

Depuración de las aguas residuales producidas en el procesamiento del caucho natural (*hevea brasiliensis*) mediante microorganismos presentes en las aguas receptoras de los vertimientos en el municipio de Cunday - Tolima*

Oscar Torres¹

RESUMEN

La relación del agua y la humanidad es un tema complejo. El crecimiento de la población mundial en el siglo pasado y el actual han conducido a la humanidad a enfrentar diversas problemáticas. Los requerimientos de alimentos, los servicios de salud y el abastecimiento de agua para millones de habitantes hacen parte de los problemas que demandan atención inmediata.

PALABRAS CLAVES: crecimiento de la población, agua, salud, alimentación

SUMMARY

The relationship of the water and the humanity is a complex issue. The growth of the world population in the last century and the current have led humanity to face various problems. The requirements of food, health services and the supply of water for millions of inhabitants make part of the problems that require immediate attention.

Key words: population growth, water, health, food.

Introducción

El crecimiento de la población mundial en el siglo pasado y el actual han conducido a la humanidad a enfrentar diversas y complejas problemáticas, los requerimientos de alimentos, los servicios de salud y el abastecimiento de agua potable para millones de habitantes hacen parte de los problemas que demandan atención inmediata. En este contexto la problemática del agua ha evolucionado hasta convertirse en una crisis que condiciona hoy en día el desarrollo humano. Se estima por la (United Nations World Water Development, 2014) que, 2.700 millones de personas viven en cuencas que experimentan escasez grave de agua durante al menos un mes al año, mientras que la demanda de agua para usos domésticos e industriales va en aumento resultando en una sobreexplotación de las fuentes, además de contaminación, mal uso y desperdicio por la utilización de sistemas de distribución inadecuados e ineficientes (Restrepo A.P., 2006).

* Fecha de recepción febrero 28 de 2015 y fecha de aceptación marzo 16 de 2015

¹ Estudiante Doctorado en Desarrollo Sostenible. Universidad de Mainzales

Nº 28 - Primer semestre de 2015

La relación del agua y la humanidad es un tema complejo, se presenta una síntesis elaborada por el (World Conservation Union, 2006), para explicar la dinámica entre el agua y la población humana, esta relación se divide en cuatro bloques, el primero hace referencia a la dinámica de la población, es decir al crecimiento de la población como una causa principal del aumento de requerimientos de agua, así como de efluentes contaminados. Algunos datos son reveladores como que la población mundial sea hoy en día 3 o 4 veces más grande que hace 100 años o que todavía existan países en desarrollo con altos índices de natalidad (Pérez, 2015). Es obvio pensar que a medida que se incrementa la población mundial la disponibilidad de los recursos disminuye, en este sentido el segundo bloque de la figura 1, nos muestra como diversos usos del agua se incrementan proporcionalmente a los aumentos de población particularmente aquellos relacionados con la agricultura, la cual por sí sola consume el 70% del agua dulce disponible para la obtención de alimentos o fibras, otros usos del agua que son impactados fuertemente por los aumentos de población son los requerimientos para usos domésticos, saneamiento y evacuación de los desechos. En este sentido, actualmente existen altas tasas de urbanización en países densamente poblados como China, India o Turquía (Connor, 2006), lo cual ejerce más presión sobre los requerimientos de agua dulce.



Figura 1. Vínculo entre población y el agua dulce.
Fuente: World Conservation Union, (2006), PRB and USAID.

El tercer bloque de la figura 1, especifica los resultados ecológicos de la sobreexplotación del recurso, algunos de ellos son: agotamiento

del agua superficial y subterránea, contaminación del agua debido a la falta de tratamiento, degradación de las tierras, degradación de ecosistemas, y la perturbación del ciclo ecológico, un dato que evidencia la magnitud del problema indica que aproximadamente el 90% de las efluentes de agua en los países en desarrollo no recibe tratamiento.

En el último bloque de la figura 1, se muestra como los resultados ecológicos derivan en resultados económicos, de esta manera, la sobreexplotación y las deficiencias en el manejo del agua se transforman en déficit de alimentos, enfermedades relacionadas con la mala calidad del agua, inestabilidad social y otros conflictos por el agua, retraso económico, y poblaciones desplazadas. De acuerdo con la (INWEH - ONU, 2015) en el último informe señala que en 10 años, 48 países con una población combinada de 2.900 millones de personas, estarán clasificados como "con escasez de agua" o "con estrés de agua". Y para el 2030 la demanda mundial de agua dulce será superior en 40 por ciento a la oferta. Este informe titulado 'Water in the World We Want' realizado por el Instituto del Agua, Medio Ambiente y Salud (INWEH) de la Universidad de las Naciones Unidas con sede en Canadá. Advierte que en poco tiempo la demanda de agua provocará conflictos ocasionados en su mayoría por la corrupción, los auxilios a sectores como el energético y el agrícola, y por el excesivo crecimiento demográfico.

Bajo este escenario de crisis se hace evidente que la humanidad tiene por delante un reto muy fuerte, sobre todo en el sector de la agricultura y aquellas industrias cuyos procesos requieran altas cantidades de agua. En este sentido una estrategia importante para enfrentar los retos de la crisis del agua es la implementación de nuevos procesos y tecnologías que permitan disminuir los consumos, o aplicar tratamientos a las aguas residuales que posibiliten su reuso, lo anterior ha permitido disminuir los consumos de agua en los países desarrollados en contraste con la tendencia mundial de incrementos en los consumos que presentan los países emergentes.

Aunque el problema del agua en la industria es general, su complejidad no es homogénea ya que el consumo del vital líquido está en función del tipo de proceso empleado en la fabricación de productos. Existen sectores industriales clasificados como grandes consumidores de agua, como es el caso de la industria de papel o la industria azucarera, dentro de este grupo se encuentra la industria del caucho natural, el cual consume alrededor de 30m³ de agua por tonelada de producto seco obtenido (TERI - The Energy and Resources Institute, 2014). El principal problema de las aguas generadas por esta industria se debe a que se presentan una alta Demanda Bioquímica de Oxígeno y de amónico, lo cual deriva en un alto consumo de oxígeno durante su descomposición en aguas residuales, disminuyendo con ello los niveles de oxígeno disponible para el funcionamiento normal del ecosistema.

El tratamiento de las aguas residuales generadas por la industria del caucho natural es una alternativa que forma parte del manejo del agua, hoy en día, son necesarios tratamientos de efluentes que permitan disminuir los contaminantes –particularmente la Demanda Bioquímica de Oxígeno- de manera eficiente, a bajo costo y contribuir con ventajas ambientales. Las tecnologías tradicionales para el tratamiento de aguas residuales comprenden procesos químicos, físico químicos y biológicos, como: filtración, floculación química, clorafiltración, ósmosis inversa, electrodiálisis, electroquímica, sin embargo el tratamiento de las aguas por biorremediación es una de las alternativas tecnológicas que en los últimos años ha presentado un fuerte desarrollo debido a su eficiencia en la descontaminación y a la posibilidad de obtener subproductos como: biocombustibles, biofertilizantes y concentrados.

Aunque la biorremediación puede ser una opción viable para el tratamiento de las aguas residuales generadas por la industria del caucho natural, previamente debe caracterizarse y evaluarse su eficiencia para el tratamiento de los contaminantes específicos. Varios estudios se han llevado a cabo en este sentido, particularmente con aguas residuales provenientes de la centrifugación del látex del caucho natural y de la obtención del caucho sólido (Vimalamma T., 2009). Sin embargo, existe escasa información de su aplicación en la depuración de las aguas residuales producidas en el procesamiento del caucho natural (*H.brasiliensis*) mediante microorganismos presentes en las aguas receptoras de los vertimientos. En el siguiente apartado se abordará la importancia de caracterizar el desempeño de los procesos de la biorremediación para la disminución y la transformación de las cargas en ese tipo de aguas residuales.

Planteamiento del problema

En la producción del cultivo del caucho (*H. brasiliensis*) en una de sus fases del aprovechamiento del látex en los recipientes para extraer el producto concentrado para la laminación, forma una especie de coágulos que posteriormente son compactados a través de rodillos y transformados en láminas las cuales permiten continuar con otros procesos de industrialización de esta materia prima. El inconveniente se inicia en la fase de acidificación cuando se encuentra en los recipientes, ya que allí se vierte un centímetro cúbico de ácido fórmico al 90% de concentración por cada dos litros de la mezcla de látex y agua, reacción que permite el aglutinamiento o concentración del látex, dejando un residuo líquido compuesto de agua, hidrocarburos de caucho, proteínas, resinas, azúcares, materias minerales (Torres, El cultivo del caucho en la Amazonia., 1999) y el ácido que se usó en el proceso y algunos productos derivados de la fase de coagulación; adicionalmente se agrega bisulfito de sodio (1g/L) para evitar su oxidación; es por esto que el agua, cambia las

propiedades físicas y químicas. Normalmente estos residuos líquidos son arrojados directamente a las quebradas o alcantarillas y se convierten en una fuente de contaminación de los recursos hídricos y biológicos.

