

PROYECTO FIN DE MASTER.

***“Mejorando la calidad del agua para consumo humano
en la comunidad de Sixaola, Costa Rica”.***



Jose Quirós Vega

Costa Rica, Centro América

Setiembre 2012

AGRADECIMIENTO.

Este estudio conto con el apoyo de varios colegas e entidades cuyos nombres no aparecen en la portada, esta es la oportunidad para extender mi más profundo agradecimiento a todos y cada uno de ellos.

Dirijo mi agradecimiento a la master Karla Solano y al master Clemens Reupert del Laboratorio de Análisis de Residuos de Plaguicidas (LAREP) del Instituto Regional de Estudios de Sustancias Tóxicas (IRET) de la Universidad Nacional quienes apoyaron en los análisis de laboratorio y proporcionando sugerencias para el mejoramiento del estudio.

También agradezco al señor Ignacio “Nacho” Medina, vecino de Sixaola quien apoyo en la recolección del agua de lluvia que fue utilizada en las pruebas de los filtros.

Finalmente, agradezco el apoyo financiero de la Universidad de Sevilla, Grupo TAR de la Universidad de Sevilla, al Consejo Nacional para Investigaciones Científicas y Tecnológicas (CONICIT) de Costa Rica y a la Universidad Nacional de Costa Rica, quienes, de una u otra manera, aportaron recursos para la parte académica del master y de la presente investigación.

CONTENIDO

RESUMEN	3
1. INTRODUCCIÓN	4
1.1. Ubicación geográfica	4
2. JUSTIFICACIÓN	6
2.1. Impacto en el agua por plaguicidas	9
2.2. El carbón activo	13
2.3. Tipos de activación	17
2.3.1. Activación térmica	17
2.3.2. Activación química	18
3. OBJETIVOS	19
3.1. Objetivo general	19
3.2. Objetivos específicos	19
4. METODOLOGÍA	20
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	24
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	32
7. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA	34
8. REGISTRO FOTOGRÁFICO	36
9. ANEXOS	42

Mejorando la calidad del agua para consumo humano en la comunidad de Sixaola, Costa Rica.

RESUMEN

La comunidad de Sixaola se localiza en el Valle del mismo nombre, en las márgenes del Río Sixaola, su ubicación geográfica convierten a esta comunidad en un sitio propicio a ser afectado por desbordamientos periódicos del río Sixaola con las consecuencias que esto conlleva, alterando la dinámica de los pobladores y afectándolos desde un punto de vista económico y de salud. A parte de los desastres naturales la comunidad también se afectada por la actividad bananera que se lleva a cabo cerca de ella en el territorio costarricense y panameño.

Tanto las inundaciones como la actividad proactiva local inciden en la calidad de las fuentes de agua de donde se proveen los pobladores para su consumo: El agua de lluvia es una de esas fuentes de aprovisionamiento. Las prácticas utilizadas en la aplicación de plaguicidas en las bananeras pueden generar contaminación del agua de lluvia recolectada.

El uso de carbón activo ha demostrado ser eficiente en el tratamiento del agua para mejorar su calidad, el acceso a este tipo de materiales por parte de los pobladores de comunidades rurales es difícil y de alto costo. El Grupo TAR de la Universidad de Sevilla han desarrollado una técnica para obtener carbón activo a partir del carbón utilizado en parrilladas usando vinagre blanco como activante en presencia de calor, a este carbón lo han denominado “**carbón activo posible**” por su bajo costo y fácil de preparar en la casa.

Utilizando las propiedades de adsorción del carbón activo posible, en esta investigación fue utilizado para construir un filtro de carbón activo posible (FCAP) para retener plaguicidas (bitertanol, clorotalonil, propiconazol, difenoconazol, clorpirifos, etoprofos, fenamifos y terbufos) presentes en una muestra preparada de agua de lluvia con concentraciones que iban entre los 8-10 $\mu\text{gr/L}$.

El FCAP demostró ser eficiente en la retención de los plaguicidas utilizados, no aparecieron rastros de ellos en los análisis cromatográficos realizados. Las pruebas de

la vida útil del FCAP probo poder filtrar cinco litros de agua antes que apareciera algún rastro de plaguicida presente. Sin embargo, los datos también revelaron la presencia de otras sustancias colaterales (plastificadores, colorantes, saborizantes, entre otros) de las que se desconoce su procedencia.

El trabajo realizado muestra el potencial del carbón activo posible como un material que se puede utilizar en el tratamiento de las aguas contaminadas con plaguicidas, pero a la vez pone como reto investigar más sobre el tema por los datos obtenidos.

Palabras claves:**Carbón activo, plaguicidas, agua de lluvia, aguas contaminadas, filtro.****1. INTRODUCCION**

El acceso al agua potable tiene relación directa con la salud de la población y del ambiente en general. Una alta proporción de amenazas a la salud son las infecciones y otros problemas que se transmiten mediante alimentos o agua contaminada.

Uno de los fines de este trabajo es implementar tecnologías alternativas de bajo costo, bajo el principio de Ingeniería del Agua Posible (IAP), mediante el desarrollo de un sistema de filtración de agua de lluvia que permita el acceso de agua limpia a la población de Sixaola, comunidad localizada en el caribe sur de Costa Rica, en el cantón de Talamanca.

1.1. Ubicación geográfica

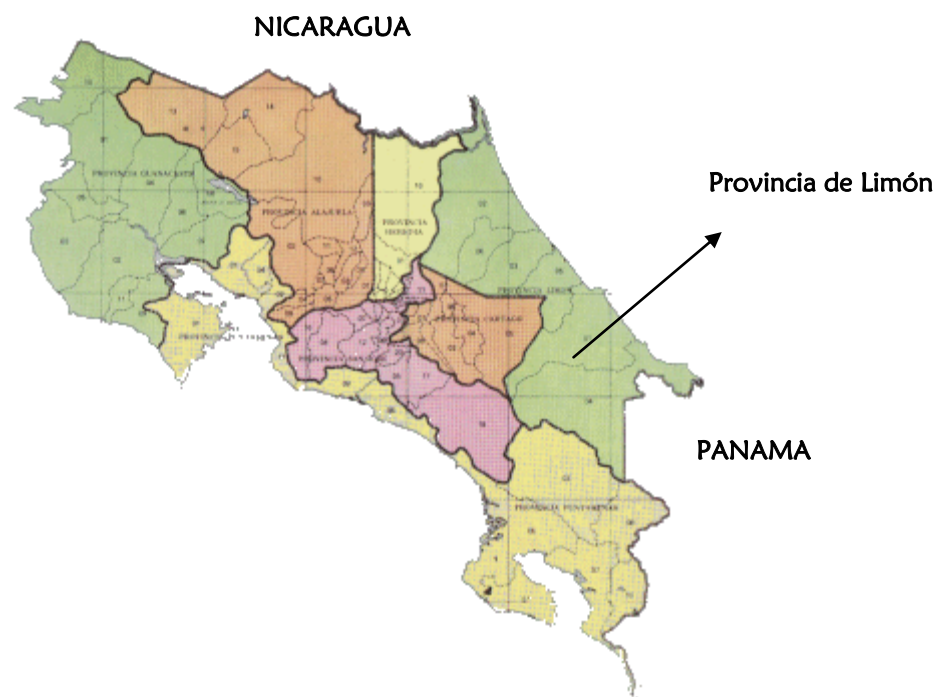
Costa Rica es un país de América Central que por su cercanía al Ecuador es considerado un país tropical con una temperatura promedio anual entre 21 y 27 grados Celsius. Según datos del Instituto Meteorológico Nacional de Costa Rica (IMN) cuenta una precipitación promedio anual de 2700 mm (2009).

El país se divide políticamente en 7 provincias, cada una de ellas está compuesta por cantones. La cuenca hidrográfica del río Sixaola, se encuentra en el cantón de Talamanca, provincia de Limón.

Según el Plan Cantonal de Desarrollo elaborado para el período 2003 a 2013, Talamanca es el cuarto Cantón de la Provincia de Limón; cuenta con una superficie de 2.809,93 km², la Cordillera de Talamanca es la más alta y extensa de Costa Rica. La densidad promedio es de 9,20 habitantes por km², el Cantón está dividido en cuatro

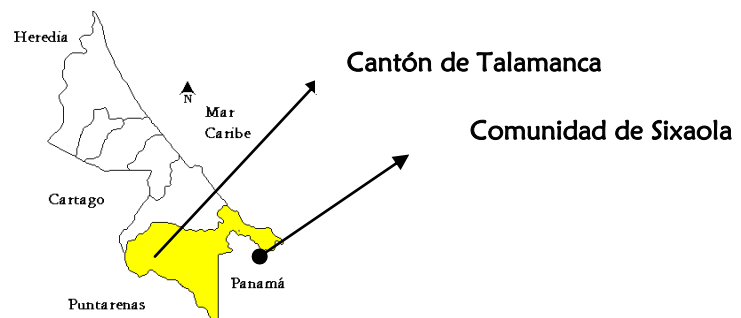
distritos (Bratsi, Sixaola, Cahuita y Telire) con fuertes diferencias entre los distritos, así por ejemplo, el distrito de Telire tiene una densidad de 3,45 habitantes por km², mientras que la de Sixaola es de 73,04 (Municipalidad de Talamanca, 2010).

