

EVALUACIÓN DE LOS EFLUENTES PROVENIENTES DE LA AGROINDUSTRIA DEL FIQUE EN EL MUNICIPIO DE TOTORÓ - CAUCA.

EVALUATION OF THE ORIGINATING EFFLUENTS OF THE AGRO-INDUSTRY OF THE FIQUE IN THE MUNICIPALITY OF TOTORÓ - CAUCA.

CRISTIAN F. DAGUA-MOSQUERA¹, DANI L. DAGUA-MOSQUERA², SANDRA MORALES-VELASCO³

PALABRAS CLAVES:

Agua residual, alternativas, carga contaminante.

KEYWORDS:

Waste water, alternatives, polluting load

RESUMEN

Se evaluaron los efluentes provenientes de la agroindustria del fique en el río Molino del corregimiento de Paniquitá (Totoró-Cauca) en tres fincas y en cuatro sitios a lo largo del río (1: Bocatoma del acueducto de Paniquitá, 2: finca La Esperanza, 3: El puente y 4 San José Bajo) para generar alternativas de manejo. Los resultados muestran que la carga contaminante para el sitio 3 fue la DBO_5 (8.42 kg/día), SST (61.16 kg/día), el 4 registró un valor de DBO_5 (113.33 kg/día), SST (70.76 kg/día) y el 1 presenta las características del nacimiento de un río. Para las tres fincas evaluadas registraron valores promedios de DBO_5 (3113.88 kg/día), SST (3673.13 kg/día).

ABSTRACT

The originating effluents of the agro-industry of fique in the Molino river of the group of judges of Paniquitá (Totoró-Cauca) in three farms and four sites along river (1: of the aqueduct of Paniquitá, 2: farm La Esperanza, 3: El Puente 4 San Jose Bajo) generating handling alternatives. The results show that the polluting load for site 3 was the DBO_5 (8,42 kg/día), SST (61,16 kg/día), the 4 registered a value of DBO_5 (113,33 kg/día), SST (70,76 kg/día) and the 1 presents/displays the characteristics of the birth of a river. For the three evaluated farms they registered values averages of DBO_5 (3113,88 kg/día), SST (3673,13 kg/día).

Recibido para evaluación: Abril 7 de 2008. Aprobado para publicación: Julio 10 de 2008

1 Ingeniero Agroindustrial. Universidad del Cauca.

2 Ingeniero Agroindustrial. Universidad del Cauca.

3 Ecóloga, Especialista en Evaluación y Desarrollo de Proyectos, C. M.S.c. Recursos Hidrobiológicos. Docente Universidad del Cauca, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Grupo de investigación Nutrición Agropecuaria.

INTRODUCCIÓN

El Departamento del Cauca es el mayor productor de fique a nivel nacional, la producción asciende a 6056.1 ton/año; el municipio de Totoró, por medio del corregimiento de Paniquitá aporta 813.6 hectáreas para un total de 650.88 toneladas de fibra al año [1].

La transformación del fique demanda grandes volúmenes de agua, especialmente durante la etapa de lavado de fibra, donde se genera el "Licor Verde" que contiene celulosa y otros compuestos que son vertidos directamente a quebradas y/o fuentes de agua con la consiguiente contaminación e impacto de las comunidades acuáticas [2].

Tal condición, llevo a evaluar los efluentes provenientes de esta agroindustria en la cuenca del Río Molino (Corregimiento de Paniquitá), permitiendo determinar la carga contaminante y plantear alternativas de manejo agroindustrial asequibles para el productor fiquero.

METODOLOGÍA

Durante seis meses se realizaron mediciones en el corregimiento de Paniquita, ubicado al nor-oriente del departamento del Cauca (municipio de Totoró) a 2° 29' 32" latitud norte y a 76° 24' 17" de longitud occidental, donde se localizaron los 4 puntos de muestreo [3].

Punto 1: O bocatoma del acueducto de Paniquita a 2° 31' 20" latitud norte y a 76° 26' 35" de longitud occidental con una altura de 2203 msnm.

Punto 2: O La Esperanza a 2° 31' 48" latitud norte y a 76° 29' 12" de longitud occidental con una altura de 2171 msnm.