Para tener una dimensión del problema de contaminación tomaremos en cuenta lo siguiente: si un trabajador sangra 520 árboles/ha/día (Torres, Expandiendo el caucho., 2011) y cada árbol produce 350cm³ de látex se obtienen 182000cm³ de látex que equivalen a 0,182m³ de látex y como se disuelven en la misma cantidad de agua se estarían contaminando 0,364m³ por ha/día. Ahora bien, para que un heveicultor obtenga rentabilidad debe tener como mínimo 5 hectáreas, esto daría un total de 1,825m³ residuos líquidos por 5 ha/día, para la sola actividad de la coagulación del caucho.

Igualmente, el ejemplo es que en tan solo en el núcleo de La Victoria – Caldas que cuenta con 1500has (La Patria, 2013) y que cada hectárea produce 1,3 toneladas y que como para producir una Tonelada de caucho se necesitan 25m³ de agua, por lo tanto se necesitarían de 48750m³ de agua para la producción en pleno de todas las hectáreas. Y para el país se estima que en tan solo en el año 2013 se tuvo alrededor de 34831 hectáreas de área sembrada (Confederación Colombiana del Caucho, 2013).

Por todo lo anterior, y con los antecedentes que en Colombia solo se han construido dos plantas de tratamiento de aguas residuales (ptar): la industria del caucho técnicamente especificado el departamento de Caquetá cuenta con una ptar proyectada para un cubrimiento de 2500has y actualmente está tratando solamente los residuos de la producción de 357has en el año 2014 que corresponde a 500ton que es un 25% de la capacidad instalada y la ptar de caucho centrifugado en Santander que entro a funcionar en octubre de 2014 que está proyectada para atender la producción de 10000has de caucho, de acuerdo a los volúmenes de látex que procesan estas industrias en Caquetá y Santander se tratan tan solo el 1,03% de las aguas residuales del caucho se tratan en Colombia, por lo tanto: el 98,97% de las aguas residuales del coagulado del caucho son vertidas a cuerpos receptores de aguas, datos: para el solo año de 2013 Caquetá produjo 141537m³ de aguas residuales y para el resto de Colombia para el año 2013 un total de 978867,5m³ de aguas residuales que infieren el daño ambiental que se genera y de ahí la importancia de este trabajo.

Justificación

El problema de la calidad del agua es un problema que compete y que trasciende en el ámbito nacional por la importancia que se está generando por la escasez de agua, la contaminación de la misma y de la presencia de fenómenos naturales (cambio climático) que hacen cada día más difícil su conservación. En un país que se está preparando para

incorporarse a los nuevos lineamientos socio-económicos internacionales y que pretende adoptar los estándares de productividad y científicidad mundiales, la calidad de los servicios y los resultados que genera un sistema de producción, y que cada día adquieren una gran importancia.

Esto significa que un país como el nuestro, comprometido con la modernización de su aparato productivo y la inserción de sus sistemas de ciencia e investigación en la comunidad científica y la tecnológica internacional no puede perder de vista la necesidad de preparar a pequeños y grandes productores de caucho (*H. brasiliensis*) que al obtener, procesar y producir productos que estos no generen problemas ambientales como la contaminación de quebradas, y deterioro de los recursos hidrobiológicos (fauna y flora acuáticos). Aspectos que se serían determinantes en las futuras negociaciones por la responsabilidad de las empresas en lo ambiental y social con relación a los procesos de producción limpia. Y, como las exigencias del mercado mundial y nacional son cada vez mayores, debido a la tecnificación y a la necesidad de cumplir con parámetros de calidad y particularmente en lo ambiental; esto exige que los productos que se obtienen del caucho (*H. brasiliensis*) deban cumplir con estos estándares en todos sus procesos. El generar una materia prima para comercializar con características inferiores a las exigidas en lo pertinente a la temática ambiental desde su origen hasta el consumidor final, afectarán posiblemente las condiciones de competitividad y precios del productor.

Ahora bien, de lo anterior se deduce que los cultivadores y productores del caucho natural deben realizar prácticas sostenibles de mitigación y/o adaptación que permitan disminuir las amenazas y los riesgos de contaminación de las aguas generadas por los vertimientos del proceso de acidificación y coagulación del caucho con plausibles y posibles estudios de investigación de caracterización, bioprospección y biorremediación como el que pretendemos desarrollar.

Igualmente, para poder realizar esta investigación es necesario utilizar métodos que nos permitan tomar muestras para poder caracterizar las aguas que han podido ser neutralizadas químicamente o las aguas que han tenido cambios en su pH por efecto de la utilización de ácidos, rastrear microorganismos que hagan presencia en estas aguas, indagar la manera cómo actúan, en que forma de asociación se presentan éstos microorganismos y por último caracterizar lo que se pueda obtener con los organismos microbianos a partir de la biomasa.

Pregunta de Investigación

¿Cómo y cuales microorganismos descontaminadores se pudieran hallar en los vertimientos de aguas residuales y cuales se pudieran validar para depurar las aguas producidas en el procesamiento del caucho (*Hevea brasiliensis*) que contaminan cuerpos receptores de agua en el municipio de Cunday - Tolima?

UNIVERSIDAD DE MANIZALES

Objetivo general

Validar la potencialidad de los microorganismos eficientes presentes en las aguas receptoras de los vertimientos de las aguas residuales producidas en el procesamiento del caucho natural en el municipio de Cunday - Tolima.

Objetivos específicos

1. Caracterizar efluentes de los vertimientos de aguas residuales en sus aspectos físicos, químicos y microbiológicos.
2. Identificar microorganismos asociados a depurar el agua producida en el proceso de coagulación del caucho (*H. brasiliensis*) y testear los consorcios que se están experimentando.
3. Evaluar el crecimiento de microorganismos (aislados puros o consorcios) hallados en los vertimientos de las aguas residuales y experimentados en reactores tipo batch.
4. Evaluar el crecimiento de microalgas del genero galdieria en las aguas residuales del proceso de coagulación del caucho natural (*H. brasiliensis*).
5. Caracterizar la biomasa en su composición lipídica, proteica y decarbohidratos obtenida con los microorganismos y microalgas en el proceso de depuración de aguas residuales producto del proceso de la acidificación y coagulación del caucho (*H. brasiliensis*).
6. Proponer una alternativa de depuración de aguas residuales en la industria del caucho natural (*H. brasiliensis*) mediante el uso de microorganismos hallados o con las algas experimentadas para usos alternativos de biomasa en producción de biocombustibles, que seguramente contribuirá a la construcción del camino hacia el desarrollo sostenible.

Hipótesis

Al validar la potencialidad de los microorganismos eficientes presentes en las aguas receptoras de los vertimientos de las aguas residuales producidas en el procesamiento del caucho natural en el municipio de Cunday - Tolima. No se necesitará la neutralización de las aguas con algunos elementos químicos como bases y tampoco se continuará con el problema de la utilización de compuestos químicos utilizados en el procesamiento del laminado del caucho, lo cual redundará en una mejor calidad del agua.

La validación de microorganismos depuradores de aguas residuales del caucho permitirá una mayor eficiencia en la descontaminación de estos residuos líquidos. El aislamiento de los microorganismos en forma individual o en consorcios (unión de dos o más microorganismos)

permitirá que se tenga una mayor adaptación a las condiciones de temperatura, presión, alimentos y al medio ambiente (con capacidad de resiliencia) sin producir un deterioro a los ecosistemas acuáticos.

Como resultado de estas experimentaciones encontraremos que esta biomasa como producto o resultado del trabajo de los denominados microorganismos eficientes es útil para la producción de biodiesel, biocombustibles, abonos o alimentos.

Marco teórico

Historia del caucho natural: Por sus propiedades de estiramiento y resistencia a los esfuerzos cortantes el caucho natural se ha convertido en parte de la vida moderna del hombre. Desde que aparecen los primeros registros históricos y que datan del segundo viaje de Cristóbal Colón en 1493 a América, cuando su uso parecía ya bastante difundido entre los nativos del nuevo continente. Los artefactos de caucho encontrados por los primeros visitantes europeos a América llevan a creer que su uso debió de existir hace siglos.