Figura 1. Mapa de Costa Rica



Fuente: <http://www.mapasdecostarica.info/guiaroja/generales/divadmin/divadm.htm>

Figura 2. Mapa de la Provincia de Limón



Fuente: <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/c9/Talamanca.png>

La cuenca hidrográfica del río Sixaola, ubicada al sureste de Costa Rica se encuentra en zona fronteriza con Panamá, esta condición la convierte en una cuenca binacional.

2. JUSTIFICACION

Las poblaciones de la cuenca hidrográfica del río Sixaola, refleja un impacto negativo tanto a nivel de salud humana como a nivel de disponibilidad y calidad del recurso hídrico. El cantón de Talamanca, donde se ubica la comunidad de Sixaola, posee el Índice de Desarrollo Humano más bajo de todo el país (0.59); ocupa la posición número 81 del Índice de Rezago Social, una de las posiciones más extremas (Municipalidad de Talamanca, 2010).

La comunidad de Sixaola se localiza en el Valle del mismo nombre, en las márgenes del Río Sixaola, su ubicación geográfica convierten a esta comunidad en un sitio propicio a ser afectado por desbordamientos periódicos del río con las consecuencias que esto conlleva, alterando la dinámica de los pobladores y afectándolos desde un punto de vista económico y de salud. En general, hay dos avenidas máximas (llenas) anuales que ocurren, la más grande cerca del primero de diciembre (más o menos quince días) y una más pequeña en los dos primeros meses del año. Es usual que la llena de diciembre transforme la zona de Sixaola en un verdadero delta del río del mismo nombre, y la comunidad es inundada en muchos sectores y su carretera cortada en varios puntos por los cauces que se abren. El terremoto de 1991 levantó la costa en un metro, estudios posteriores del fondo del río demostraron que en algunos sitios la pendiente es inversa a la corriente. Esto ha dificultado más la evacuación de las aguas del río y facilitado la destrucción reincidente de la infraestructura existente, sobre todo de carreteras.

Sixaola es la cabecera del distrito del mismo nombre. Según un informe de la Universidad Estatal a Distancia (UNED, 2010), se estima que la población con que cuenta este distrito en el 2010 es de 12 637 habitantes.

Foto 1. Tanques de abastecimiento de agua extraída de pozos.



Foto Jose Quirós Vega, 2011.

La carencia de agua potable y saneamiento en una comunidad cualquiera favorecen la aparición de enfermedades de transmisión hídricas, las cuales repuntan en la época lluviosa, agudizándose con la aparición de eventos naturales como las inundaciones. Según datos suministrados en el documento de Análisis de la Situación Integral de la Salud (ASIS) del 2008 algunas de las enfermedades detectadas en la población son causadas por la mala calidad del agua con que se abastecen.

Los pobladores de Sixaola cuentan con distintas fuentes de abastecimiento de agua para su consumo, la principal de ellas es el acueducto administrado por el AyA. Este acueducto suministra el agua extraída de un pozo profundo ubicado en el sitio denominado Finca Costa Rica. Esta agua no es del agrado de los pobladores debido al olor y sabor que presenta a causa de los niveles de hierro que contiene la misma. El agua del acueducto no es utilizada para el consumo humano y pocas veces es usada para el lavado de la ropa porque la mancha. El mayor uso dado es para los inodoros, el lavado de trastos y para bañarse.

Foto 2. Tanques de distribución de agua potable colocados en Sixaola.



Foto Claudine Sierra, 2010.

El AyA ha instalado en diferentes puntos de la comunidad tanques plásticos de unos 2500 litros para abastecer de agua potable a la población. El AyA carga estos tanques periódicamente con agua utilizando camiones cisternas que trasvasan el líquido, para coleccionar el agua las personas tienen que desplazarse hasta el tanque más cercano para llevar agua a sus hogares. Este sistema tiene sus riesgos ya que los recipientes se encuentran en áreas abiertas sin vigilancia ni protección, lo que los hace susceptibles a un mal manipuleo. En caso de una inundación (llena) este sistema colapsa por encontrarse a nivel del suelo.

El aprovisionamiento de agua embotellada por la población (marcas comerciales) es otra de las opciones disponibles, sin embargo es poca la gente que se inclinan por esta debido a su costo económico, esto hace que el uso de este tipo de agua sea restringido, su uso se extiende para tomar o para cocinar. En las inundaciones, el agua embotellada se convierte en la opción más viable para la población afectada.

En la comunidad de Sixaola se tiene identificados 21 pozos particulares (Sierra, 2011), la percepción de la calidad del agua del pozo varía según el propietario y dependerá de su ubicación, época del año y mantenimiento que le presta el encargado. El agua de estos pozos se usa para consumo humano, mientras que otras personas sólo la utilizan para el lavado de ropa y trastos. Durante las llenas la población no tiene acceso al agua de pozos ya que quedan cubiertos (Sierra 2011).

En esta zona los niveles freáticos se encuentran a poca profundidad (cerca de un metro) lo que potencializa que estos sistemas se contaminen fácilmente. En las inundaciones los pozos quedan completamente cubierto por las aguas dejándolos fuera de funcionamiento y con una alta carga de contaminaste que luego tiene que ser limpiados.

Foto 3. Sistemas casera de captación del agua de lluvia en Sixaola.



Foto Claudine Sierra, 2010.

La proximidad del río Sixaola al poblado lo convierte en una posibilidad de suministro de agua para el consumo de la gente, sin embargo, por los niveles de contaminación que presenta el mismo no es utilizado, salvo en casos de emergencia en que las otras fuentes no se encuentren al alcance, pero en estos casos el agua del río es utilizada para bañarse o para lavar la ropa.

La lluvia es la fuente de aprovisionamiento de agua para consumo que la población de Sixaola y sus alrededores utiliza, por las condiciones climáticas el agua de lluvia es muy regular, además de ser una fuente de muy poca contaminación que puede ser utilizada tanto para beber como para otras necesidades de las personas (limpieza, lavado e higiene personal). Sin embargo las malas prácticas utilizadas para captar y almacenar este tipo de agua pone en peligro la calidad de la misma, la presencia de techos que no

se limpian frecuentemente, láminas metálicas oxidadas, canoas sin ningún tipo de mantenimiento y el uso de textiles asépticos para filtrar y/o cubrir el agua captada son algunas de las prácticas más comunes con que se encuentra en la zona.

Otra amenaza de contaminación de las fuentes de agua es la presencia de plaguicidas en el medio. Esta fuente de contaminación es generada por la actividad bananera que se desarrolla en la zona. En los cultivos de banano se utiliza la fumigación aérea para cubrir dichos plantíos. Si bien se toman previsiones como el alejar las plantaciones de los focos poblacionales o crear barreras naturales para detener el efecto de la deriva en el momento de la fumigación, se presentan condiciones climáticas (viento) o antrópicas (descarga de agroquímicos sobre los poblados) que potencializan la contaminación de las distintas fuentes de agua con que se abastece la comunidad.

Durante las inundaciones la captación de agua de lluvia es la fuente de suministro más viable con que cuenta la gente de la zona, sin embargo las probabilidades de que se encuentren contaminadas por las prácticas de fumigación utilizadas por las bananeras, esta situación genera una condición de riesgo para la salud de la población que utiliza o consume dicha agua.

2.1. Impacto en el agua por plaguicidas.

Según informes de la FAO la agricultura es el mayor usuario del agua dulce a escala mundial y principal factor de degradación de los recursos hídricos superficiales y subterráneos como consecuencia de la erosión y de la escorrentía química, justifica la preocupación existente por sus repercusiones mundiales en la calidad del agua a escala mundial. Otra actividad afín, el sector agroalimentaria, es también una fuente significativa de contaminación orgánica en la mayor parte de los países. Las principales dimensiones ambientales y de salud pública del problema de la calidad del agua dulce en el mundo son los siguientes:

- Cinco millones de defunciones anuales como consecuencia de enfermedades transmitidas por el agua.
- Disfunción del ecosistema y pérdida de biodiversidad.
- Contaminación de los ecosistemas marinos debido a actividades realizadas en tierra.