Punto 3: O El Puente a 2° 31' 47" latitud norte y a 76° 29' 11" de longitud occidental con una altura de 2127 msnm.

Punto 4: Vertimiento puntual llamado San José Bajo a 2° 31' 48" latitud norte y a 76° 29' 11" de longitud occidental con una altura de 2154 msnm.

Características físicas y químicas del agua

Se tomaron muestras compuestas durante una jornada de dos (2) horas, entre las 9:00 a.m y 11:30 a.m., tiempo que dura el proceso de lavado de la fibra. Se registro *in situ* la temperatura, oxígeno disuelto, pH y conductividad, por medio de sondas marca WTW y un multiparámetro marca HACH.

El volumen proveniente de cada sitio fue analizado en el laboratorio de suelos y aguas de la Corporación Autónoma Regional del Cauca-CRC, siguiendo la metodología establecida por Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater [4].

Carga contaminante.

Se realizó para productores y en el río Molino. Para este último, se tuvo en cuenta lo reglamentado por el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, en el artículo 4 del Decreto 3100 del 2003 para fuentes de aguas naturales. Se cuantificó: [5]

Carga contaminante diaria (Cc):

$$Carga \left(\frac{kg}{dia} \right) = Caudal \left(\frac{l}{s} \right) * Concentración \left(\frac{mg}{l} \right) * 0.0864 * \left(\frac{t}{24} \right)$$

Ec. (1)

Caudal promedio (Q):

Volumen de vertimientos por unidad de tiempo

Concentración(C):

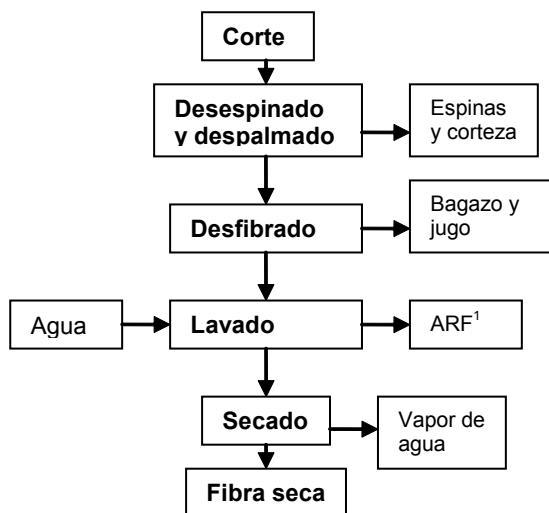
Peso de una sustancia por unidad de volumen de líquido que lo contiene.

0.0864. *factor de conversión de unidades*

Respecto a lo anterior, fue necesario medir el caudal del río utilizando el moline te hélice (A.OTT KEMPTEN), registros para los puntos de 1 y 3, debido a la escasez de tributarios no generaron cambios en el punto 2 y 4.

Para la carga contaminante en las fincas (productores), se eligieron tres productores con tanques en cemento-ladrillo y tierra-revestidos de plástico, donde se determinó la cantidad de licor verde generado en el proceso, por medio de un balance de materia (ver figura 1).

Figura 1. Descripción del proceso de beneficio del fique



ARF¹: Agua residual de fique

Resultados y Discusión

El cuadro 1 presenta los valores promedio para los parámetros del agua, los cuales fueron analizados por mes y puntos de muestreo, mediante una ANOVA y una prueba post hoc - Tuckey (SPSS 11.5). Los resultados muestran que no hay diferencias significativas entre los registros obtenidos por mes

($p > 0,005$), evidenciando que el ecosistema está influenciado por eventos puntuales pero no locales, situación a lo mejor generada por la capacidad de resiliencia del río.

Respecto a los sitios de muestreo, se halló diferencias significativas ($p < 0,005$) para todos los parámetros a excepción de coliformes totales. La prueba Post Hoc de TUCKEY, confirma los resultados del análisis de varianza, en donde el punto 4 (vertimiento puntual) difiere de los otros lugares, para el pH, conductividad, oxígeno disuelto, % de saturación de oxígeno, color, turbidez, NO_3^- , PO_4 , DBO₅, DQO, SST.