Algunos de los datos más importantes en la historia del caucho natural pueden describirse de la siguiente forma:

1736: Charles Marie de la Condamine, realiza la primera descripción detallada de carácter científico, este francés quien recorrió por varios años el Perú y el Ecuador, envía muestras a la Academia de Ciencia Francesa con la siguiente descripción: crece en la provincia de Esmeraldas un árbol llamado por los naturales "Heve" o "Hieve", escurre con solo un corte un líquido blancuzco parecido a la leche el cual se coagula y se endurece poco a poco con el aire. Los habitantes se alumbran con el prendiéndolo sin utilizar mecha dando una claridad bien bella...". Igualmente informó de la Condamine que este árbol se encontraba a orillas del río Amazonas, donde el árbol se ha llamado "Caucho" por los indígenas, de donde se deriva su nombre actual.

1749: Francois Fresneau en Francia realiza la primera descripción botánica.

1761: Se descubre la disolución del caucho natural o hule por los químicos Hérant y Macquer.

1763: J.J. Fuses Aublet le asignó el género Hevea.

1839: Charles Goodyear realizó una mezcla de caucho con azufre y al calentarlo descubre la vulcanización, obteniendo un producto estable para infinidad de usos.

1866: J. Muller – Argovensis confirmó científicamente el género Hevea.

1876: los ingleses decidieron llevar el caucho natural a sus colonias orientales y comisionaron a Henry Whickman quien transportó semillas del Amazonas a Inglaterra. Y, un bajo porcentaje de esas plantas germinadas se enviaron a Ceilán y Malasia.

1910: Se vende en Europa la primera producción de caucho proveniente de plantaciones de Hevea que se extendieron en Malasia e Indonesia a comienzos del siglo XX.

Aunque el caucho natural (*Hevea brasiliensis*) es originario de Brasil, dada la inexistencia de mano de obra barata y las limitaciones de la tenencia de la tierra, hicieron que la industria se desplazara al continente Asiático. Debido a lo anterior es lógico que hoy en día, Asia sea la principal fuente del caucho natural en el mundo, aportando alrededor del 90% de la producción global durante el 2013, en el mismo sentido Indonesia, Malasia y Tailandia aportaron durante ese año el 65% de la producción mundial (IRSG - International Rubber Study Group, 2013).

Fenología del cultivo del caucho natural: las hojas del caucho (*H. brasiliensis*) son compuestas, es decir, están formadas por tres hojas o folíolos y se caracterizan junto con las ramas y tallos por crecer a un ritmo constante, o sea en un piso foliar, que está conformado por un zona de hojas seguidas de una zona tallo y termina en una zona de crecimiento continuo alrededor de 15 hojas en formación. Ahora bien, sea en bosque o en plantación, el caucho adulto pierde sus hojas y las renueva cada año. Este periodo de foliación – refoliación se presenta en la época en que el período seco es más acentuado.

La floración tiene lugar, en la mayoría de los casos, durante la refoliación, que generalmente coincide con la época de verano o época seca. El caucho (*H. brasiliensis*) produce inflorescencias, que es un grupo de flores unidas al mismo tallo. Lo interesante es que en el mismo racimo se pueden encontrar flores masculinas y femeninas; las flores están agrupadas de tal manera que las femeninas van al final del racimo y las masculinas al inicio. La fecundación es anemófila (viento) o entomófila (insectos).

De la misma manera, que cuando las flores están fecundadas, empieza la formación de los frutos que maduran cuatro (4) meses después.

El fruto del caucho (*H. brasiliensis*) es una cápsula con tres o cuartos o lóbulos, en cada uno de los cuales hay una semilla. La envoltura del fruto, cuando verde es rica en látex, secándose después. Al madurar esta es dura. En la dehiscencia la semilla estalla con un ruido característico, sonando como una detonación, arrojando la semilla hasta a 15 metros de distancia. En plantaciones monoclonales, las semillas son abundantes en el borde de las parcelas vecinas. El centro de las parcelas produce poca semilla, ya que la mayoría es producto de la autofecundación. Un bloque de 25 hectáreas puede producir entre 100 y 125 kilos de semilla.

Especies de caucho natural: *Hevea brasiliensis* (M. Arg.), *Hevea benthamiana* (M. Arg.), *Hevea guinensis* (Aubl.), *Hevea microphila* (Ule), *Hevea nitida* (Mart.exBth) M.Arg., *Hevea pauciflora* (Sprex) Bth M. Arg., *Hevea rigidifolia* (Bth) M. Arg., otras.

Ciclo de vida del caucho natural: El árbol del caucho (*Hevea brasiliensis*) es un cultivo de largo plazo. Los árboles producen durante 25 años o más. Entre el caucho en su medio natural y el caucho de plantación existen diferencias importantes. En la selva tropical se encuentra en competencia con los otros árboles, su corona se forma en los estratos superiores a los 20-30 metros del suelo y su tronco es recto, levemente dilatado en la base, su corteza es fina, verde, ascendente y copa angosta. Puede sobrepasar los 40 metros de altura y su circunferencia pasar de cinco (5) metros; mientras que en plantación o monocultivo, el desarrollo del tronco en diámetro se encuentra fuertemente limitado por la sangría y una explotación intensiva por la cual la altura del árbol no supera los 20 metros. Las coronas de los árboles se tocan ocultándola luz e impidiendo todo desarrollo vegetativo desde el suelo.

Características generales del cultivo: El caucho (*H. brasiliensis*) tiene un periodo especialmente largo entre la siembra y el establecimiento de la plantación y el comienzo de la explotación del látex, que está relacionado con la circunferencia del árbol (45cm) y como las condiciones de crecimiento del árbol tienen un efecto marcado en el ritmo de crecimiento, el cuidado de los árboles en los primeros años es crucial. Por tanto, el control de plagas enfermedades y malezas en los primeros años de cultivo requiere una planificación muy minuciosa. Este control debe ser riguroso para que los árboles sean fuertes y sanos durante más de 20 años de explotación, pero con especial cuidado en los costos.

El caucho es el único cultivo de importancia del cual la producción de látex se extrae de la corteza viva del árbol, por lo cual es necesario realizar una buena técnica para la sangría y tener tratamientos preventivos para disminuir la presencia de enfermedades en los paneles y los daños en la producción.

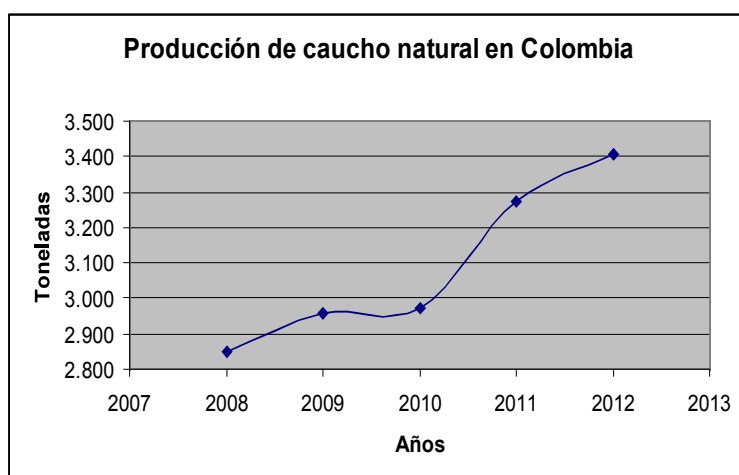
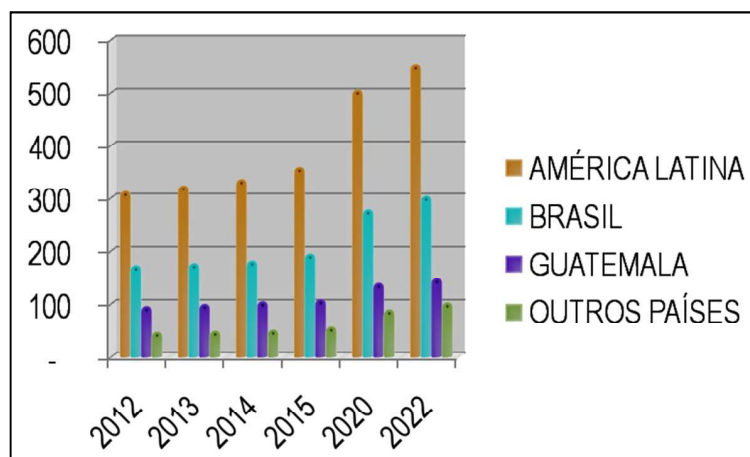


Figura 2. Producción del caucho natural (*Hevea brasiliensis*) en el país. De acuerdo, a lo que podemos observar en la figura en los años anteriores al 2010 el incremento en la producción es de 50Ton/ año y luego se hace mayor.