- Contaminación de los recursos de aguas subterráneas.
- Contaminación mundial por contaminantes orgánicos persistentes.

Uno de los principios establecidos por la OMS es “el agua es esencial para la vida y todos deben disponer de un abastecimiento satisfactorio (suficiente, salubre y accesible). La mejora del acceso al agua salubre puede proporcionar beneficios tangibles para la salud. Debe realizarse el máximo esfuerzo para lograr que la salubridad del agua para beber sea la mayor posible” (OMS, 2004).

El término "plaguicida" es una palabra compuesta que comprende todos los productos químicos utilizados para destruir las plagas o controlarlas. En la agricultura, se utilizan herbicidas, insecticidas, fungicidas, nematocidas y rodenticidas (FAO, 1997).

En lugares donde se practica el monocultivo intensivo, los plaguicidas constituyen el método habitual de lucha contra las plagas. Por desgracia, los beneficios aportados por la química han ido acompañados de una serie de perjuicios, algunos de ellos tan graves que ahora representan una amenaza para la supervivencia a largo plazo de importantes ecosistemas. Además, los plaguicidas pueden tener importantes consecuencias en la salud humana y el ambiente (Lacher & Goldstein, 1997; Dinham & Malik, 2003; Maroni et al., 2006).

Se calcula que actualmente se usan más de 3500 plaguicidas orgánicos. Todos ellos pueden contaminar el agua. La contaminación del agua por plaguicidas se produce al ser arrastrados por escorrentía de los campos de cultivo hasta las aguas superficiales y mares donde se introducen en las cadenas alimenticias. De igual manera pueden ser filtradas por las capas del suelo hasta llegar a las aguas subterráneas.

Según la FAO (2012), los efectos de los plaguicidas en la calidad del agua están asociados con los siguientes factores:

- Ingrediente activo en la formulación de los plaguicidas.
- Contaminantes que existen como impurezas en el ingrediente activo.
- Aditivos que se mezclan con el ingrediente activo (humectantes, diluyentes o solventes, aprestos, adhesivos, soluciones reguladoras, conservantes y emulsionantes).
- Producto degradado que se forma durante la degradación química, microbiana o fotoquímica del ingrediente activo.

Los efectos en la salud humana son provocados por los siguientes medios:

* Contacto a través de la piel:	manipulación de productos plaguicidas
* Inhalación:	respiración de polvo o pulverizaciones
* Ingestión:	plaguicidas consumidos como contaminantes en los alimentos o en el agua.

Los datos derivados de las actividades de supervisión de los plaguicidas son por lo general insuficientes en gran parte del mundo, en particular en los países en desarrollo. Los plaguicidas fundamentales se incluyen en los planes de supervisión de la mayor parte de los países occidentales, pero el costo del análisis y la necesidad de tomar muestras en momento críticos del año (relacionados con los períodos de utilización de los plaguicidas) impiden muchas veces el establecimiento de una base de datos completa. Muchos países en desarrollo tienen dificultades para realizar análisis químicos orgánicos, debido a problemas asociados a la falta de instalaciones, impureza de los reactivos y dificultades financieras (FAO, 2012). En contraposición, países desarrollados como los Estados Unidos poseen normas claras y estrictas para el control de plaguicidas en las aguas destinadas para el consumo humano (EPA, 2006)

La FAO señala los siguientes problemas de gestión de los plaguicidas en los países en desarrollo:

- Insuficiencia de la legislación y escasa aplicación de los reglamentos sobre plaguicidas, en particular los relativos a la importación, utilización y eliminación.
- Donaciones de plaguicidas, que alientan una utilización ineficiente y el abandono de esos mismos plaguicidas de fecha más antigua.
- Acumulación de plaguicidas, especialmente en países con gobiernos inestables, lo que lleva al abandono de esas reservas en casos de insurrección y guerra civil. Se han dado casos en que estas situaciones han dado lugar a una grave contaminación de las aguas subterráneas y a crisis de salud pública debido a la descarga de plaguicidas por personal civil no capacitado.

- El almacenamiento y manipulación es un problema grave, en particular la filtración de barriles en mal estado y la descarga deliberada de las mezclas de plaguicidas excedentes en los cursos de agua una vez finalizada la aplicación.
- La destrucción de los antiguos almacenamientos de plaguicidas (debidas al deterioro del ingrediente activo) es económicamente prohibitiva (se estima en unos 5 000 dólares estadounidenses por tonelada), sobre todo si se tiene en cuenta que hay que transportar el material a un país desarrollado para su destrucción. Por consiguiente, los barriles antiguos se deterioran y se producen filtraciones en el agua superficial o subterránea o se opta por un sistema de vertido del material.
- Falta de capacitación de los usuarios en lo que se refiere a la manipulación y aplicación de los plaguicidas, lo que da lugar a la aplicación indebida de éstos, con consecuencias negativas para el ambiente y la salud pública.
- Utilización de plaguicidas con fines inadecuados, por ejemplo, para deshacerse de la morralla en las actividades de pesca.
- Utilización de antiguos tanques de plaguicidas para almacenar agua potable, para cocinar, etc.

Según datos del World Resources Institute (2011) en el año 2000 Costa Rica ocupó el segundo lugar del mundo en el uso de plaguicidas, se reportó un promedio de 52 Kg/ha, y cuarto a nivel mundial por la aplicación de fertilizantes con un promedio de 383 Kg/ha. El uso de agroquímicos en la agricultura extensiva es la forma segura de poder obtener una alta producción asegurándose la recuperación de la inversión y poder seguir haciendo frente el mantenimiento de la mano de obra que demanda el cultivo, si embargo, esta práctica extrema genera un impacto sobre el recurso hídrico degradándolo.

En las tierras agrícolas del Valle del Sixaola se produce un 52% de plátano, 90% del banano orgánico y 6% del banano comercial producido en Costa Rica (Municipalidad de Talamanca, 2010), estos cultivos han impactado en la economía y el ambiente de esta región de Costa Rica. La actividad bananera desarrollada en el Valle de Sixaola impacta fuertemente sobre las aguas superficiales, la aplicación de agroquímicos por vía aérea (avioneta o helicóptero) hace que parte de las sustancias aplicadas al plantío de banano caigan sobre canales, quebradas o ríos contaminándolos. En ocasiones es frecuente ver como estos químicos también son arrastrados por el viento hasta las áreas residenciales depositándose en los techos de las casas, estos techos servirán de

recolectores de agua de lluvia que es utilizada en los hogares como fuente alterna para sus necesidades.

Existe mucha información respecto a la contaminación de las fuentes de agua superficial y subterránea producidas por plaguicidas, pero es poca la información que hace referencia a la degradación del agua de lluvia que también es utilizada como fuente para el consumo humano.

Figura 3. Porosidad del grano de carbón activo.



Fuente:
<http://www.carbotecnica.info/carbon%20activado.htm>

2.2. El carbón activado

El carbón activo es un adsorbente muy versátil extensamente usado en numerosas aplicaciones industriales (entre ellas la depuración de agua), así como para remover color, olor y sabor de una infinidad de productos, por lo cual se puede encontrar en aplicaciones tan sencillas como peceras o filtros de refrigerador, hasta complejos sistemas industriales como modernas plantas de tratamiento de aguas residuales o delicados sistemas de elaboración de antibióticos.

La naturaleza química de los átomos de carbono que conforman el carbón activo, le dan la propiedad de atraer y atrapar de manera preferencial ciertas moléculas del fluido que rodean al carbón. A esta propiedad se le llama **adsorción**, y al sólido y a la molécula retenida adsorbente y adsorbato respectivamente.

Cuando una sustancia se adhiere a una superficie se habla de adsorción, es este caso, la sustancia se adhiere a la superficie interna del carbón activo. Cuando la sustancia es absorbida en un medio diferente esto es llamado absorción. Cuando un gas es atraído dentro de una solución se habla de absorción.

El nivel de actividad de la adsorción se basa en la concentración de la sustancia en el agua, la temperatura y la polaridad de la sustancia. Una sustancia polar (una sustancia que es soluble en agua) no puede ser eliminada o es malamente eliminada por el carbón activo, una sustancia no polar puede ser totalmente eliminada por el carbón

activo. Cada clase de carbón tiene su propia isoterma de adsorción y en el campo del tratamiento de aguas esta isoterma viene definida por la función de Freundlich que se describe de la siguiente manera:

$$\frac{x}{m} = K_f C_e^{1/n}$$

x/m = sustancia adsorbida por gramo de carbón activo.