La temperatura, presenta diferencias con respecto al sitio 1, coliformes fecales registro tres subconjuntos homogéneos ($P_1 < P_{2-3} < P_{3-4}$) y coliformes totales no presentaron diferencias estadísticas. A continuación se analizan cada uno de los parámetros estudiados.

pH: Los puntos 1 (6.84), 2 (6.82) y 3 (6.50) presentan una tendencia que se acerca a la neutralidad, debido al sistema dióxido de carbono – bicarbonato – carbonato, el cual actúa como un buffer o amortiguador que impide que el medio se acidifique o alcalinice bruscamente [6].

Cuadro 1. Parámetros fisicoquímicos en los 4 sitios de muestreo

Pto		pH	T	Cond.	OD	Color	Turb.	SST	PO_4^{-3}	DBO ₅	DQO	NO_3^-	C. t	C. f
		UPH	°C	$\mu\text{S/cm}$	mg/L	UPC	UNF	mg/L	Mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	NMP	NMP
1	X	6,84	14,2	138,49	6,56	9	2,02	16,83	0,02	0,63	5,30	0,65	>2420	99,22
	σ	0,25	0,42	60,02	0,51	8	1,27	15,80	0,004	0,10	2,41	0,17	0	49,99
2	X	6,82	17,2	69,28	6,6	14	4,30	9,47	0,03	2,35	7,58	0,40	>2420	1276,10
	σ	0,55	1,71	19,84	0,6	3,90	2,71	5,75	0,01	1,99	3,76	0,16	0	1022,80
3	X	6,5	16,7	72,70	6,44	26	6,84	22,72	0,04	4,20	24,94	1,36	>2420	1952
	σ	0,47	0,79	20,16	0,8	7,97	2,10	10,40	0,01	1,54	12,68	0,54	0	642,11
4	X	5,03	17,1	1311,00	2,68	1006	309,3	869,4	4,45	792,3	3854,	31,09	>2420	>2419,6
	σ	0,28	0,28	431,50	1,51	318,7	108,2	332,3	1,05	941,7	1458,4	19,96	0	0

X: Promedio C. f: Coliformes fecales
 σ : Desviación estándar C. t: Coliformes totales
 O: % Saturación de oxígeno T: Temperatura
 SST: Sólidos suspendidos totales Turb: Turbidez

OD: Oxígeno disuelto
 Cond: Conductividad
 Pto: Sitio de muestreo

El sitio 4 presenta una tendencia moderada a la acidez (5.03), evidenciando la influencia del lavado de la fibra de fique, que se ocasiona por la disminución del OD y el incremento del CO₂ libre (> 50%), el cual reacciona con el agua dando como resultado el incremento del ácido carbónico que disminuye el pH[6].

Al comparar los anteriores valores con el rango del pH (6.5 – 8.5) para el desarrollo de la biota acuática, se pueden considerar los sitios 3 y 4 no propicios para la existencia de la mayor parte de la vida biológica [7].

Conductividad: Los sitios 2 (69.28 μ S/cm) y 3 (72.70 μ S/cm) son considerados con una mineralización débil (20 – 80 μ S/cm), la bocatoma (138.9 μ S/cm) es una agua con una mineralización moderada (80 - 200 μ S/cm) [8] y el vertimiento puntual (1310.60 μ S/cm) se cataloga con mineralización excesiva puesto que los valores se hallan en el rango mayores a 800 μ S/cm, debido a que el efluente del fique contiene partículas iónicas como fósforo, potasio, calcio, magnesio y sodio que llevan cargas que permiten conducir la corriente eléctrica [9,10].

Color: Los valores registrados en los sitios 1, 2 y 3 presentan valores menores a 300 UPC, valor típico de un agua natural. Condición dada a la presencia de iones metálicos naturales (hierro y manganeso), humus, materia orgánica, provenientes del suelo por procesos de escorrentía superficial que depositan estos nutrientes en el agua [11].

El sitio 4 presenta un valor promedio de 1006.29 UPC, coloración verde oscuro se debe al vertimiento del lavado de fique contiene partículas de celulosa, taninos y minerales [9].

