidades de sombrío de guamo. Cenicafé 55(1):52-68. 2004.
- GLOBAL WATER PARTNERSHIP. Manejo Integrado de Recursos Hídricos. Boletín N° 4 Asociación Mundial para el Agua (GWP). 76 p. 2000.
- GÓMEZ A., A.; RAMÍREZ H., C.J.; CRUZ K., R.G.; RIVERA P., J. H. Manejo y control integrado de malezas en cafetales y potreros de la zona cafetera. Chinchiná. Cenicafé. 1987. 254 p.

- GÓMEZ A., A.; RIVERA P., J. H. Descripción de arvenses en plantaciones de café. 2 ed. Chinchiná. Cenicafé. 1995. 490 p.
- HERNÁNDEZ R., R.J.; OSPINA P., C.M.; GÓMEZ D., D.S.; GODOY B., J.A.; ARISTIZABAL V., F.A.; PATIÑO C., J.N.; MEDINA O., J.A. Guías silviculturales para el manejo de especies forestales con miras a la producción de madera en la zona andina colombiana : El nogal cafetero *Cordia alliodora* Ruiz y Pavón Oken. Chinchiná: CENICAFE : FNC : PROEXPORT, 2004. 32 p.
- HINCAPIÉ G., E.; RIVERA P., J.H. Validación del factor erodabilidad en suelos de la Unidad Chinchiná (*Melanudands*) mediante el uso de simulador de lluvias. Cenicafé 54(1):77-89. 2003.
- HINCAPIÉ G., E.; RAMÍREZ O., F.A. Riesgo a la erosión en suelos de ladera de la zona cafetera. CENICAFE, 2010. 8 p. (Avances Técnicos No. 400).
- HINCAPIÉ G., E.; SALAZAR G., L.F. Manejo integrado de arvenses en la zona cafetera central de Colombia. Avances Técnicos Cenicafé No. 359:1-8. 2007.
- JARAMILLO R., A. La lluvia y el transporte de nutrimentos dentro de ecosistemas de bosque y cafetales. Cenicafé 54(2):134-144. 2003.
- JARAMILLO R., A. Climatología de región andina de Colombia; microclima y fenología del cultivo del café. Chinchiná (Colombia), Cenicafé, 2000. 172 p.
- JARAMILLO R., A. Distribución de la lluvia dentro de los cafetales. Avances Técnicos Cenicafé No. 262:1-4. 1999.
- JARAMILLO R., A.; ARCILA P., J. Variabilidad climática en la zona cafetera colombiana asociada al evento de El Niño y su efecto en la caficultura. Avances Técnicos Cenicafé No. 390:1-8. 2009.
- JARAMILLO R., A.; ARCILA P., J. Variabilidad climática en la zona cafetera colombiana asociada al evento de la niña y su efecto en la caficultura. Avances Técnicos Cenicafé No. 389:1-8. 2009.
- JARAMILLO R., A.; CHAVES C., B. Aspectos hidrológicos en un bosque y en plantaciones de café, *Coffea arabica* L. al sol y bajo sombra. Cenicafé, (Colombia) 50(2):97-105. 1999.
- MATUK V., V.; PUERTA Q., G.I.; RODRÍGUEZ V., N. El Impacto Biológico de los Efluentes del Beneficio Húmedo de Café. Cenicafé 48(4):234-252. 1997.
- MEJÍA G., C.A.; OLIVEROS T., C.E.; SANZ U., J.R.; MORENO C., E.L.; RODRÍGUEZ H., L.A. Evaluación del desempeño técnico y ambiental de un desmucilagador de café con rotor de varillas. Cenicafé 58(2): 122 - 133. 2007.
- MENZA F., H.D.; SALAZAR G., L.F. Estudios de resistencia al glifosato en tres arvenses de la zona cafetera colombiana y alternativas para su manejo. Avances Técnicos Cenicafé No. 350:1-12. 2006.

- MORENO R., L.G. Tabi: variedad de café de porte alto con resistencia a la roya. Avances Técnicos Cenicafe No. 300:1-8. 2002.
- MORENO R., L.G.; ALVARADO A., G. La Variedad Colombia; veinte años de adopción y comportamiento frente a nuevas razas de la roya del cafeto. Boletín Técnico Cenicafe No. 22:1-32. 2000.
- MORENO R., L.G.; CASTILLO Z., J.; ALVARADO A., G. Advances in the genetic improvement of coffee in Colombia by combining resistance to "Leaf Rust" and to "Berry Disease". In: COLLOQUE Scientifique International sur le Café, 14. San Francisco (Estados Unidos), July 14-19, 1991. Abstracts. París (Francia), ASIC, 1991. p.