Tabla 1. Hectáreas sembradas y producción de caucho natural en Colombia.

DEPARTAMENTO	Hectáreas sembradas de caucho natural		Producción 2008 (Ha)	Producción 2008 (Ton)
	2007	2008		
Antioquia	3.035	4.099	2.636	188
Arauca	67	67		0
Caldas	773	968	1.318	81
Caquetá	6.864	7.150	4.712	1.200
Casanare	101	101		0
Cauca	120	120	21	0
Cundinamarca	682	721	294	24
Guaviare	1.100	1.486	1.005	60
Huila	5	5		0
Meta	2.794	4.058	12.642	600
Nariño	95	119		0
Putumayo	1.357	1.804	444	75
Quindío	2	2		0
N. de Santander	165	165		0
Santander	5.475	6.315	5.626	187
Tolima	330	379	199	56
V. del Cauca	9	9		0
TOTAL	22.974	27.568	34.831	2.471

Fuente: Secretaría Técnica Nacional – MADR - (2008). Asociac.Heveícolas Departamentales. Se estima que Vichada, Choco, Córdoba, Vaupés sembraron 5844 hectáreas según CCC, 2013.

Figura 3. Producción del caucho natural (*Hevea brasiliensis*) en la países latinoamericanos.

Fuente: Datos tomados del boletín International RubberStudyGroup – IRSG 2013.

Cosecha del cultivo de caucho (*H. brasiliensis*): El aprovechamiento del caucho consiste en la recolección del látex contenido en la red de vasos laticíferos comunicados entre sí, mediante la sangría, que se realiza al practicar una incisión llamada “canal” en la corteza del árbol el cual se repite a lo largo del año con una frecuencia que hace parte de la característica del “sistema de sangría”.

Tabla 2. Superficie de caucho natural cultivada en el mundo (hectáreas).

PAÍS	2008*	2009*	2010*	2013
Malasia	1.236.000	1.223.000	1.218.000	1.057.000
Vietnam	632.000	674.000	715.000	920.000
India	662.000	680.000	692.000	776.000
China	850.000	877.000	899.000	1.070.000
Tailandia	2.276.000	2.314.000	2.314.000	2.765.000
Indonesia	3.462.000	3.489.000	3.515.000	3.492.000
Sri Lanka	109.000	112.000	112.000	N.D.
Cambodia	108.000	123.000	132.000	328.700
Filipinas	123.000	136.000	148.000	N.D.
Myanmar	423.000	463.000	498.000	568.000
Laos	149.000	224.000	250.000	N.D.
Colombia	2.849	2.957	2.973	3.950
Total	10.030.000	10.315.000	10.493.000	11.414.650

* Fuente: FAO. Datos tomados del boletín IRSG 2013.

Fuente: Minagricultura tomado del informe IRSG Abril – Junio 2014.

Tabla 3. Producción de caucho natural en Colombia.

	2009	2010	2011	2012	2013
Antioquia	240	260	270	280	300
Arauca					
Caldas	105	140	200	200	220
Caquetá	1420	1420	1420	1420	1420
Casanare					
Cauca	11	11	11	11	15
Cundinamarca	33	50	50	50	50
Guaviare	40	40	50	50	70
Huila					
Meta	770	770	820	820	1000
Nariño					
Putumayo	25	25	25	25	25
Quindío					
Santander	308	157	376	400	700
Tolima	50	50	50	50	50
Otros				100	100
Total	2.957	2.973	3.272	3.406	3.950
Rendimiento Ton/Ha/año	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3

Fuente: Ministerio de Agricultura CNC – 2013

Tabla 4. Producción de caucho natural en el mundo (toneladas).

PAÍS	2010	2011	2012	2013
Malasia	939.000	996.200	922.800	826.500
Vietnam	751.700	811.600	863.000	949.600
India	858.800	892.700	919.000	848.500
China	665.000	802.000	488.800	856.000
Tailandia	3.252.100	3.393.800	2.651.500	4.141.000
Indonesia	2.736.000	2.982.000	3.014.800	3.081.000
Costa de Marfil	231.500	233.600	265.100	265.100
Brasil	135.200	138.700	171.500	178.500
Guatemala	83.100	88.500	94.400	93.600
Otros A. Latina	48.100	48.400	11.500	13.500
Otros	713.000	686.000	2.201.000	1.148.000
Total	10.405.500	11.073.500	11.603.400	12.401.300
Rendimiento Ton/Ha/año	1.3	1.3	1.3	1.3

Fuente: Minagricultura tomado del informe IRSG Abril – Junio 2014.

La decisión de iniciar la explotación de una plantación se basa en 2 criterios: un criterio económico (número suficiente de árboles sangrables por unidad de superficie) y un criterio sobre el crecimiento de los árboles. El mejor criterio para su iniciación ocurre cuando se encuentran 100 árboles por hectárea con una circunferencia superior a los 45 centímetros, a un metro de altura del suelo, o sea de 5 a 6 años después de la siembra, si ha tenido buen manejo. Un árbol muy joven no debe sangrarse ya que la corteza es muy delgada y se hiere fácilmente el cambium. Por otra parte, si el árbol es demasiado delgado se compromete la producción futura del árbol. La mejor época para iniciar la sangría está al final de un período seco y no debe coincidir con plena temporada de lluvias ni con la refoliación de los árboles.

Mediciones regulares de la circunferencia de los árboles (al menos una vez al año) permiten conocer su crecimiento y prever la edad en que entra en sangría. Un poco antes de la iniciación de la sangría, se marcan los árboles con una circunferencia mayor a los 45 centímetros, a un metro del suelo, con una cruz (+) en pintura de aceite a 1,5 metros del suelo. Los que tienen entre 40 y 44 centímetros se señalan con una raya horizontal (-) los cuales entrarán a sangría alrededor de seis meses después de la medición.

Esta operación determina el número de árboles sangrables por hectárea, el número de sangrías de acuerdo al sistema de explotación escogido y el número de sangrías de acuerdo al sistema de explotación escogido y el número de sangradores necesarios.

Una vez iniciada la sangría, una plantación puede explotarse durante 25 a 30 años o más, de acuerdo a los criterios económicos de la producción de los árboles y del número de árboles/hectárea (se considera que con menos de 240 árboles/hectárea la explotación no es rentable).

La producción de caucho depende de la cantidad de látex producido en cada sangría, del tiempo de escurrimiento del látex, del contenido de caucho seco en el látex y de la capacidad del árbol de regenerar el látex entre 2 sangrías.

Este comportamiento varía igualmente en función de la edad del árbol, de su circunferencia y de las condiciones reinantes en el momento de la sangría.

El sistema de explotación o sistema de sangría, resulta de combinar la forma, la longitud de la incisión, el número de incisiones y la frecuencia de la sangría, la combinación de estos factores determinan la intensidad de la sangría.

Los sistemas de sangría han sido objeto de una codificación internacional. Los principales elementos del sistema de sangría se relacionan con la longitud y a la posición del canal, la frecuencia y el panel. El conjunto de estos elementos se resumen en una fórmula práctica y abreviada.

Mano de obra y aspectos económicos del cultivo del caucho natural (*H. brasiliensis*):

Tabla 5. Costos del sistema productivo.

Concepto	Costos directo/ha Año 1
Mano de Obra	
Establecimiento y mantenimiento	1.890.000
Equipos y Herramientas	84.750
Insumos	4.608.000
Transporte	363.000
Total costos directos	6.945.750
Total Ha	6.945.750
Concepto	Costos directo/ha Años 2 – 5
Mano de Obra	
Mantenimiento	2.820.000
Equipos y Herramientas	339.000
Insumos	20.000.000
Total costos directos	5.159.000
Total / Ha	5.159.000
Total Año 1 – 5	12.104.750

Fuente: STN OCP 2014

Procesamiento del látex de la industria del caucho (*H. brasiliensis*) necesita:

Látex concentrado al 60%.

Caucho sólido, ya sea en láminas, crepé o granulado, o técnicamente especificado (TRC).

La calidad del caucho obtenido depende especialmente del procesamiento que se le dé al látex. El caucho de mejor calidad se obtiene mediante la coagulación del látex con un ácido, ya sea en forma de lámina, crepe o de caucho granulado.