C_e = diferencia de concentración (entre antes y después).

K_f, n = constantes específicas.

El carbón activado, es un compuesto covalente y, por lo tanto, muestra preferencia por moléculas covalentes; es decir, por moléculas que tienden a ser no iónicas y poco polares. Tal es el caso de la mayoría de los compuestos orgánicos. Por lo tanto, el carbón activado se considera un adsorbente casi universal de moléculas orgánicas.

Debido a lo anterior una de las principales aplicaciones del carbón activado es la purificación de líquidos y gases contaminados con alguna molécula orgánica.

Factores que influyen en la adsorción de compuestos presentes en el agua:

- El tipo de compuesto que desee ser eliminado. Los compuestos con elevado peso molecular y baja solubilidad se absorben más fácilmente.
- La concentración del compuesto que desea ser eliminado. Cuanto más alta sea la concentración, más carbón se necesitará.
- Presencia de otros compuestos orgánicos que competirán con otros compuestos por los lugares de adsorción disponibles.
- El pH del agua. Por ejemplo, los compuestos ácidos se eliminan más fácilmente a pH bajos.

Según esto se puede clasificar algunos compuestos según su probabilidad de ser eficazmente adsorbidos por el carbón activo en el agua:

Cuadro 1. Compuestos con **muy alta probabilidad** de ser eliminados por el carbón activo:

2,4-D	Deisopropiltatracina	Linuron
Alacloro	Desetilatraccina	Malation
Aldrin	Demeton-O	MCPA
Antraceno	Di-n-butiltalato	Mecoprop
Atracina	1,2-Diclorobenceno	Metazaclor
Azinfos-etil	1,3-Diclorobenceno	2-Metil bencenamina
Bentazona	1,4-Diclorobenceno	Metil naftaleno
Bifenil	2,4-Diclorocresol	2-Metilbutano
2,2-Bipiridina	2,5-Diclorofenol	Monuron
Bis(2-Etilhexil) Ftalato	3,6-Diclorofenol	Naftaleno
Bromacil	2,4-Diclorofenoxi	Nitrobenceno
Bromodiclorometano	Dieldrin	m-Nitrofenol
p-Bromofenol	Dietiltalato	o-Nitrofenol
Butilbenceno	2,4-Dinitrocresol	p-Nitrofenol
Hipoclorito de calcio	2,4-Dinitrotolueno	Ozono
Carbofurano	2,6-Dinitrotolueno	Paration
Cloro	Diuron	Pentaclorofenol
Dióxido de cloro	Endosulfan	Propacina
Clorobenceno	Endrin	Simacina
4-Cloro-2-nitrotolueno	Etilbenceno	Terbutrin
2-Clorofenol	Hezaclorobenceno	Tetracloroetileno
Clorotolueno	Hezaclorobutadieno	Triclopir
Criseno	Hexano	1,3,5-Trimetilbenceno
m-Cresol	Isodrin	m-Xileno
Cinacina	Isooctano	o-Xileno
Ciclohexano	Isoproturon	p-Xileno
DDT	Lindano	2,4-Xilenol

Fuente: http://www.lenntech.es/contacto/feedback-esp.htm?ref_title=Adsorci%25C3%25B3n%2520%252F%2520Carb%25C3%25B3n%2520activo&id=email

Cuadro 2. Compuestos con **alta probabilidad** de ser eliminados por el carbón activo:

Anilina	Dibromo-3-cloropropano	1-Pentanol
Benceno	Dibromoclorometano	Fenol
Alcohol bencílico	1,1-Dicloroetileno	Fenilalanina
Ácido benzoico	cis-1,2- Dicloroetileno	Ácido o-ftálico
Bis(2-cloroetil) éter	trans-1,2- Dicloroetileno	Estireno
Bromodichloromethane	1,2-Dicloropropano	1,1,2,2-Tetracloroetano
Bromoformo	Etileno	Tolueno
Tetracloruro de carbono	Hidroquinona	1,1,1-Tricloroetano
1-Cloropropano	Metil Isobutil Ketona	Tricloroetileno
Clorotoluron	4-Metilbencenammina	Acetato de vinilo

Fuente: http://www.lenntech.es/contacto/feedback-esp.htm?ref_title=Adsorci%25C3%25B3n%2520%252F%2520Carb%25C3%25B3n%2520activo&id=email

Cuadro 3. Compuestos con **probabilidad moderada** de ser eliminados por el carbón activo*.

Ácido acético	Dimetoato	Metionina
Acrilamida	Etil acetato	Metil-tert-butil éter
Cloroetano	Etil éter	Meti etil ketona
Cloroformo	Freón 11	Piridina
1,1-Dicloroetano	Freón 113	1,1,2-Tricloroetano
1,2-Dicloroetano	Freón 12	Cloruro de vinilo
1,3-Dicloropropeno	Glifosato	
Dikegulac	Imazipur	

*(Para estos compuestos el carbón activo es una tecnología efectiva solo en ciertos casos).

Fuente: http://www.lenntech.es/contacto/feedback-esp.htm?ref_title=Adsorci%25C3%25B3n%2520%252F%2520Carb%25C3%25B3n%2520activo&id=email

Cuadro 4 Compuestos cuya eliminación **no es probable** que el carbón activo sea efectivo. Sin embargo sí lo es en ciertos casos en los que el flujo o la concentración del compuesto son muy bajos:

Acetona	Cloruro de metileno
Acetonitrilo	1-Propanol
Acrilonitrilo	Propionitrilo
Dimetilformaldehído	Propileno
1,4-Dioxano	Tetrahidrofurano
Isopropil alcohol	Urea
Cloruro de metilo	

Fuente: http://www.lenntech.es/contacto/feedback-esp.htm?ref_title=Adsorci%C3%B3n%20%2F%20Carb%C3%B3n%20activo&id=email

Prácticamente cualquier material orgánico con proporciones relativamente altas de carbono es susceptible de ser transformado en carbón activado. Los carbones activados obtenidos industrialmente pueden provenir de madera y residuos forestales u otros tipos de biomasa, turba, lignito y otros carbones minerales, así como de diferentes polímeros y fibras naturales o sintéticas.

2.3. Tipos de activación

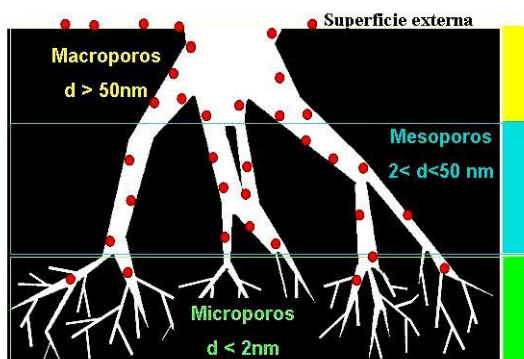
2.3.1. Activación térmica

Llamada también activación física, a pesar de que la activación se produce por la reacción (química) del agente activante (un oxidante como el aire, vapor de agua, CO₂, etc.) con el carbono del material que está siendo activado. Este tipo de activación consta de varias etapas.

- **Pretratamiento**, como la molienda y el tamizado para obtener un tamaño adecuado del precursor
- **Carbonización**, en la cual el precursor es sometido a elevadas temperaturas (del orden de los 800 °C) en ausencia de aire, para eliminar las sustancias volátiles y dejar un residuo carbonoso que será el que se someta a la activación.

- La **activación**, propiamente dicha puede ser un proceso totalmente independiente

Figura 4. Sistema y clasificación de poros de un carbón activo.



Fuente:

<http://www.oviedocorreio.es/personales/carbon/cactivo/impqcatex.htm>

de la carbonización o llevarse a cabo a continuación de ésta. Consiste en hacer reaccionar al agente activante con los átomos de carbono del carbonizado que está siendo activado; de forma que se van generando poros y aumentando la porosidad hasta transformarlo en un carbón activado. Los agentes activantes que se suelen usar son: Oxígeno (raramente a escala industrial) aire, vapor de agua (el mas usado) y CO_2 .

2.3.2. Activación química

Este tipo de activación el precursor se hace reaccionar con un agente químico activante. En este caso la activación suele tener lugar en una única etapa a temperaturas que pueden variar entre 450 y 900 °C. No obstante, en este tipo de activación, es necesaria una etapa posterior de lavado del carbón activado para eliminar los restos del agente activante. Existen numerosos compuestos que podrían ser usados como agentes activantes, sin embargo los más usados industrialmente son el cloruro de zinc (ZnCl_2), el ácido fosfórico (H_3PO_4) y el hidróxido de potasio (KOH).