- MORENO R., L.G.; CASTILLO Z., J.; ALVARADO A., G. Comportamiento de la variedad Colombia, resistente a *Hemileia vastatrix*, después de ocho años de exposición al patógeno en condiciones de campo. In: SIMPOSIO sobre Caficultura Latinoamericana, 10. Ciudad de Panamá (Panamá), Mayo 20-24, 1991. Tegucigalpa (Honduras), IICA-PROMECAFE, 1991. 7 p.
- OLIVEROS T., C.E.; ÁLVAREZ G., J.; ÁLVAREZ M., F.; RAMÍREZ G., C.A.; ÁLVAREZ H., J.R. El BECOLSUB 100: Beneficio ecológico para pequeños productores. Avances Técnicos Cenicafe No. 261:1-4. 1999.
- OLIVEROS T., C.E.; RAMÍREZ G., C.A.; SANZ U., J.R.; PEÑUELA M., A. Secador solar de túnel para café pergamino. 2006, 8p. (Avances Técnicos N° 353).
- OLIVEROS T., C.E.; SANZ U., J.R.; MONTOYA R., E.C. Dispositivo hidráulico de bajo impacto ambiental para limpieza y clasificación del café en cereza. Cenicafe 60(3): 229-238. 2009.
- OLIVEROS T., C.E.; SANZ U., J.R.; RAMÍREZ G., C.A.; ÁLVAREZ G., J.; ÁLVAREZ H., J.R. El BECOLSUB 300. Avances Técnicos Cenicafe No. 253:1-8. 1998.
- OLIVEROS T., C.E.; SANZ U., J.R.; RAMÍREZ G., C.A.; MEJÍA G., C.A. Separador hidráulico de tolva y tornillo sinfín. Avances Técnicos Cenicafe No. 360:1-8. 2007.
- ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS. Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo. Agenda 21. Capítulo 18. Rio de Janeiro, 1992. 20p.
- OSPINA P., C.M.; HERNÁNDEZ R., R.J.; ARISTIZABAL V., F.A.; PATIÑO C., J.N.; SALAZAR C., J.W. El cedro negro: una especie promisoría en la zona cafetera. Boletín Técnico Cenicafe N° 25. Chinchiná. Caldas. 2003. 40 p.
- OSPINA P., C.M.; HERNÁNDEZ R., R.J.; GÓMEZ D., D.S.; GIL P., Z.N.; GODOY B., J.A.; ARISTIZABAL V., F.A.; PATIÑO C., J.N. Guías silviculturales para el manejo de especies forestales con miras a la producción de madera en la zona andina colombiana; el frijolito o tambor *Schizolobium parahyba*. Chinchiná (Colombia), Cenicafe-FNC-PROEXPORT-KfW, 2004. 23 p.
- PABÓN U., J.P.; SANZ U., J.R.; OLIVEROS T., C.E. Efecto de dos prácticas empleadas con café desmucilaginado mecánicamente en la calidad y el impacto ambiental. Cenicafe 59(3): 214-226.2008.

- PEÑUELA M., A.E.; PABÓN U., J.P.; RODRÍGUEZ V., N.; OLIVEROS T., C.E.; Evaluación de una enzima pectinolítica para el desmucilaginado del café. Revista Cenicafé. En publicación. 2011.
- POSADA F., F.J.; CÁRDENAS M., R.; ARCILA P., J.; GIL V., L.F.; MEJÍA M., C.G. Las babosas causantes del anillado del tallo del cafeto. Avances Técnicos Cenicafé No. 289:1-8. 2001.
- POSADA S., H.E.; ALVARADO A., G.; CORTINA G., H.A.; SOLARTE P., C.R.; DUQUE O., H.; BALDIÓN R., J.V.; GUZMÁN M., O. La variedad Castillo El Tambo: para regiones cafeteras de Cauca, Nariño, Huila, Tolima y Valle del Cauca. Avances Técnicos Cenicafé No. 344:1-8. 2006.
- PUERTA Q. G.I. Buenas prácticas agrícolas para el café. 2006, 12p. (Avances Técnicos N° 349).
- QUIRÓZ M., T.; HINCAPIÉ G., E. Pérdidas de suelo por erosión en sistemas de producción de café con cultivos intercalados. Cenicafé 58(3):227-235. 2007.
- RAMÍREZ O., F.A.; HINCAPIÉ G., E. Riesgo a la erosión en la zona cafetera central del departamento de Caldas. Cenicafé 60(2):173-189. 2009.
- RAMÍREZ O., F.A.; HINCAPIÉ G., E.; SADEGHIAN K., S. Erodabilidad de los suelos de la zona central cafetera del departamento de Caldas. Cenicafé 60(1):58-71. 2009.