Ahora bien, el látex es una sustancia coloidal de color blanco o crema que contiene las partículas de caucho en suspensión, con una densidad comprendida entre 0,973 y 0,979; resultante de los pesos específicos del suero (1,02) y las partículas de caucho en suspensión (0,91), la composición química del látex es la siguiente:

Agua	52 a 70%
Hidrocarburos de caucho	27 a 40%
Prótidos	1,5 a 2,8%
Resinas	1,0 a 1,7%
Azúcares y quebrachitol	0,5 a 1,5%
Materias minerales	0,2 a 0,9%

La composición de la fase dispersa del látex, es la siguiente:

Hidrocarburos de caucho	87,5%
Agua de hidratación	10,0%
Estériles y estruas	1,2%
Prótidos	0,3%
Ácidos grasos	1,0%

Algunas de las funciones del látex en la planta, son las siguientes:

- Transporte y reservorio de nutrientes.
- Protección de la planta contra ataques de insectos y daños mecánicos (cicatrizante).
- Regulador del sistema hídrico de la planta.
- Factor eco fisiológico para la adaptación de la especie en los diferentes climas.
- Coadyuvante del crecimiento.
- Fortalecedor de tejidos.

Látex concentrado al 60%: Este látex se obtiene de la sangría tiene agua y partículas de caucho, para comercializarlo es necesario quitarle parte del agua para tener una mayor concentración de caucho.

Para concentrar el caucho del látex se utilizan diferentes sistemas, entre ellos el látex cremado y centrifugado.

Látex cremado: este sistema de concentración del látex es utilizado, generalmente, en pequeñas plantaciones de caucho, no se requieren equipos complicados, solo algunos materiales y químicos para obtener el látex como lo pide el mercado.

Una vez se recoge el látex de la plantación, se filtra y se le agrega: Amoníaco, aplicando 17,5cm³ por litro de látex. Alginato de amonio, adicionando 2,5cm³ por litro de látex. Dejando reposar el látex con los químicos durante ocho semanas para que se madure. Después de ese tiempo, se va a encontrar que el látex se separó en dos partes: el látex cremado y el agua. Se elimina el agua y se recoge el látex cremado al 60% para venderlo a la industria.

Látex centrifugado: este sistema de concentración de látex se utiliza cuando hay una plantación de nucleada de mínimo 100 hectáreas, ya que requiere una infraestructura más elaborada y equipos más costosos, así que hay que evaluar bien si el área productiva justifica la inversión.

Esta centrifugación, se realiza en aparatos especiales llamados centrifugas (tipo Alfa-Laval). Con las reglas y medidas apropiadas se obtiene un contenido de caucho cremado entre el 61% y el 63%. A continuación se ajusta el contenido de amoníaco, pudiéndose un látex de bajo contenido (0.2% del peso del látex) o de alto contenido (0,7%). Para asegurar una mejor conservación se agregan (pentaclorato de sodio, ácido bórico, ácido laurico, dietildithio carbonato de zinc, disulfuro de tetrametilthiuram/ZnO.).

El látex de esa forma se puede conservar en grandes cisternas durante semanas y unos meses.

De la misma forma que se puede obtener: caucho sólido, ya sea en láminas, crepé o granulado, o técnicamente especificado (TRC).

Caucho laminado: Es la manera clásica de transformar el látex que se recolecta en la finca, para lo que se debe utilizar el látex sin

agregarle ningún tipo de estabilizante en el momento de la sangría, directamente en su predio.

La laminación del caucho, comprende una serie de operaciones, en pequeñas o grandes instalaciones, partiendo de la recolección del látex y de su almacenamiento en el beneficiadero, para luego realizar los procesos de:

Dilución: esta se realiza agregando agua, con el fin de llevar al caucho a una concentración constante (12 al 16%). La cantidad de agua que se agrega está estrechamente relacionada con las condiciones climáticas de la región y el estado del árbol, por lo cual en épocas secas se debe agregar mayor cantidad de agua al látex y en épocas lluviosas menor cantidad.

Filtrado: para eliminar impurezas del látex, como trozos de corteza, insectos, flores, hojas o precoágulos, hay que pasar el látex por un filtro plástico después de diluirlo.

Acidificación: la reagrupación de todas las partículas de hidrocarburos de caucho, dispersas en el látex, se consigue cambiando el medio casi neutro (pH 6.7 – 6.9) del látex y agregando ácido (fórmico, acético, cítrico) de manera que descienda el pH.

El ácido más utilizado es el ácido fórmico al 90% de concentración; y para efectos de estandarización de los métodos de coagulación, se ha estimado que utilizando 1,0cm³ (ácido fórmico al 90%), por cada dos litros de mezcla de látex y agua se obtiene un coágulo homogéneo y fácil de laminar.

Coagulación: Después de haber agregado ácido fórmico al látex con agua se debe vaciar en un recipiente o canoa para que se coagule el caucho. Los recipientes deben ser de aluminio, aunque también se usan de madera o fibra de vidrio, de 1,5 metros de largo, 0,20 metros de ancho y 0,10 metros de altura. La mezcla se debe dejar durante 24 horas en el recipiente. Luego de ese tiempo se obtendrá un coágulo esponjoso y un suero que es básicamente el agua sobrante. Los coágulos obtenidos flotan en el suero. Si se desea obtener cauchos claros, casi blancos, durante la coagulación se adiciona metabisulfito de sodio, a razón de 1,0 gramo del compuesto por cada litro de látex diluido, para impedir la oxidación.

Laminación: cuando el caucho se coagula queda con la forma del recipiente y con un contenido del 60%, y es necesario exprimirlo para eliminar el exceso de agua y obtener un material de 30% de humedad. Para eso, hay que pasar el coágulo por una máquina laminadora de 7 a 10 veces, cerrando lentamente los cilindros, hasta obtener una lámina de 1 a 2 milímetros de espesor. Terminada la operación es aconsejable lavar las láminas con el fin de eliminar los residuos de ácido que quedan en la superficie de las mismas.

Secado: después de lavadas las láminas se cuelgan en barras (guadua o bambú) o dispuestas en un carro de secado. Antes de

Llevarlas al secador, los carros se dejan a la sombra durante algunas horas para permitir que las láminas escurran. El secado al humo permite disminuir la humedad de la lámina u hoja ahumada (RubberSmokedSheet o RSS), llevando al 0,5% y de dar a la lámina sustancias antisépticas que impiden la formación de hongos, dándole un color ámbar y un olor característico. El humo proviene de la combustión de leña de diversa maderas y la más utilizada es la del Hevea.

Los cultivadores pequeños pueden fabricar su secador en forma artesanal, sin embargo estos cuelgan sus láminas a la sombra, bajo techo y con buena circulación de aire, se clasifican como (Air DriedSheet o ADS). En este caso, pueden alcanzar un contenido de humedad del 5%. Se debe tener en cuenta, que los rayos solares imprimen notables efectos deletéreos sobre las propiedades físicas del caucho, disminuyéndose las cargas de ruptura de los módulos y por tanto la calidad del caucho.

Empaque: una vez, con las láminas secas y seleccionadas por categorías, se forman fardos o pacas rectangulares utilizando un molde metálico o cajón de madera para prensarlas mecánica o manualmente. El peso de las pacas generalmente es de 33,3 kilogramos. Estas se cubren con un plástico transparente calibre 6 para protegerlas del agua, la humedad, hongos y tierra durante el almacenamiento y transporte al sitio de venta y a la fábrica, se puede marcar pudiéndose reconocer fácilmente la calidad ofrecida al mercado y su origen.

Caucho crepé o granulado: en el crepado se echan los coágulos y las cintas en una máquina llamada crepadora, la que, por medio de dos cilindros graduados que giran en sentido contrario, desgarran los coágulos y los mezcla hasta formar una lámina de 6 milímetros de espesor, bajo una lluvia de agua. Una vez crepado el caucho se prensa a temperaturas por debajo de 60 grados centígrados, con el fin de reducir el volumen de la lámina y darle una mejor presentación. Para esto se utiliza una prensa de 100 toneladas de presión, durante 30 a 60 segundos, la que forma pacas de 68x34x17 centímetros, que se recubren con plástico transparente de 3 a 10 milímetros de espesor. El crepé prensado se pone en un túnel o cuarto de secado con temperatura controlada, empezando a 45 grados centígrados y terminando en 100 grados, durante 2 a 3 horas, para obtener láminas de crepé secas.

Caucho técnicamente especificado o TRC: es el caucho que más demanda la agroindustria del caucho natural. Para obtener este caucho, se entregan en la planta de procesamiento los coágulos, cintas y cauchos secundarios, que una vez se reciben pasan por un molino de martillo o molino de cuchillas que los rompe hasta formar gránulos, que son grandes granos de caucho.