Activación química con H_3PO_4 : los precursores usados en este tipo de activación son en su mayoría, como en el caso del ZnCl_2 , residuos forestales (madera, cáscara de coco, hueso de aceituna, etc.). La activación con H_3PO_4 implica las siguientes etapas:

1. Molienda y clasificación del material de partida.
2. Mezcla del precursor con H_3PO_4 (reciclado y fresco).
3. Tratamiento térmico en atmósfera inerte entre 100 y 200 °C, manteniendo la temperatura aproximadamente 1h, seguido de un nuevo tratamiento térmico hasta 400 – 500 °C, manteniendo esta temperatura en torno a 1h.
4. Lavado, secado y clasificación del carbón activado, y reciclado del H_3PO_4 .

Los carbones activos pueden clasificarse según al tamaño de las partículas:

- **Carbón activado en polvo (CAP).**
- **Carbón activado granular (CAG).**

Los CAP presentan tamaños menores de 100 μm , siendo los tamaños típicos entre 15 y 25 μm . Los CAG presentan un tamaño medio de partícula entre 1 y 5 mm.

El Grupo TAR de la Universidad de Sevilla ha desarrollado una técnica química para la activación del carbón de una forma casera utilizando para ello el carbón comercial usado en la parrillada de carne agregándole vinagre (como activante) y calor, a este material se le ha denominado “**Carbón Activo Posible**” (Grupo TAR, Uni. Sevilla) el cual ha sido utilizado en la construcción de filtros para tratar aguas conteniendo altos niveles de flúor, nitratos y nitritos (Grupo TAR, Universidad de Sevilla) obteniendo resultados positivos en la retención de este elemento.

Ante la difícil situación a la que se enfrentan los pobladores de la comunidad de Sixaola, de poder obtener una fuente de agua de calidad aceptable para consumo humano, se propone el desarrollar una experiencia piloto en la comunidad para tratar el agua de lluvia por medio de un **Filtro de Carbón Activo Posible (FCAP)**, activado y construido de forma doméstica de manera que los pobladores del lugar puedan disponer de una agua más segura para su salud en el momento de utilizarla. El FCAP será utilizado en la retención de plaguicidas utilizados en la actividad bananera de la zona y que, de una u otra forma, podrían entrar en contacto con el agua de lluvia.

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo general

- Mejorar la calidad del agua de lluvia utilizada para el consumo humano en la comunidad de Sixaola, utilizando tecnologías de agua posible no convencionales a bajo costo.

3.2. Objetivos específicos

1. Determinar la eficiencia del filtro de carbón activo posible para la retención de agroquímicos localizados en el agua de lluvia generados por la actividad bananera de la zona.

2. Determinar la vida útil del filtro de carbón activo posible utilizado en la retención de agroquímicos presentes en el agua de lluvia.
3. Dar a conocer a los pobladores de Sixaola la tecnología de agua posible del filtro de carbón activo posible como medio para mejorar la calidad de agua de lluvia usada para consumo humano.

4. METODOLOGIA

Para la obtención del carbón activo posible se utilizó la técnica descrita por el Grupo TAR (Garvi, 2010). El procedimiento seguido se describe en el anexo 1.

Para la construcción del filtro se utilizó el carbón activo en polvo (CAP) con granulometría menores a 1 mm. Como agente activante del carbón se utilizó una marca comercial de vinagre blanco, pero se puede usar cualquier ácido que se tenga en la casa. La cantidad de carbón activo posible usado en el FCAP fue de 100 gr (ver procedimiento anexo 1).

Foto 4. Algunos de los materiales e instrumentos utilizados para elaborar el carbón activo posible.



Foto: Jose Quirós Vega, 2011

Los materiales utilizados para la elaboración del filtro fueron arena corriente zarandeada con una malla de 1.5 mm, carbón vegetal comercial utilizado para asar carne, envases plásticos (PET) de 600 ml utilizados para envasar agua, algodón, vinagre sintético blanco, una olla de metal y una fuente de calor.

Las pruebas de retención de plaguicidas por parte del filtro casero construido se desarrollaron en dos fases, la primera fase estuvo dirigida a la experiencia para determinar la eficiencia y vida útil del filtro de carbón activo para retener la presencia de plaguicidas en el agua, fue una fase de experimentación en el laboratorio.

Esta primera fase estuvo formada por dos componentes:

- a. Las pruebas de laboratorio que nos permitió determinar la eficiencia del filtro para retener los agroquímicos, esto se realizara bajo condiciones de laboratorio con agua destilada.
- b. El segundo componentes correspondió a las pruebas que se realizaron en el laboratorio con agua de lluvia recolectada en la comunidad de Sixaola, en esta parte se determinó la vida útil del filtro de carbón activado.

a. Pruebas del filtro con agua destilada.

Se utilizó un coctel de nueve plaguicidas que son utilizados en la actividad bananera (cuadro 5), el coctel fue colocado en un frasco de vidrio, se aforo con agua destilada hasta los 5 litros para tener la sustancia maestra de donde se sacaron las distintas muestras.

Cuadro 5. Plaguicidas utilizadas en las pruebas de retención del FCAP con agua destilada.

Sustancia	Acción biocida	Cantidad agregada (µg/L)
Bitertanol	fungicida	9,6
Clorotalonil	fungicida	10,2
propiconazol	fungicida	8,4
Difenoconazol	fungicida	10,1
Clorpirifos	insecticida	10,2
DEET	Insecticida	10,0
etoprofos	nematicida/insecticida	10,1
Fenamifos	nematicida/insecticida	8,0
Terbufos	nematicida/insecticida	11,2

Fuente: elaboración propia

Para la prueba de retención de los plaguicidas se colocaron tres filtros en sus respectivos soportes, se pasaron por cada uno de ello un litro de muestra tomado de la sustancia maestra. Las sustancias filtradas se recolectaron en frascos de vidrio independientes para luego seguir el procedimiento de laboratorio para el análisis cromatográfico respectivo (anexo 2).

Foto 5. Recolección de las muestras pasadas por el FCA casero.



Foto Jose Quirós Vega, 2011.

b. Pruebas del filtro con agua de lluvia.

Se utilizó un coctel de ocho plaguicidas que son utilizados en la actividad bananera (cuadro 6), el coctel fue colocado en un frasco de vidrio y se aforo con agua de lluvia hasta los 10 litros para tener la sustancia maestra de donde se sacaron las distintas muestras.

En este caso no se utilizó en el coctel el DEET, este compuesto forma parte de las repelentes que utiliza el ser humano para alejar a los insectos, si bien se han encontrado trazas de esta sustancia en análisis de plaguicidas, no es claro su aparición en dichos análisis.

Cuadro 6. Plaguicidas utilizadas en las pruebas de retención del FCAP casero con agua de lluvia.

Sustancia	Acción biocida	Cantidad agregada (µg/L)
Bitertanol	fungicida	8
Clorotalonil	fungicida	4
propiconazol	fungicida	11
difenoconazol	fungicida	10
Clorpirifos	insecticida	9
etoprofos	nematicida/insecticida	8
Fenamifos	nematicida/insecticida	5
Terbufos	nematicida/insecticida	10

Fuente: elaboración propia.

Para la prueba de retención de los plaguicidas se colocaron tres filtros en sus respectivos soportes, se pasaron por cada uno de ellos un litro de muestra tomada de la sustancia maestra. Las sustancias filtradas se recolectaron en frascos de vidrio independientes para luego seguir el procedimiento de laboratorio para el análisis cromatográfico respectivo (anexo 2).

Adicionalmente se realizó una prueba para determinar la vida útil del FCA casero, para ello se tomó uno de los filtro de la prueba anterior para pasar por él cuatro litros, adicionales, de la sustancia maestra, cada litro era recolectado en recipiente de vidrio por separado para hacerlos pasar por los análisis cromatográfico. En total se pasaron cinco litros de la sustancia maestra.

Los análisis se realizaron en el Laboratorio de Análisis de Residuos de Plaguicidas (LAREP) del Instituto Regional de Estudios de Sustancias Tóxicas (IRET) de la Universidad Nacional.

Las concentraciones de plaguicidas utilizadas en los cocteles para la prueba con agua destilada y agua de lluvia, son concentraciones que se encuentran por encima de lo que normalmente se han detectado en muestras de campo (1-2 $\mu\text{g/L}$). El objetivo es ver los resultados del filtro de carbón activo posible ante concentraciones altas de plaguicidas.

La segunda fase comprenderá al trabajo con la comunidad para la construcción y uso del filtro de carbón activo casero.

Se elaboró un plegable (Anexo 3) describiendo cómo hacer carbón activo posible, así de como construir un filtro doméstico a partir de materiales de bajo costo que se tengan en la casa. Las indicaciones comprende la descripción del mantenimiento y uso del FCAP.