- RAMÍREZ O., F.A.; HINCAPIÉ G., E.; SADEGHIAN K., S.; PÉREZ G., U. Erosividad de las lluvias en la zona cafetera central y occidental del departamento de Caldas. Cenicafé 58(1):40-52. 2007.
- REPÚBLICA DE COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico – Documento Final -. Bogotá D.C., 2010. 120 p.
- REPÚBLICA DE COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Dirección de agua potable y saneamiento básico y ambiental. Gestión Integral del Agua. Bogotá D.C., 2004. 65 p.
- REPÚBLICA DE COLOMBIA. Ministerio de Salud. INDICADORES BASICOS DE SALUD EN COLOMBIA. Informe Ejecutivo Semanal. Enero de 2001. Sp. 2001.
- RIVERA P., J. H. Establezca coberturas nobles en su cafetal utilizando el selector de arvenses. Avances Técnicos Cenicafé No. 235: 1-8. 1997.
- RIVERA P., J. H. El manejo integrado de arvenses en cafetales aumenta los ingresos y evita la erosión. Avances Técnicos Cenicafé No. 259: 1-4. 1999.
- RIVERA P., J.H. Control de derrumbes y negativos en carreteras mediante tratamientos de tipo biológico. Avances Técnicos Cenicafé No. 264:1-8. 1999.
- RIVERA P., J.H. Manejo y estabilización de taludes en zonas de ladera mediante tratamientos de bioingeniería. Avances Técnicos Cenicafé No. 291:1-8. 2001.

- RIVERA P., J.H. Construcción de trinchos vivos para la conducción de aguas de escorrentía en zonas tropicales de ladera. *Avances Técnicos Cenicafe* No. 296:1-8. 2002.
- RIVILLAS O., C.A.; LEGUIZAMÓN C., J.E.; GIL V., L.F. Recomendaciones para el manejo de la roya del cafeto en Colombia. *Boletín Técnico Cenicafe* No. 19:1-36. 1999.
- ROA M., G.; OLIVEROS T., C. E.; ÁLVAREZ G., J.; RAMÍREZ G., C. A.; SANZ U., J. R.; ÁLVAREZ H., J. R.; DÁVILA A., M. T.; ZAMBRANO F., D. A.; PUERTA Q., G. I.; RODRÍGUEZ V., N. Beneficio ecológico del café. Chinchiná (Colombia), Cenicafe, 1999.
- ROA M., G.; OLIVEROS T., C.E.; SANZ U., J.R.; ÁLVAREZ G., J.; RAMÍREZ G., C.A.; ÁLVAREZ H., J.R. Desarrollo de la tecnología BECOLSUB para el beneficio ecológico del café. Chinchiná : CENICAFE, 1997. 6 p. (*Avances Técnicos* No. 238).
- RODRÍGUEZ V., N. Estudio de un biosistema integrado para el postratamiento de las aguas residuales del café utilizando macrófitas acuáticas. Valencia (España), Universidad Politécnica de Valencia. Departamento de Ingeniería hidráulica y Medio ambiente, 2009. 508 p. (Tesis: Doctor).
- RODRÍGUEZ V., N. Tratamiento de aguas mieles a escala de planta piloto. In: Informe anual de actividades 1997-1998. Chinchiná (Colombia), CENICAFÉ. Disciplina de Química Industrial. 1998. 39 p.
- RODRÍGUEZ V., N. Tratamiento de aguas mieles a escala de planta piloto. In: Informe anual de actividades 1996-1997. Chinchiná (Colombia), CENICAFÉ. Disciplina de Química Industrial. 1997. 95 p.
- RODRÍGUEZ V. N.; JARAMILLO L., C. Cultivo de hongos medicinales sobre residuos agrícolas de la zona cafetera. *Boletín Técnico Cenicafe* N° 28. Chinchiná. Caldas. 2005. 72 p.
- RODRÍGUEZ V. N.; JARAMILLO L., C. Cultivo de hongos comestibles del género *Pleurotus* en residuos agrícolas de la zona cafetera. *Boletín Técnico Cenicafe* N° 27. Chinchiná. Caldas. 2005. 56 p.
- SALAZAR G., L.F.; HINCAPIÉ G., E. Manejo de suelos y aguas para la prevención y mitigación de deslizamientos en fincas cafeteras. CENICAFE, 2010. 8 p. (*Avances Técnicos* No. 401).
- SALAZAR G., L.F.; HINCAPIÉ G., E. Causas de los movimientos masales y erosión avanzada en la zona cafetera colombiana. *Avances Técnicos Cenicafe* No. 348:1-8. 2006.