Los gránulos pasan a una serie de tanques de agua en los que se les eliminan todas las impurezas y se separan más; luego se recogen y se llevan al carro de secado que se transporta sobre rieles a un túnel

de secado a temperaturas de 90 a 100 grados centígrados. Después de secar y enfriar los gránulos en los carros se forman bloques de 34 kilogramos que se prensan para que todos tengan la misma forma y tamaño, las pacas de 68x34x17 centímetros son empacadas en plástico transparente para evitar su contacto con impurezas o suciedades.

Industrialización del caucho: Generalmente el caucho (*H. brasiliensis*) se siembra para la utilización del látex y de caucho seco en la industria, teniendo en cuenta su excelente poder de pegamento, muy apreciado en la fabricación de elementos complejos como las llantas, a su bajo calentamiento interno, lo cual hace que las piezas en caucho natural sometidas a fuertes contrastes y violencia se calienten menos, como ocurre en las llantas de los aviones, presenta una excelente resistencia a los cortes, así como un excelente poder de rozamiento, permite el estiramiento, regresando a su punto inicial sin alterarse (estiramiento) resistiendo además, el calor, teniendo como desventaja su pésimo envejecimiento.

Estas ventajas explican la razón por la cual la industria llantera utiliza las dos terceras partes del caucho natural producido en el mundo y así vemos como en los años de 1986-1989, el 59% se utiliza para la fabricación de llantas, el 76% para neumáticos y el 4.8% para vulcanización y reencauche, para un total del 71.4%.

El resto del caucho natural se utiliza en la pequeña y mediana industria, en la forma siguiente:

Artículos de caucho de alta tecnología, representados por artículos farmacéuticos como catéteres y dispositivos médicos en general, exigentes en cuanto a las condiciones de fabricación, algunas autopartes para los retenedores, las piezas de ingeniería y artículos deportivos como balones, que representan un 5% del resto de la producción del caucho.

Artículos de mediana tecnología que comprende los repuestos de caucho para automotores y maquinaria, bandas transportadoras y ciertos insumos para el calzado y puede llegar a representar el 15% del consumo adicional.

Artículos de caucho de baja tecnología, estos poseen características estandarizadas, materias primas y formulaciones claramente definidas suelas estándares para zapatos, bolsas para hielo y agua, ruedas para carretillas que constituyen el 80% de la manufactura del caucho restante.

Procesos asociados a la industrialización del caucho: contaminación ambiental, contaminación de recursos hídricos, contaminación de cuerpos receptores de agua. A pesar de los numerosos beneficios que se muestran en la modernización del mundo con el caucho natural, las consecuencias de los procesos del caucho natural tienen aún una gran cantidad de problemas debido a la altísima polución de los efluentes. El rápido crecimiento de la industria ha generado que gran cantidad de efluentes estén siendo desde estas operaciones

de procesos que estén generando una gran problema porque estas aguas residuales generan una alta demanda de oxígeno biológico y amoníaco. Sin un tratamiento adecuado, las descargas de aguas residuales del procesamiento de la industria del caucho al medio ambiente pueden causar serios y largas consecuencias.

Los mayores problemas ambientales son: alta concentración de DBO, DQO y sólidos suspendidos (SS); efluentes de ácidos, alta concentración de compuestos de amonio y nitrógeno, alto nivel de sulfato, alto nivel de olor (Hoang, y otros, 2007).

La caracterización física, química y bacteriológica del agua en Colombia

Se establece y regula: con los parámetros medidos, parámetros observados Respecto al decreto 3930 de 2010 en el Artículo 1 Objeto: el presente decreto establece las disposiciones relacionadas con los usos del recurso hídrico, el ordenamiento del recurso hídrico y los vertimientos al recurso hídrico, al suelo y a los alcantarillados. Y en el Capítulo III De los modelos simulación de la calidad del recurso Artículo 7 en su Parágrafo mientras el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, expida la Guía Nacional de la Modelación del Recurso Hídrico, las autoridades ambientales competentes podrán seguir aplicando y utilizando por lo menos los siguientes parámetros:

- DBO5: Demanda bioquímica de oxígeno a cinco (5) días.
- DQO: Demanda química de oxígeno.
- SS: Sólidos suspendidos.
- pH: Potencial del ión hidronio, H⁺
- T: Temperatura.
- OD: Oxígeno disuelto.
- Q: Caudal.
- Datos Hidrobiológicos.
- Coliformes Totales y Coliformes Fecales.

Microorganismos asociados a depuración de aguas residuales: Los fangos activados son una de las formas más eficientes y utilizadas para la descomposición de aguas residuales. Los fangos activados constituyen un ecosistema artificial donde se desarrollan y proliferan los microorganismos en condiciones controladas y limitadas. Esta situación conduce a una competencia continua entre especies, que favorece el predominio de unas sobre otras, según las condiciones ambientales prevalentes.

Una de esas condiciones es desde el punto de vista metabólico, por lo que los microorganismos pueden dividirse en dos grupos:

Uno de ellos los descomponedores, responsables de la degradación, bioquímica de los contaminantes de agua residual. En este grupo se encuentran principalmente las bacterias, los hongos y las cyanofitas incoloras.

El otro grupo es el de los consumidores, que utilizan las bacterias y otras células microbianas como sustrato. A este grupo pertenecen los protozoos fagotróficos y los metazoos microscópicos.

Alrededor del 95% de la población microbiana de los fangos activados está formada por organismos descomponedores, especialmente bacterias. Toda la biomasa es heterótrofa, a excepción de los nitrificantes que son autótrofos (Horan, 1993).

Tabla 6. Composición biótica del fango activado.

MICROFAUNA	
PROTOZOOS	Flagelados
	Grandes
	Pequeños
	Amebas
	Desnudas
	Con teca
BACTERIAS	Ciliados
	Nadadores
	Sésiles
METAZOOS	Reptadores
	Formadoras de flóculo
	Filamentosas
HONGOS	Dispersas
	Rotíferos
	Nematodos

Fuente: (Parody, 1997).

Ahora bien, como resultado de la depredación y la competencia entre especies, los fangos activados registran oscilaciones y sucesiones de sus poblaciones, hasta alcanzar un equilibrio dinámico, por el tipo de reactor y su explotación (Masdeu, 1997). La Tabla 6 resume el número de bacterias presentes normalmente en un proceso de fangos activados.

Tabla 7. Géneros bacterianos presentes en un proceso de fangos activados (Horan, 1993).

Género de bacteria	Función
Pseudomonas	Eliminación del carbohidratos, producción de fango, desnitrificación
Zooglea	Producción de fango, formación de flóculos
Bacillus	Degradación de proteínas
Arthrobacter	Degradación de carbohidratos
Microthrix	Degradación de grasa, crecimiento de filamentos
Nocardia	Crecimiento de filamentos, formación de espumas
Acinetobacter	Eliminación del fósforo
Nitrosomas	Nitrificación
Nitrobacter	Nitrificación
Achromobacter	Desnitrificación

Fuente: (Horan, 1993).

Consortios de microorganismos

Un consorcio es una asociación de dos o más procariotas viviendo en simbiosis íntima. Por ejemplo: Ciertas bacterias verdes del azufre pueden formar asociaciones estrechas con bacterias quimioorgano-trofas en las que ambos se benefician, tales asociaciones se denominan consorcios. El componente fototrófico se denomina epibionte y aparece físicamente unido al componente no fototrófico, aunque el mecanismo de unión no está claro. El término *Chlorocromatiumaggregatum* se ha utilizado para describir uno de estos consorcios; este término no tiene implicaciones taxonómicas porque se refiere a dos organismos más que a uno sólo. La razón de por qué se forman estas asociaciones no está claro; los estudios combinados de laboratorio y de campo sugieren que los epibiontes en estos consorcios se han adaptado a bajo régimen de luz y de sulfídrico y que la función de la célula central es movilizar al epibionte en la columna de agua buscando las condiciones óptimas para la fotosíntesis (Madigan, Martinko, JCK, & Jack.).

Características cualidades trabajos realizados: De acuerdo a datos observados y a la tendencia actual en el mundo son varios los países que están liderando el incremento e investigación del cultivo del caucho natural (*H. brasiliensis*), además de los impactos generados en el medio ambiente para la obtención del látex sea en forma líquida o sólida para ser entregada a las diferentes industrias (TERI - The Energy and Resources Institute, 2014) (TERI).