Turbidez: Los valores registrados en los sitios 1 (2.02 UNF), 2 (4.3 UNF) y 3 (6.84) indican que hay una mínima cantidad de partículas suspendidas en el agua. El sitio 4 reportó un valor de 309.25 UNF, su incremento se debe a que el vertimiento puntual del lavado de fique posee un nivel elevado de materiales insolubles en suspensión y coloides, los cuales pueden bloquear la luz solar y absorber el calor ocasionando un aumento en la temperatura y reduciendo la luz disponible para la fotosíntesis de las plantas [11,12].

Sólidos suspendidos totales (SST): Los valores para la bocatoma (16.83 mg/L), La esperanza (9.47 mg/L) y el puente (22.72 mg/L) a la baja suspensión de materiales específicamente los de baja densidad y de difícil sedimentación como son las arcillas, limos y materia orgánica [13,14].

El valor obtenido en el punto 4 (869.42 mg/L), su alta concentración se atribuye a que el vertimiento del fique aporta una gran cantidad de materia orgánica fina que permanece en estado sólido después de la evaporación.

Oxígeno disuelto (OD): La solubilidad del oxígeno atmosférico en el agua dulce varía desde 14.6 mg/L a 0°C y de 7.0 mg/L a 35.0°C a una temperatura de 14.23°C., concordando a lo hallado en el punto 1, que registró una concentración de OD de 6.56 mg/L a 14.23 °C, unido a lo anterior la baja presión atmosférica que se registra a 2200 metros de altura, hace que las moléculas de oxígeno se concentren, haciendo de este lugar un cuerpo hídrico bien aireado [10].

Los puntos 2 (6.60mg/L) y 3 (6.44mg/L) no presenta una significativa variación después del lavado de la fibra; esto se debe a que la fuente receptora dispone de una reserva de oxígeno disuelto y una gran capacidad de dilución, previniendo condiciones sépticas apropiadas para la producción de sulfuro de hidrógeno, amoníaco y otros gases causantes de malos olores [11].

Para el vertimiento puntual el OD registró 2,3 mg/L, comportamiento dado a que el lavado del fique contiene saponinas, que generan abundante espumas y al entrar en contacto con el cuerpo hídrico receptor, desplazan el oxígeno disuelto en el agua por el proceso de oxidación [12].

Nitratos: En el sitio 4, mayor concentración que varió de 39.13 mg/L a 63.5 mg/L, debido a que la hoja de fique contiene 14% de proteína que al dejarse fermentar la fibra por 48 horas, el nitrógeno orgánico se convierte gradualmente a nitrógeno amoniacal y posterior a esto, por condiciones aeróbicas ocurre la oxidación del amoníaco a nitritos y nitratos [10].

Para la bocatoma (0.65 mg/L), La Esperanza 2 (0.40 mg/L) y El puente (1.36 mg/L), la tendencia es similar debido a que los nutrientes están circulando permanentemente en la masa vegetal y queda muy poco disponible en el suelo, debido a la tasa de consumo por las plantas; igualmente estos valores son bajos en los ríos de las altas montañas andinas debido a que las aguas corren por lechos pobres en nutrientes [6].

Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅): Para los sitios 1 (0.63 mg/L) el valor es bajo debido a la poca concentración de materia orgánica y escasa intervención por el hombre. La Esperanza 2 (2.35 mg/L) y El puente (4,2 mg/L) siguen registrando valores bajos a pesar de estar influenciados por lavado del fique, condición dada por el caudal del río que le permite una mayor dilución y por ende resiliencia [4].

En el vertimiento puntual se registró 792,3 mg/L, valor alto y debe a que las aguas residuales de fique contienen materia orgánica biodegradable compuesta por sacarosa, proteínas, esteroides, saponinas y sapogeninas [9].

Demanda química de oxígeno (DQO): Para la bocatoma (5.3 mg/l), La Esperanza (7.58 mg/l) y El puente (24,94 mg/l) evidencia como se acumula materia orgánica a medida que se presentan intervención antrópica, la cual se genera por los vertimientos del fique y aguas residuales domesticas. En el punto 4 la DQO (3854,8 mg/L) es alto y evidencia la impacto generado por materia orgánica e inorgánica de la transformación de la cabuya [11].