La actividad de capacitación se llevara a cabo por medio de talleres dirigidos a las personas de la comunidad, en los mismos se utilizaran la metodología aprender-haciendo donde los participantes construirán ellos mismos los filtros y pondrán en práctica el proceso para activar el carbón. Estos talleres se realizaron en el segundo semestre del 2012 en la comunidad de Sixaola.

5. RESULTADOS Y DISCUSION

En el proceso de filtrado se pudo encontrar como el paso del agua que contenían los plaguicidas era lento, se determino que el tiempo de paso de un litro de agua por el filtro tardaba, aproximadamente, 45 minutos, esta situación puede responder a la utilización de carbón activo en polvo (CAP) habría que experimentar con carbón activo granular (CAG) cuya experiencia no correspondía a este estudio.

a. Prueba del filtro con agua destilada

Para el análisis de la retención de plaguicidas en agua destilada por parte del FCAP se usaron nueve sustancias que son utilizadas en la actividad bananera. Las sustancias en estudio fueron bitertanol, clorotalonil, propiconazol, difenoconazol, clorpirifos, DEET, etoprofos, fenamifos y terbufos.

La utilización de agua destilada aseguraba que la mezcla estuviera libre de cualquier contaminante que fuera alterar los resultados, de esta forma se aseguraría que solo los plaguicidas en estudio formaran parte de la sustancia.

Los resultados de los análisis cromatográficos no detectaron la presencia de la mayoría de los plaguicidas en las muestras de agua que pasaron por los FCAP (cuadro 7), la única sustancia que si apareció en las tres muestras, luego de ser filtrada, fue el DEET. El DEET es una sustancia que normalmente no forma parte de los plaguicidas que son usados en las bananeras, pero en análisis de plaguicidas recientes se ha encontrado este compuesto (Solano, 2011, comun. personal), esta sustancia forma parte de otras sustancias utilizadas por las personas como repelentes para insectos.

En el caso de las otras sustancias el análisis no detectó la presencia de éstas en las muestras filtradas.

Cuadro 7. Resultados en la retención del FCAP de los plaguicidas contenidos en una mezcla de agua destilada.

Sustancia	Acción biocida	Cantidad agregada (µg/L)	Filtro 1	Filtro 2	Filtro 3
bitertanol	fungicida	9,6	n.d.	n.d.	n.d.
clorotalonil	fungicida	10,2	n.d.	n.d.	n.d.
propiconazol	fungicida	8,4	n.d.	n.d.	n.d.
difenoconazol	fungicida	10,1	n.d.	n.d.	n.d.
clorpirifos	insecticida	10,2	n.d.	n.d.	n.d.
DEET	Insecticida	10,0	0,5	0,7	1,0
etoprofos	nematicida/insecticida	10,1	n.d.	n.d.	n.d.
fenamifos	nematicida/insecticida	8,0	n.d.	n.d.	n.d.
terbufos	nematicida/insecticida	11,2	n.d.	n.d.	n.d.

n.d. = no detectado

La ausencia de plaguicidas en las muestras de agua filtrada indica que los poros formados durante el proceso de activación del carbón poseen las cualidades físicas requeridas para la adsorción de las sustancias puestas en estudio, esto es un éxito ya que se muestra la efectividad del filtro como un medio para mejorar la calidad del agua con contenidos de los plaguicidas en estudio.

b. Prueba del filtro con agua de lluvia

Para el análisis de la retención de plaguicidas en agua de lluvia por parte del FCA casero se usaron ocho sustancias que son utilizadas en la actividad bananera. Las sustancias en estudio fueron bitertanol, clorotalonil, propiconazol, difenoconazol, clorpirifos, etoprofos, fenamifos y terbufos. Para esta ocasión no se tomo en cuenta el DEET.

Cuadro 8. Resultados en la retención del FCAP de los plaguicidas contenidos en una mezcla de agua de lluvia.

Sustancia	Acción biocida	LC	Cantidad agregada (µg/L)	Filtro 1	Filtro 2	Filtro 3
bitertanol	Fungicida	1,0	8	n.d.	n.d.	n.d.
clorotalonil	Fungicida	0,2	4	n.d.	n.d.	n.d.
propiconazol	Fungicida	0,5	11	n.d.	n.d.	n.d.
difenoconazol	Fungicida	1,0	10	n.d.	n.d.	n.d.
clorpirifos	Insecticida	0,2	9	n.d.	n.d.	n.d.
etoprofos	nematicida/insecticida	0,1	8	n.d.	n.d.	n.d.
fenamifos	nematicida/insecticida	2,0	5	n.d.	n.d.	n.d.
terbufos	nematicida/insecticida	0,5	10	n.d.	n.d.	n.d.

n.d. = no detectado

LC = Límite de cuantificación

Los resultados de los análisis de las muestras de agua de lluvia filtrada mostraron una ausencia de plaguicidas (cuadro 8), estos datos son coincidentes con los obtenidos con los plaguicidas en agua destilada. Nuevamente se demuestra la eficiencia del filtro para tratar aguas con la presencia de los plaguicidas sujetos de este estudio.

En principio se manejaba la teoría que la presencia de otras sustancias en el agua de lluvia podría afectar el proceso de adsorción del carbón activo, sin embargo, la práctica demostró que eso no ocurrió y que el carbón activo mantiene las cualidades para depurar agua de lluvia contaminada con plaguicidas.

El obtener resultados positivos en la retención de plaguicidas por parte del FCAP con agua de lluvia ratifica el éxito de esta herramienta para mejorar la calidad del agua contaminada con ciertos agroquímicos, este implemento se puede convertir en una herramienta complementaria para mejorar el agua de consumo humano con que se provee la población de Sixaola y de otras localidades que presenten la misma problemática en la calidad del agua.

Cuadro 9. Determinación de la vida útil del FCAP filtrando plaguicidas contenidos en una mezcla de agua de lluvia.

Sustancia	Acción biocida	LC	Cantidad agregada (µg/L)	1 L	2 L	3 L	4 L	5 L
bitertanol	Fungicida	1,0	8	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
clorotalonil	Fungicida	0,2	4	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
propiconazol	Fungicida	0,5	11	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
difenoconazol	Fungicida	1,0	10	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
clorpirifos	Insecticida	0,2	9	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
etoprofos	nematicida/insecticida	0,1	8	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	trazas
fenamifos	nematicida/insecticida	2,0	5	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
terbufos	nematicida/insecticida	0,5	10	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.

trazas: Entre límite de cuantificación (LC) y límite de detección

n.d. = no detectado.

LC = Límite de cuantificación.

L = Litros.

Habiendo demostrado la eficiencia del FCAP para retener plaguicidas, quedaba por determinar la vida útil del filtro durante su operación. Se debe recordar que el sistema de poros que se forma en el carbón activo va a tener una capacidad de saturación, momento en el cual dejara de ser eficiente en la adsorción de plaguicidas. Estudios de Marquez (2011) mostro como apoyándose en varias teorías es posible determinar el volumen que puede tener la porosidad del carbón activo lo que indicaría el límite de capacidad del carbón. La intención de este estudio no es la aplicación de conceptos matemáticos para encontrar la capacidad de retención del filtro en estudio, el interés es encontrar, de una manera práctica, la capacidad de retención del FCAP de los plaguicidas en estudio, para ello se hizo pasar un volúmenes de cinco litros de la sustancia con plaguicidas, tomando muestras cada intervalo de un litro para su análisis.

En el cuadro 9 se presentan los resultados de cada muestra de los cinco litros de la sustancia filtrada, los análisis no detectaron la presencia de plaguicidas en los cinco litros muestreados. Debe señalarse la presencia de trazas en la muestra del quinto litro por parte del etoprofos, esto puede indicar que a mayores volúmenes filtrados es posible tener la presencia de este plaguicida, sin embargo esto no puede ser concluyente ante la ausencia de más datos.

Con respecto a los otros plaguicidas, los cinco litros no fueron suficientes para determinar el límite de retención del filtro, por tanto no se puede concluir al respecto, salvo que a los cinco litros el filtro de carbón activo posible retiene dichos plaguicidas presentes en el agua de lluvia.

Los resultados obtenidos dejan ver la necesidad de realizar otros estudios que puedan ampliar los datos reflejados y así poder determinar el límite máximo que puede alcanzar el filtro para la adsorción de cada uno de los plaguicidas en estudio.

Es necesario recordar que las concentraciones de plaguicidas utilizados en el estudio se encontraban muy por encima de lo que normalmente se puede encontrara in situ, esto hace pensar que la respuesta de adsorción y resultados que pueda dar en cuanto al rendimiento del FCAP pueden superar los datos del presente estudio. Esto abre la posibilidad de realizar nuevas investigaciones tendientes al tema en mención.