- SALAZAR G., L.F.; HINCAPIÉ G., E. Arvenses de mayor interferencia en los cafetales. *Avances Técnicos Cenicafe* No. 333:1-8. 2005.
- SUÁREZ DE C., F. Conservación de suelos. 3a edición. San José de Costa Rica IICA. 1980. 315 p.
- SUÁREZ DE C., F.; RODRÍGUEZ G., A. Investigaciones sobre la erosión y la conservación de suelos en Colombia. Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. 1962. 473 p.

- VILLALBA G., D.A. Calibración de aspersoras manuales de espalda. Bogotá (Colombia), FNC-Cenicafé, 1993. 16 p. (Boletín de Extensión No. 75).
- ZAMBRANO F., D. A. Estudios de planta piloto para el tratamiento anaeróbico de las aguas residuales del proceso de beneficio húmedo del café. Chinchiná, Colombia, CENICAFÉ. 31 p. 1994. (Proyecto QIN-02-00).
- ZAMBRANO F., D.A. Fermente y lave su café en el tanque tina. Chinchiná (Colombia). Cenicafé, 1993. 8p. (Avances Técnicos Cenicafé N° 197).
- ZAMBRANO F., D. A.; CÁRDENAS C., J. Manejo y tratamiento primario de lixiviados producidos en la tecnología BECOLSUB. Chinchiná, CENICAFÉ. 8 p. (Avances Técnicos N° 280). 2000.
- ZAMBRANO F., D. A.; ISAZA H., J. D. Demanda Química de Oxígeno y Nitrógeno total, de los subproductos del proceso tradicional de beneficio húmedo del café. Cenicafé 49(4):279-289. 1998.
- ZAMBRANO F., D.A.; ISAZA H., J.D. Lavado del café en los tanques de fermentación. Cenicafé 45(3):106-118. 1994.
- ZAMBRANO F., D.A.; ISAZA H., J.D.; RODRÍGUEZ V., N.; LÓPEZ P., U. Tratamiento de aguas residuales del lavado del café. Boletín Técnico Cenicafé No. 20:1-26. 1999.
- ZAMBRANO F., D. A; RODRÍGUEZ V., N. Sistemas para el tratamiento de aguas mieles: Investigación aplicada en beneficio de los productores cafeteros. Chinchiná (Colombia), CENICAFÉ. Disciplina de Calidad y Manejo Ambiental. 2008.19 p.
- ZAMBRANO F., D.A.; RODRÍGUEZ V., N.; LÓPEZ P., U.; OROZCO R., P.A.; ZAMBRANO G., A.J. Tratamiento anaerobio de las aguas mieles del café. Boletín Técnico Cenicafé No. 29:1-28. 2006.
- ZAMBRANO F., D.A.; RODRÍGUEZ V., N.; LÓPEZ P., U.; ZAMBRANO G., A.J. Construya y opere su sistema modular de tratamiento anaerobio para las aguas mieles [cd rom]. Chinchiná. CENICAFE, 2010. 36 p.
- ZAMBRANO F., D. A.; ZULUAGA V., J. Balance de materia en un proceso de beneficio húmedo del café. Cenicafé 44(2):45-55. 1993.
- ZAMBRANO G., A. J. Diseño de un sistema integral para manejo y tratamiento de los residuos generados en la tecnología Becolsub en una finca. Manizales (Colombia), Universidad Católica de Manizales. Ingeniería de Saneamiento y Desarrollo Ambiental. 2006. 67 p. (Tesis: Ingeniero de Saneamiento y Desarrollo Ambiental).
- ZULUAGA V., J.; FRANCO J., M.A.; ZAMBRANO F., D.A. Tratamiento integral del problema de contaminación en el beneficio del café. In: Seminario Internacional sobre Biotecnología en la Agroindustria Cafetera, 2. Manizales (Colombia), Noviembre 4-7. 1991. Resúmenes.
- ZULUAGA V., J.; ZAMBRANO F., D. A. Manejo del agua en el proceso de beneficio húmedo del café para el control de la contaminación. Chinchiná (Colombia). Cenicafé, 1993. 4p. (Avances Técnicos Cenicafé N 187).

ZULUAGA V., J.; ZAMBRANO F., D.A.; RODRÍGUEZ V., N.; DÁVILA A., M. T. Estrategias para el manejo y valorización de los subproductos del proceso de beneficio húmedo del café. In: SEMINARIO sobre Control de la Contaminación en la Agroindustria Cafetera. Chinchiná (Colombia), Agosto, 1993. Chinchiná (Colombia), Cenicafé, 1993. 82 p.