La relación entre DBO₅/DQO es un indicativo de la biodegradabilidad de la materia contaminante, en aguas residuales en valor entre 0 - 0,2: vertido inorgánico y si es mayor de 0,6: orgánico [8]. El punto 2 presento un valor 0,31, el 3: 0,16 y el 4: 0,20; indicando que el 31%, 16 % y 20 % de la materia orgánica es degradada durante cinco días, la cual puede estar posiblemente inhibida por la toxicidad de las saponinas [13].

Coliformes totales. Las coliformes totales en los cuatro puntos son similares (>2419,6 NMP microorganismos/100ml) debido a que el análisis

cuantifica tres clases de bacterias: naturales del agua, bacterias del suelo y bacterias de origen intestinal (Coliformes fecales) Las bacterias de origen natural y del suelo se consideran generalmente como no patógenas para el hombre mientras que las de origen intestinal indican indicio de contaminación fecal [6].

Coliformes fecales: Para el punto 1 (99,22 NMP) es el mas bajo con respecto a los otros; punto 2 (1276.05), 3 (1952.0) y 4 (>2419,60); situación dada a que hay una moderada presencia de materia fecal por animales de sangre caliente, mientras que en los demás puntos se observa una alta carga de coliformes fecales por los vertimientos de las aguas residuales domesticas por los pobladores del corregimiento de Paniquitá.

Fosfatos (PO₄): Para la bocatoma (0.02mg/l), la esperanza (0.03mg/l) y el puente (0.05 mg/l), los valores son bajos debido a que los cuerpos de agua existen cantidades relativamente altas de iones de calcio y magnesio, que reaccionan entre si, sedimentándolos en forma de fosfato precipitado [9].

El vertimiento puntual contiene una alta fósforo orgánico (4.45 mg/l), debido a los procesos aerobios de la descomposición de la fibra hace insoluble el fosforo por el alto consumo de OD durante la oxidación [9].

CARGA CONTAMINANTE

En el río Molino: Para el punto 3 la DBO5 (8.42 kg/día), SST (61.16 kg/día) y el 4 (San José Bajo) registro un valor promedio de DBO5 (3113.88 kg/día), SST (3673.13 kg/día).

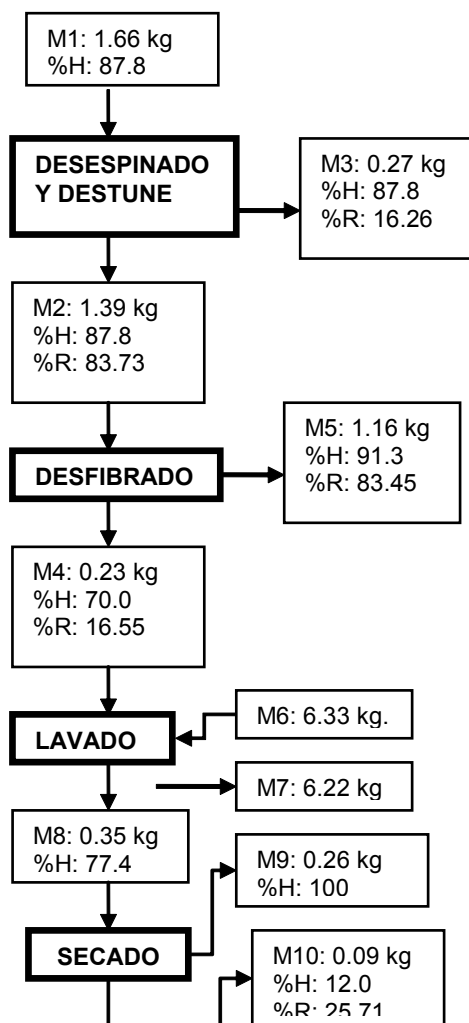
Estos valores se pueden considerar altamente tóxicos, debido a que la DL50 del jugo de fique es de 1mg/L para peces (Letal: 3,0mg/L) [15], pero el alto caudal del río (634.8 L/s) desplaza el agua en una corriente, proporcionando alta dilución del vertimiento y facilita su posterior degradación (Capacidad de resiliencia) [10]. Unido a lo anterior, la reserva de OD del río y la alta turbulencia, que confiere mayor velocidad de reaireación y permite aportar oxígeno,

favoreciendo la actividad microbiana [15], por lo cual en este sistema el impacto es puntual y no local.