Entre estos países se encuentran Tailandia, Malasia e India. En éste último país se está realizando una investigación para producir biocombustible de tercera generación derivada de las microalgas consideradas a ser una alternativa viable de recursos y es entonces que en el TERI – (TheEnergy and ResourcesInstitute) en Lodhi Road, Nueva Delhi se ha tenido en cuenta el incremento de los cultivos del caucho natural, a la vez que las malas prácticas industriales hacen referenciaque para el proceso de un kilogramo de caucho se requiere de 15 a 20 L de agua se puede estimar que en la India se ha generado alrededor de 12,96 a 17,29 billones de litros de aguas residuales en el proceso de 8,645 cien mil MT (Métricas Toneladas) de caucho natural seco en el 2008 – 09. Las plantas de caucho y el subsecuente proceso en el noreste de la India han sido considerados un paquete de viabilidad económica para la perspectiva de cultivadores de alrededor de 4,5 hectáreas e incluso cultivadores más pequeños y con menos hectáreas. Los conocedores del grupo que procesan el caucho para RSS (RubberSmokedSheets) u hoja ahumada o caucho en RPC (RubberProcessingChemical) están incrementando técnicas para disminuir el impacto ambiental causado por las aguas residuales. Detrás de las descargas de este RPC que contiene alta carga de nutrientes de nitrógeno y fosforo al lado estarían algunos tratamientos para

el medio ambiente. Igualmente consideran imperativo reducir los nutrientes de la carga de las aguas residuales a través de microorganismos fotosintéticos. Se han realizado trabajos preliminares en aguas residuales que podrían ser utilizados para reducir trazas de nutrientes, mediante el uso de microalgas en un proceso a realizar. La biomasa algal se usa en la extracción del aceite de gran utilidad en la producción de biodiesel, la biomasa remanente podría ser usada para la producción de bioetanol a través de la fermentación.

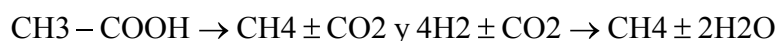
Otro de los trabajos que está realizando (TERI) es el uso de biopelículas fototróficas para el reciclaje de aguas residuales para el uso sostenible del agua en la coagulación del látex del caucho, teniendo en cuenta que el proceso de una tonelada de caucho seco genera 25 metros cúbicos de aguas residuales en el noreste de la India ha generado 1.251 millones de metros cúbicos de aguas residuales para el procesamiento de 50,040 toneladas métricas de caucho natural seco en el año 2012-2013. Esta descarga de aguas residuales de la coagulación del caucho tiene un alto contenido de nutrientes tales como nitrógeno y fósforo que generan serios problemas al medio ambiente de la misma manera que es imperativo reducir los niveles de nutrientes de las aguas residuales a través de la inmovilización de los microbios fotosintéticos como una película antes realizada. La actividad fotosintética y las películas fototróficas disminuyen el pH y la producción de oxígeno que puede facilitar la nitrificación bacteriana y el consumo de carbono orgánico. Se anticipa que las biopelículas fototróficas podrían ser una de las mejores opciones para recuperar nutrientes de las descargas de la coagulación del látex.

Reactores aerobios: en general, el agua no industrial puede ser eficientemente tratada empleando un proceso secundario aeróbico. Múltiples tipos de procesos de composición aeróbica se usan en el tratamiento de aguas residuales pero los más comunes son el filtro trampa y el fango activado. Un filtro trampa es un lecho de rocas aplastadas, de alrededor de 2 metros de ancho, en cuya parte superior se añade el agua residual. El líquido pasa lentamente a través del lecho y la materia orgánica se adhiere a las rocas, en cuya superficie tiene lugar el crecimiento microbiano. La completa mineralización de la sustancia orgánica hasta dióxido de carbono, amoníaco, nitrato, sulfato y fosfato tiene lugar en el biofilm microbiano que se ha formado en la superficie de las rocas. El tratamiento más común de este tipo es el fango activado. El agua que va a ser tratada es mezclada y aireada en un gran tanque. Las bacterias formadoras de limo, donde se incluyen entre otras a Zoogloearamifera crecen y forman flóculos (grandes masas de agregados), siendo estos flóculos los sustratos para el ataque de protozoos y otros pequeños animales. Ocasionalmente también se encuentran hongos y bacterias filamentosas. El proceso básico de oxidación es similar al filtro trampa. El afluente que contiene los

flóculos es bombeado a un tanque de mantenimiento o clarificador donde los flóculos se depositan. Algunos de los flóculos (llamados fango activado) son devueltos al aireador donde se emplean como inóculo, y el resto es enviado al digestor anóxico de fango o es retirado, secado y quemado o usado como fertilizante.

El agua residual normalmente se mantiene, entre 5 y 10 horas, en el tanque de fango, tiempo insuficiente para la completa oxidación de la materia orgánica. No obstante, durante ese tiempo la mayoría de la materia orgánica soluble es absorbida en los flóculos e incorporada en las células microbianas. La DBO del líquido efluente es considerablemente reducida (más del 95%) gracias a este proceso, con la mayoría de la DBO depositada ahora en los flóculos y, por tanto, se consigue la deseada reducción de la DBO tiene lugar si los flóculos son entonces llevados al digestor anóxico de fango.

Reactores anaerobios: El tratamiento secundario anaeróbico de las aguas residuales recoge una serie de reacciones digestivas y fermentativas llevadas a cabo por bacterias y es empleado generalmente para tratar aguas con gran contenido en materias orgánicas (y por tanto, con DBO muy alta), tales como aguas provenientes de fábricas de fibras, celulosa, alimento o leche. La degradación anóxica se lleva a cabo en grandes tanques cerrados llamados digestores de fangos o biorreactores, y requiere la cooperación de muchos tipos diferentes de microorganismos. A través de la acción de los microorganismos anóxicos residentes, los componentes macromoleculares son primero digeridos por polisacaridas, proteasas, y lipasas rindiendo componentes solubles. Estos componentes solubles son entonces fermentados produciendo una mezcla de ácidos grasos, H_2 y CO_2 ; los ácidos grasos son después fermentados a acetato, CO_2 y H_2 . Estos productos son usados como sustratos por bacterias metanogénicas, que son capaces de llevar a cabo la reacción:



Así pues, los principales productos del tratamiento anóxico son CH_4 (metano) y CO_2 . El metano puede ser recogido y quemado, o usado como combustible para calentar y abastecer de energía la planta de procesamiento.

Características, bondades, desventajas. Ahora bien, aunque se continua discutiendo cuales son las bondades y las desventajas de cada uno de los tipos de reactores lo mejor es trabajarlos ambos como suplemento los unos de los otros.

Características de la biomasa

la búsqueda de nuevas materias primas para su empleo en la producción de combustibles es una preocupación de la sociedad actual. En este sentido, el uso de microalgas ha despertado gran interés en

los últimos años debido, principalmente, a su plasticidad metabólica y a su elevada velocidad de crecimiento (Spolaore *et al.*, 2006). Así, estos microorganismos se utilizan en industrias especializadas como la de producción de pigmentos de alto valor agregado (Pulzet *a.l.*, 2004), y se plantea su uso para la obtención de biocombustibles (Chisti, 2007). Actualmente el mayor interés se centra en el campo energético, principalmente en la producción de biodiesel. No, obstante, las microalgas poseen otros compuestos como las proteínas, en proporciones suficientes para despertar interés respecto a su valorización para producir suplementos alimentarios (Iwamoto, 2003), y productos beneficiosos para la salud o biofertilizantes (Ördöget *al.*, 2004). Por otra parte, los carbohidratos, pueden utilizarse como aditivo alimentario, como compuestos con actividad inmunológica (Barrow y Shihidi, 2008), o pueden transformarse en bioetanol mediante fermentación alcohólica.

“El problema fundamental que presenta la producción de estos compuestos a partir de biomasa microalgal es que actualmente los procesos no son económicamente viables; los costos de producción son aún elevados, debido al gran requerimiento energético que conllevan el cultivo, cosechado y recuperación de la biomasa, en comparación con el bajo precio de venta de algunos de estos productos, como el biodiesel o bioetanol, (García, 2012).

La fracción lipídica de la biomasa de microalgas es habitualmente menor que las proteínas y carbohidratos, pero posee moléculas bioactivas relevantes tales como: pigmentos, esteroles, y ácidos grasos poliinsaturados de gran interés para el hombre. No obstante en este momento despierta mayor interés el desarrollo de procedimientos que permitan ser llevados a cabo a gran escala, de tal forma que la producción pueda ser dirigida a la obtención de biocombustibles” (García, 2012).