El equipo utilizado para realizar el análisis cromatográfico, además de hacer los análisis cuantitativos de los plaguicidas en estudio, también realiza barridos para la identificación de otros compuesto (sustancias colaterales) presentes en la sustancia con plaguicidas, esta identificación es cualitativa ya que no es posible obtener datos cuantitativos de estos compuestos.

El barrido realizado por el equipo cromatográfico en el presente estudio detecto la presencia de 13 sustancias colaterales presentes en las muestras filtradas (cuadro 10).

La fuente de estas sustancias es desconocida, podrían estar presentes en la materia prima de carbón vegetal usado para obtener el carbón activo posible. La materia prima proviene de aserraderos y maderas del bosque o en los combustibles utilizados en la combustión.

Otra fuente y la más probable es que las sustancias plásticas encontradas podría estar y desprenderse de los recipientes plásticos usados para construir los filtros, en este caso se tuvo la precaución que las botellas plásticas usadas solo eran utilizadas para almacenar agua pero como es sabido se desprenden sustancias plásticas al agua. Otra posibilidad, para el caso de los saborizantes, sería la presencia de estas sustancias en el

vinagre que se utilizó como activante del carbón. También se podría suponer que sería por la combinación de una o todas de las ya descritas.

Las sustancias colaterales que aparecieron en las muestras filtradas presentaron un comportamiento de ir en reducción conforme se aumentaba la cantidad de volúmenes de sustancia que se pasaba por el filtro para determinar su vida útil.

Lamentablemente no fue posible identificar la fuente de estas sustancias en el presente estudio, sin embargo es una incógnita para resolver en futuras investigaciones, así como los efectos de las mismas en la salud de las personas. Sería interesante analizar el agua de la botella de agua mineral empleada para despejar dudas, así como analizar el vinagre utilizando el mismo método de análisis para ver si hay presencia de estas sustancias.

La aparición de estas sustancias hace reflexionar sobre el efecto que éstas pueden tener sobre la salud de las personas. Buscando información de las trece sustancias que pudiera aportar datos de éstas sobre su efecto en la salud, fue escasa la información hallada. De las sustancias presentes el 7,9-di-tert-butyl-1-oxaspiro[4.5]deca-6,9-diene-2,8-dione, citrato de tributilo, acetil citrato de tributilo y metoxicinamato de 2-etilhexil no tenían referencia sobre su efecto en la salud de las personas, pero sí se ha podido comprobar en bibliografía que algunas de las sustancias se usan para consumo humano, ya sea como aditivos, saborizantes alimentarios como para la elaboración de embases alimentarios como se señala en el cuadro 10.

Con respecto a las sustancias clasificadas como “plastificadoras” se describen como compuestos que tiene algún efecto en las personas al ingerirse, al estar en contactos con ellos o inhalarlos, siempre y cuando estas sustancias se encuentren en condición pura, estas sustancias forman parte del material con que están hechas las botellas, se ha demostrado que la mismas se desprenden y se almacena en el líquido que está dentro del embase.

Las demás sustancias clasificadas como saborizantes, fragancias o neutralizadoras de olor, son compuestos que son usados en la preparación de alimentos, por tanto su efecto es inocuo en la salud humana.

Los datos de disminución de estas sustancias, reflejados en la prueba de la vida útil del FCAP, indican que un lavado previo del filtro antes de su uso podría eliminar estos compuestos, sin embargo se requerirían nuevos estudios para afirmar de forma categórica dicha suposición.

Cuadro 10. Sustancias colaterales, no cuantificadas, detectadas en los análisis de las muestras filtradas, tanto en el agua destilada como el agua de lluvia.

Triacetin	Es utilizado como aditivo alimenticio debido a sus propiedades humectantes. Plastificador, saborizante
Vainillina	Saborizante de chocolate y muchos otros productos alimenticios.
vainillina de etilo	Saborizante
dietilftalato ***	Este producto se puede encontrar en cepillos de dientes, partes de automóviles, herramientas, juguetes y empaques de alimento. Plastificador
metilo dihidrojasmonate	fragancia
citrato de trietilo	Aditivo alimenticio, gelificante erivado del almidón. Plastificador, sabor natural, fragancia
2-metilo benzenosulfamide	Se encuentran en los embases alimenticios, así como en las chupetas de los biberones para bebés. Plastificador
4-metilo benzenosulfamide	Se encuentran en los embases alimenticios, así como en las chupetas de los biberones para bebés. Plastificador
7,9-di-tert-butyl-1-oxaspiro[4.5]deca-6,9-diene-2,8-dione	metabolito de plastificador
Brasilato de etileno, Musk T	Sustancia de uso alimenticio, neutralizador de olor
citrato de tributilo	Presente en botellas plásticas. Plastificador
acetil citrato de tributilo	Presente en botellas plásticas, Plastificador, solvente
metoxicinamato de 2-etilhexil	Protector solar

*** presente también en el blanco.

La segunda fase del estudio correspondiente a la práctica con miembros de la comunidad de Sixaola para que ellos mismos aprendan a construir el FCAP y puedan activar el carbón esta aún pendiente. El atraso se ha dado a raíz de la aparición de las sustancias colaterales ya que no se sabe, a ciencia cierta, su efecto en la salud de las personas. Se considera que mientras el agua no sea utilizada para beberla de forma directa, podría dársele otros usos como lavado de hortalizas, verduras, frutas o higiene personal.

Para el trabajo de capacitación y extensión con los pobladores se ha preparado un plegable (anexo 3) que servirá de referencia a la comunidad de como proceder para obtener carbón activado posible y para la construcción del filtro de carbón activado posible (FCAP), de igual forma será de apoyo a los facilitadores para impartir el taller.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La presencia de plaguicidas en las fuentes de agua con que se abastecen los pobladores de la comunidad de Sixaola para consumo humano pueden llegar a afectar, de forma negativa, la salud de las personas.

La práctica de una agricultura extensiva de un monocultivo como el banano en el valle de Sixaola genera que el uso de plaguicida sea indispensable para el control de plagas que afectarían la producción en las plantaciones.

La necesidad imperativa que tiene toda persona de contar con un suministro de agua, conlleva la potencialidad que la misma se encuentre contaminada desde su fuente. La utilización de carbón activo en polvo (CAP) en un filtro como herramienta para mejorar la calidad de agua y sobre todo para retener plaguicidas presentes en este líquido quedo demostrado en el presente estudio.

La construcción de un filtro de carbón activo de forma doméstica en la casa es “posible” utilizando materiales accesibles en la comunidad y, que además, son de bajo costo, esto hace que la “tecnología posible del filtro” este al alcance de cualquier persona que lo necesite y lo quiera hacer. Paralelamente a la construcción del filtro se tiene la posibilidad de poder obtener carbón activo posible a partir de una técnica simple utilizando materiales y equipo que pueden estar al alcance de cualquier persona en la comunidad de Sixaola. Se estima que el costo, aproximado, para la construcción de un FCAP puede estar en dos dólares estadounidenses.

Es posible realizar experiencias con carbón activo granular (CAG) a partir de carbón activo posible para determinar su efectividad en la adsorción de plaguicidas presentes en el agua.

Los altos costos de los análisis de plaguicidas podrían ser una limitante para desarrollar otros estudios relacionados con el tema de contaminación del agua con estos compuestos.

Como recomendaciones se tienen las siguientes:

A pesar que la experiencia estuvo dirigida a plaguicidas presentes en agua de lluvia, la misma puede ser replicada para aguas superficiales.

Se podrían realizar estudios con carbón activo granular (CAG) a partir del carbón activo posible para determinar su eficacia en la adsorción de plaguicidas presentes en el agua.

Se deben hacer mayores estudios para identificar y cuantificar las sustancias colaterales presentes en el agua filtrada, así como la eliminación de las mismas.

Una prueba importante es someter al agua embotellada del embalse utilizado como filtro a las mismas pruebas de análisis realizadas al agua filtrada.