Por fincas: Para determinar la carga contaminante se tuvo en cuenta el balance de materia (figura 2). Los datos de la carga contaminante promedio para la DBO_5 (113.33kg/día) y SST (70.76 kg/día).

La carga contaminante por fincas es baja con respecto a los datos arrojados en el río (punto 4), esto se debe a la capacidad del tanque y al caudal de agua

Figura 2. Balance de materia y el porcentaje de humedad.



M1: Fique con espinas

M3: Espinas %

R: % rendimiento

M5: Residuos de bagazo y jugo

M7: Agua residual de fique (L.V)

M9: Vapor de agua

Fuente: Los autores

M2: Fique desespinado

H: porcentaje de humedad

M4: Fique desfibrado

M6: Agua empleada

M8: Fibra limpia

M10: Fibra seca

a la entrada para lavar la fibra; pero es de anotar que los valores superan a lo establecido por la ley y esto determinara el cobro de la tasa retributiva por la utilización directa del recurso como receptor de vertimientos puntuales y sus consecuencias nocivas, originados en actividades antrópicas [9].

ALTERNATIVAS DE MANEJO DEL EFLUENTE

De acuerdo a la situación planteada durante el estudio se plantearon las siguientes alternativas:

Alternativa 1: Actualmente los productores de fique efectúan el proceso de una manera artesanal, en la que previamente se ha acondicionado la hoja para ser introducida a la maquina desfibadora, una vez eliminado el jugo y el bagazo se obtiene la fibra, luego se procede a dejarla en montones (arrume) por un día para que ocurra el proceso de fermentación aerobia.

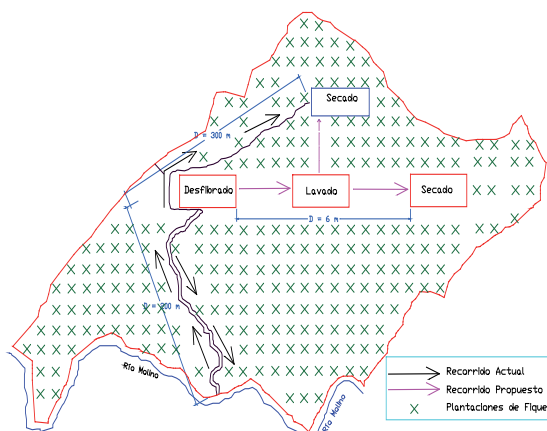
Como lo indica la figura 3, se gastan una distancia entre el desfibrado - lavado al río de 200 metros y posterior a esto, la fibra húmeda es llevada a la zona de los secadores empleándose una distancia de 500 metros.

Con base en ello se plantea ubicar el proceso del fique en el centro de la finca de una manera secuencial: desfibrado – lavado – secado. De tal modo que las etapas de desfibrado y secado queden ubicados a 3 metros del tanque del lavado, lo que permitirá reducir las distancias de 200 a 6 metros. De acuerdo con la secuencia de operaciones establecida, el propósito de esta alternativa es plantear una ubicación óptima que reduzca el esfuerzo del productor y optimice el recurso.

Alternativa 2: De acuerdo al balance de materia para 20.8, kg de fibra se necesitan 190.82 litros de agua por lavado para un total 572.45 litros, generándose 551.65 litro de agua residual de fique, por lo que se sugiere establecer tanques plásticos (600 L) o en madera cubiertos con plástico, con el fin de almacenar el agua requerida para lavar la fibra.

Estos irán conectados por una tubería (3/4") a dos tanques en tierra con (2 m largo, 1m ancho y 0.4 m

Figura 3. Proceso actual y propuesto, en una finca del corregimiento de Paniquitá - Departamento del Cauca



alto) revestido con arcilla o con una película de plástico (calibre 6), con una capacidad instalada será para lavar 200kg de fibra de fique por día.

El operario realiza tres veces el lavado de la fibra, pero con el fin de reutilizar el agua, se recircularán los dos últimos lavados dentro del proceso, que corresponden a un volumen de 381.64 litros que van hacia el tanque 2; requiriendo 190.82 litros del tanque de almacenamiento, actividad que genera ahorro de agua. figura 4

El agua del primer lavado se eliminará por las altas concentraciones de jugo y bagazo, la cual puede ser

utilizada para el riego de pastos de corte como aporte de materia orgánica.