Modelos de depuración de aguas residuales en la industria del caucho en Colombia se realiza mediante los métodos tradicionales de aguas residuales como los tratamientos físicos (tratamiento primario) cribado y floculación de los materiales más ligeros luego una lechada de cal en un tanque de neutralización para retirar efluentes ácidos luego los tratamientos biológicos (tratamiento secundario) proceso anaeróbico y aeróbico y obtener agua tratada de acuerdo a las normas vigentes (Ministerio Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial., 2010).

Usos biomasa en producción de biocombustibles: “La biomasa, es el término genérico que se refiere al conjunto de la materia biológicamente renovable (árboles, cultivos), de la que se puede obtener biocombustibles como el biodiesel, obtenido de aceites de planta o algas, y el bioetanol. Actualmente hay un gran interés por

la producción de grandes cantidades de este como alternativa a los combustibles fósiles en todo el mundo.

Una alternativa es el uso de biocombustibles, definidos como combustibles líquidos o gaseosos potencialmente renovables, que pueden utilizarse para la generación de electricidad, calor y energéticos (Balatet *et al.*, 2008). Los biocombustibles como: bioetanol, butanol, biodiesel, hidrógeno y metano, son sintetizados a partir de fuentes biológicas (Stephanolpuluset *et al.*, 2008).

Particularmente, el biodiesel es una interesante alternativa para cubrir parte de la demanda energética de combustibles derivados de petróleo destinados al transporte (Chisti, 2011). El biodiesel es un combustible producido principalmente de aceites de plantas oleaginosas, cuya disponibilidad es incapaz de reemplazar el mercado de diesel (Timilsina y Mevel., 2010); además de no ser sustentable por competir por alimento humano y suelos cultivables (Amaro *et al.*, 2011; Demirbas y Demirbas, 2010).

El uso de microalgas para la producción de biodiesel ha surgido como una opción promisorio, debido a que se presentan mayor eficiencia fotosintética, son más eficaces en la asimilación de CO₂ y otros nutrientes con respecto a las plantas, acumulan entre 20 y 80% de triglicéridos (Chisti, 2011), no requieren tierras cultivables, demandan menor consumo de agua renovable y pueden cultivarse en agua salobre (Amaro *et al.*, 2011; Chisti, 2007; Demirbas, 2009).

La composición del medio de cultivo y las condiciones de crecimiento de microalgas del medio de cultivo y las condiciones de crecimiento de microalgas tienen un efecto importante en el rendimiento de biomasa y en el contenido de lípidos (Sims y Christenson, 2011). Se ha demostrado que la limitación de nitrógeno y fósforo, incrementan el contenido lipídico en microalgas (Beeret *et al.*, 2009; Scott *et al.*, 2010).

Para su cultivo existen dos principales tipos de fotobiorreactores: sistemas cerrados y sistemas abiertos tipo raceway (Sims y Christenson, 2011). Los sistemas abiertos presentan menor productividad comparados con los sistemas cerrados (Chisti, 2011). Sin embargo, su operación, limpieza, construcción y escalabilidad son aspectos más económicos a comparación de los sistemas cerrados (Ugwuet *et al.*, 2008); por lo que su desarrollo representaría una opción promisorio en la optimización de costos de producción para un bioproceso de biodiesel a nivel industrial.

México como Colombia y otros países Latinoamericanos actualmente son exportadores de petróleo, pero las reservas probadas y la calidad del petróleo están disminuyendo. Actualmente es imperante que se desarrollen planes para la implementación y desarrollo de tecnologías para la obtención de energías renovables. Varias de esas tecnologías ya llevan un gran avance en el desarrollo tecnológico (eó-

licas, solar, mareomotriz), así como la obtención de biocombustibles a partir de la caña y granos. En el caso de los biocombustibles, se deben desarrollar tecnologías que sean sustentables, es decir, que respondan a las necesidades y realidades de los países Latinoamericanos.

Los biocombustibles a partir de algas son tecnologías que permitirán dar respuesta a las necesidades de combustibles líquidos de forma sustentable y contribuir a la seguridad energética (producción de biocombustibles a partir de microalgas" (Fernández, 2012).

El aprovechamiento de la biomasa de microalgas depende en gran medida de su composición y estado. Los componentes principales de la biomasa de microalgas son habitualmente proteínas (30-60%), carbohidratos (20-30%), lípidos (10-30%) y cenizas (5-10%) (Reboloso-Fuentes *et al.*, 2000, 2001). Estos porcentajes varían en función de la especie y condiciones de cultivo. La producción a elevadas velocidades de crecimiento favorece el aumento del contenido en proteínas y reduce el contenido en lípidos, mientras que a baja velocidad de crecimiento el comportamiento es opuesto. Otros factores como la composición del medio, la temperatura o la radiación solar a la que están expuestas también alteran dicha composición (Acién *et al.*, 1998). Valorización de biomasa de microalgas: aprovechamiento de proteínas, carbohidratos y lípidos (García, 2012).

En tanto, que el tratamiento para mitigar el cambio generado de las características físicas y químicas de las aguas residuales puede ser llevado a cabo a partir del tratamiento con bacterias a partir de la biorremediación que es entendido como el proceso utilizado por el hombre para detoxificar variados contaminantes en los diferentes ámbitos -mares, lagos, ríos, y suelos- usando de forma estratégica microorganismos, plantas o enzimas de estos. Esta técnica es utilizada para disminuir la contaminación por los hidrocarburos de petróleo y sus derivados, metales pesados e insecticidas; además se usa para el tratamiento de aguas domésticas e industriales, aguas procesadas y de consumo humano, aire, gases de desecho (Vargas, Cuellar, & Dussan., 2004).

Además que como las aguas del proceso de coagulación del caucho son vertidas a las diferentes corrientes es necesario caracterizar, identificar y determinar el potencial del mejor tratamiento para mitigar esos impactos ocasionados a la fauna y flora de esos drenajes receptores que incluso proveen de agua a otras fuentes hídricas.

Afortunadamente, la biotecnología ha permitido el desarrollo de diversas estrategias que pueden ser utilizadas con el fin de restaurar el agua y la calidad ambiental, de acuerdo con las necesidades y dimensiones del problema a solucionar.

Bibliografía

- Confederación Colombiana del Caucho. (2013).
- Connor, R. F. (2006). Evolution of water use, World Water Development Report. *Organización de las Naciones Unidas*.
- Fernández, M. M. (2012). Producción de Biocombustibles a partir de Microalgas. *Sociedad, Cultura y Desarrollo Sustentable*.
- García, J. G. (2012). Valorización de biomasa de microalgas: Aprovechamiento de proteínas, carbohidratos y lípidos. *Revista Latinoamericana Biotecnología Algal*.
- Hoang, T., Dang, T., Nguyen, M., Thach, M., Imastini, D., Subarana, S., y otros. (2007). Waste abatement and management in natural rubber processing sector. *Asian Institute of Technology - School of Environment, Resources and Development*.
- Humberto, T. A. (1999). El cultivo del caucho en la Amazonia. 124.
- INWEH - ONU. (2015). Water in the World We Want.
- IRSG - International Rubber Study Group. (2013).
- La Patria. (2013). Se estira la producción del caucho.
- Madigan, M., Martinko, J., JCK, & Jack., P. (s.f.). Biología de los microorganismos. *PEARSON Prentice hall*, 430.
- Ministerio Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2010). Guía Ambiental para la Producción de Caucho Natural. *Política Nacional de Producción Consumo Sostenible*, 46.
- Pérez, O. M. (2015). Las modificaciones sociourbanas y El problema del desarrollo espacial". *RIISPSURA - IIA - UNAM*.
- Restrepo A.P., A. R. (2006). La electrólisis retos y oportunidades en el tratamiento de aguas. *Producción más limpia*, 59-77.
- TERI - The Energy and Resources Institute. (2014). Biodegradation potential of some bacterial strains isolated from sewage water. *urp journals*.
- Torres, C. H. (1999). El cultivo del caucho en la Amazonia. 124.
- Torres, C. H. (2011). Expanding el caucho. *PROGRAMA ADAM - USAID*, 15.
- United Nations World Water Development. (2014).
- Vargas, P., Cuellar, R., & Dussan., J. (2004). Biorremediación de residuos de petróleo. *HIPOTESIS APUNTES CIENTIFICOS UNIANDINOS Número 4*.
- Vimalamma T., R. N. (2009). Electrochemical treatment of skim serum effluent from natural rubber latex centrifuging units. *Journal of Hazardous Materials*, 167.
- World Conservation Union. (2006).