El costo de esta alternativa es acorde a la situación socioeconómica del productor figuero, ya que se utiliza materiales de bajo costo y de fácil aplicación y funcionamiento.

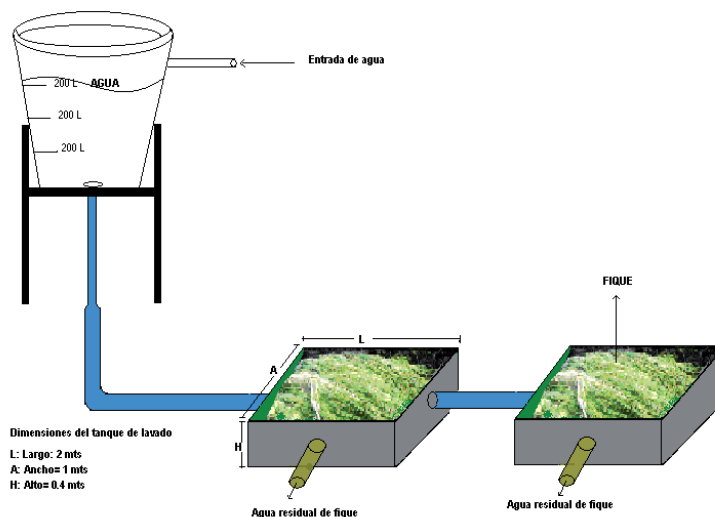
Alternativa 3: Una vez obtenida la fibra se deja en montones por 24 horas a temperatura ambiente (evitando que se moje), al día siguiente se sacude para eliminar las partículas de celulosa, de esta manera se omite el lavado de la fibra [16] y puede realizarse en predios donde sea difícil el acceso de agua.

La fibra obtenida es empleada como biomanto o manto natural para proteger sembrados y como agrotexil para reducir la erosión en carreteras, oleoductos y gasoductos, el cual deberá cumplir con los criterios de calidad estipulados por la NTC 992.

Es necesario tener un equipo adecuado, como gafas y protector de tela, para evitar que el bagazo cause problemas en la piel [8]. El costo es mínimo (\$ 40.000). Generará nuevas y mayores posibilidades de comercialización de la fibra de fique para esta región

Alternativa 4. La alta conductividad ($1310.6 \mu\text{S}/\text{cm}$) y pH (5.03) del efluente permite que el agua sea utilizada como un estabilizador químico de suelos por su contenido de partículas iónicas.

Figura 4. Diagrama del lavado de la etapa del lavado de la fibra



El estabilizador le da un fuerte intercambio iónico, reduciendo el potencial electrostático de las partículas de arcilla contenido en el suelo, quitándoles la capacidad de absorción del agua y las sales disueltas en ella, confiriéndole óptima compactación, resistencias a la cargas y a elementos de corte [16].

Lo anterior reducirá el uso del agua requerida para el proceso, además permitirá aprovechar los residuos líquidos de la agroindustria del fique para minimizar el impacto ambiental.

CONCLUSIONES

De acuerdo a la UNESCO la bocatoma del acueducto de Paniquitá es un agua poco contaminada, debido las pequeñas cantidades de nitratos. El Ministerio de Salud de Colombia (Dec. 475 /1998) No es apta para el consumo humano por la presencia coliformes fecales y totales, por lo cual es necesario procesos de potabilización.

El agua de La Esperanza y el puente es un agua con contaminación suficiente (UNESCO).

La carga contaminante en el río Molino es de tipo puntual más no local, debido a la capacidad de auto-depuración del río por el alto caudal y turbulencia.

La biodegradabilidad media del agua residual del fique es del 22% por lo cual debe hacerse un tratamiento preliminar a este vertimiento antes de ser arrojados a una fuente hídrica.

La alternativa 1, optimiza el recurso humano, mejora el proceso de obtención de la fibra de fique, ya que se realiza una planificación sistemática.

La alternativa 2, disminuye los niveles de contaminación, recirculando el agua de los dos últimos lavados de la fibra y permite el uso racional del agua.

La alternativa 3, para predios donde sea o no sea posible lavar en tanques, permite mayores posibilidades de comercialización.

La alternativa 4, utilización del agua residual en la estabilización de los suelos para la construcción, ya

que contiene glucósidos que aglomeran las partículas del suelo unas con otras.

REFERENCIAS

- [1] CENSO DEPARTAMENTAL FIQUERO. CAUCA (CINDAP). Consolidado de cifras del cultivo de fique en el Departamento del Cauca, 1997.
- [2] ROMERO, jairo. Tratamiento de aguas residuales. Teoría y principios de diseño. Impreso en Bogota, 2000. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería. p 17-71.
- [3] PANIQUITÁ. RESGUARDO INDÍGENA DE PANIQUITÁ. Modelo de educación propia para los resguardos indígenas de Paniquitá y Jebalá. Paniquitá (Totoró, Cauca), 2001.p. 2-6.
- [4] INSTITUTO DE HIDROLÓGICA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES. Guía para el monitoreo y seguimiento del agua. Bogota, (Colombia). IDEAM, julio de 1997. Proyecto E-lane. Disponible en Internet: URL. <http://www.ideam.gov.co>.
- [5] COLOMBIA, MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL-MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL. Decreto 3100. Bogotá.2003.
- [6] ROLDAN, Gabriel. Fundamentos de limnología neotropical. 1 ed. Impreso en Medellín (Colombia), 1992. Editorial Universidad de Antioquia. p. 225-282. V 1.
- [7] ARCE, Ana, CALDERÓN, César y TOMASINI, Ana. Fundamentos técnicos para el muestreo y análisis de aguas residuales. Impreso en México, 2002. Editorial Instituto Mexicano de Tecnología de Agua. p. 8 – 14.
- [8] ÁLVAREZ, Carlos. Manual de contaminación ambiental. Agentes contaminantes. Impreso en Madrid (España), 1994. Editorial MAPFRE, S.A. p. 59-61.
- [9] MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL-MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL. Guía ambiental del subsector fiquero. [En línea]. 2 ed. Bogota (Cundinamarca, Colombia). Cadena Productiva del Fique, junio de 2006. E-lane. Disponible en Internet: URL: <http://www.corpoica.org.co>.
- [10] SAWYER, Clair, McCARTY, Perry. Química para Ingeniería ambiental. Impreso en Colombia, 2001. Editorial McGraw-Hill. 4 ed. p 556-565.

- [11] CRITES, Ron, TCHOBANOGLOUS, George. Tratamiento de aguas residuales en pequeñas poblaciones. Impreso Bogotá (Colombia), 2000. Editorial McGraw-Hill. 1 edición. p. 42-50, 154-161.
- [12] MOJICA, Amilcar y PAREDES, Joaquín. El cultivo del fique en el departamento de Santander. Bucaramanga (Santander, Colombia). Centro Regional de Estudios Económicos. Bucaramanga, julio de 2004.
- [13] RODRÍGUEZ, Héctor. Estudio de la descomposición de las saponinas esteroidales en las aguas residuales de lavado del fique. Cali, 1997, p 1-10, 25-33. Trabajo de grado (Químico). Universidad del Valle. Facultad de Ciencias. Departamento de Química.
- [14] SEMINARIO TALLER - MODELACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUAS DE CORRIENTES SUPERFICIALES (1º: 2006: Cauca) Memorias del I Seminario de calidad de aguas. Popayán: CRC, 2007.
- [15] MARTÍNEZ, Angélica María y CAICEDO, Tania Ximena. Bioensayo de toxicidad de los jugos de fique en peces, en el municipio de Tambo (Nariño). Bogotá: Universidad El Bosque, 2002. 26 p. Tesis de Postgrado en la especialización de Salud Ambiental.
- [16] ÁLVAREZ, Alberto. Beneficio ecológico de la cabuya. Impreso en Medellín (Colombia), 2005. Editorial ARD/CAP, ISAGEN, USAID. p. 14-17.
- [17] BOTASSO, Gerardo. *et al.* Estabilizantes iónicos de suelos para la construcción. La Plata (Argentina). Universidad Tecnológica Nacional- Facultad Regional La Plata- LEMaC - Área Medio Ambiente y Obras Civiles, abril 2003. Disponible. Internet: URL:<http://www.frtp.utn.edu.ar/lemac>.