7. REFERENCIA BIBLIOGRAFICA

- Dinham, B. & Malik, S., 2003. Pesticides and human rights. *Int. J. Occup. Environ. Health* 9, 40–52.
- EPA, 2006. Edition of the drinking water standards and health advisories. Office of water U.S. environmental protection agency. Washington D.C. 18 p.
- FAO. 1997. Lucha contra la contaminación agrícola de los recursos hídricos. <http://www.fao.org/docrep/W2598S/W2598S00.htm>
- Fournier, M.L., Ramirez, F., Reupert, C., Vargas, S. & Echeverria, S. 2010. Diagnóstico sobre continuación de agua, suelos y productos hortícolas por el uso de agroquímicos en la microcuenca de la quebrada Plantón y Pacayas en Cartago, Costa Rica. Instituto Regional de Sustancias Tóxicas, Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica. 85 p.
- Garvi, M. 2008. Eliminación de contaminantes en agua de consumo humano. Grupo TAR, Universidad de Sevilla, España. 42 p.
- Lacher, T.E., Goldstein, M.I., 1997. Tropical ecotoxicology: status and needs. *Environ. Toxicol. Chem.* 16, 100–111.
- Maroni, M., Fanetti, A. & Metruccio, F., 2006. Risk assessment and management of occupational exposure to pesticides in agriculture. *Med. Lav.* 96, 430–437.
- Marquez, F. 2011. El carbón activado. Obtención y caracterización (monografía). Universidad de Pinar del Río, Cuba. <http://www.monografias.com/trabajos45/carbon-activado/carbon-activado.shtml>. 18 de octubre del 2011.
- Municipalidad de Talamanca. 2010. Plan municipal para la gestión integral e los residuos sólidos en Talamanca. Limón, Costa Rica. 64 p.
- OMS. 2004. Guía para la calidad del agua potable. Tercera edición. Organización Mundial de la Salud. Ginebra, Suiza. 101 p.
- Sierra, C. 2011. ¿Quién quiere envejecer en Sixaola?. *Horizontes Ambientales*:1. 54-82.
- Solano, K. 2012. Laboratorio de análisis de residuos de plaguicidas de la Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica.
- World Resources Institute. <http://www.wri.org> . Revisado agosto 2011.

Sitios web

http://www.lenntech.es/contacto/feedback-esp.htm?ref_title=Adsorci%25C3%25B3n%2520%252F%2520Carb%25C3%25B3n%2520activo&id=email

<http://www.carbotecnica.info/carbon%20activado.htm>

<http://www.oviedocorreio.es/personales/carbon/cactivo/impqcatex.htm>

<http://www.lookchem.com/cas-88/88-19-7.html>

<http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/FISQ/Ficheros/1301a1400/nspn1350.pdf>

http://techcenter.lanxess.com/fcc/emea/de/products/datasheet/Triacetin_e.pdf?docId=182496&gid=3166&pid=777

<http://www.slcdemexico.mx/www/images/stories/pdf/DIMETHYL%20PHTHALATE%20-%20Hoja%20de%20Seguridad%20MSDS.pdf>

<http://es.wikipedia.org/wiki/Vanilina>

<http://www.vasenol.com.mx/Template2.aspx?Path=Consumer/Glossary/Home>

http://www.chemicalbook.com/ProductMSDSDetailCB7330843_EN.htm

www.aguapedia.org

8. REGISTRO FOTOGRAFICO (Fotografías: Jose Quiros Vega, 2011).

1. Elaboración del carbón activo posible



1.1. Herramientas y materiales utilizados para la elaboración del carbón activo posible.

1.2. Vinagre, quemador y olla utilizados.



1.3. Trozos de carbón listos para triturar.



1.4. Carbón triturado.



1.5. Carbón con vinagre blanco calentándose.

1.6. Carbón activo posible listo.



2. Construcción del filtro de carbón activo posible (FCAP)



2.1. Corte del fondo de la botella plástica.

2.2. Agujero del tapón de la botella por donde saldrá el agua filtrada.



2.3. Algodón para retener el material del filtro.

2.4. Algodón colocado en la tapa de la botella plástica.



2.5. Tapa con algodón lista para ser colocada en la botella.



2.6. Tapa colocada en la botella junto con el algodón.



2.7. Botella plástica lista para agregarle los materiales del filtro.



2.8. Primera capa de arena agregada a la botella (4 cm más o menos).



2.9. Capa de carbón activo posible agregado a la botella (9 cm más o menos).

2.10. Segunda capa de arena agregada a la botella (4 cm más o menos).





2.11. Filtro de carbón activo posible listo para ser utilizado.

2.12. Filtro de carbón activo posible en las pruebas de laboratorio.



9. ANEXOS

- | | |
|---------|---|
| Anexo 1 | Construcción de un filtro doméstico de carbón activo posible. |
| Anexo 2 | Determinación de multiresiduos de plaguicidas en muestra de agua mediante cromatografía de gases con acoplado un detector de masas. |
| Anexo 3 | Plegable: Construcción de un filtro doméstico de carbón activo posible (portada y contraportada). |

Anexo 1

Protocolo de construcción

CONSTRUCCIÓN DE UN FILTRO DOMÉSTICO DE CARBÓN ACTIVO POSIBLE.

1. MATERIALES.

- Carbón comercial para parrilladas.
- Vinagre sintético blanco.
- Mazo.
- Colador o pascón doméstico.
- Arena con granulometría no mayor a 1 mm.
- Envase de plástico PET de agua de 600 ml.
- Algodón.

2. METODOLOGÍA

I. Activación del carbón de forma casero

2.1. Preparación del carbón

- Se tomaron los trozos de carbón y se trituraron con el mazo para obtener un polvo.
- El carbón triturado se paso por un colador o pascón, el material que queda retenido se puede volver a triturar o se descarta.

2.2. Preparación de la arena

- Se uso arena extraída de tajo.
- Se paso arena por una zaranda con orificios de 1mm, como máximo.
- Se descarto el material que quede en la zaranda.
- La arena colada fue lavada, para ello se utilizo una tela que permitió la retención de la arena y deje pasar la suciedad.
- La arena dejo secar y se guardo para ser utilizarla en la construcción del filtro.

2.3. Proceso para activar el carbón

- Se tomaron, aproximadamente, unos 400 gramos del carbón triturado y pasado por el colador (paso 2.1).
- Se coloco el carbón en una olla(hierro).
- Se agrego vinagre blanco al carbón colocado en la olla hasta cubrirlo.
- Se calentó la mezcla con un mechero de gas.

- Se calentó la mezcla hasta que el vinagre se evapore por completo.
- El carbón activado se guardó para ser utilizado en la construcción del filtro.

II. Construcción del filtro casero

- Se recortó el fondo a una botella plástica PET.
- A la tapa de la botella se le hizo un agujero en el centro para que pasara el agua que se filtraba.
- Se colocó un trozo de algodón en la parte interna de la tapa para retener el material filtrante,
- Se colocó la tapa con el algodón a la botella plástica.
- La parte de la botella que se recortó se colocaba hacia arriba.
- Se agregó en el interior de la botella una primera capa de arena de unos 4 cm. de espesor.
- De seguido se agregó una capa de 9 cm. de espesor del carbón (100 gr. de carbón activo casero).
- Se agregó una segunda capa de arena de 4 cm. de espesor.
- Cada una de las capas quedaron esparcida de forma uniforme.
- De esta manera quedó listo el filtro para ser utilizado. El agua se agregaría por la parte abierta para que salga por el agujero que se le hizo a la tapa de la botella.

Anexo 2

Procedimientos aplicados

Determinación de multiresiduos de plaguicidas en muestra de agua mediante cromatografía de gases con acoplado un detector de masas.

Laboratorio de Análisis de Residuos de Plaguicidas (LAREP)

Extracción de las muestras

La muestra de agua fue extraída mediante extracción por fase sólida (SPE). Se utilizó un cartucho Isolute ENV+ (200 mg / 6 mL), previamente acondicionado. La muestra se agitó y se pasó a través del cartucho. Al finalizar, se secó el cartucho y se eluyó con acetato de etilo. El extracto se concentra con nitrógeno y se cambió a isooctano. El volumen final del extracto fue de alrededor 1 mL.

Análisis cromatográfico

El extracto en isooctano se inyectó en un cromatografo de gases con detector de masas (marca Agilent GCMS modelo 7890A/5975C), y acoplado al programa Chemstation para la adquisición de los datos en modo de monitoreo selectivo (SIM), para los plaguicidas específicos y en modo barrido o escaneo (TIC) para poder identificar otros compuestos orgánicos (semi-polares) como hidrocarburos.

El extracto fue inyectado mediante “splittless” en un cromatografía de gases (GC) utilizando una columna capilar y acoplado a un detector masas (MS), marca Agilent (EEUU) modelo 7980A-5975C con las siguientes condiciones:

La forma de inyección fue “splittless” con un volumen de 1 μ L.

Columna: BPX35 30 m x 0,25 mm x 0,25 μ m (SGE, Austin, EEUU)

Se utilizó el siguiente programa de temperatura:

	Rampa (°C/min)	Temperatura (°C)	Tiempo (min)
0	-	80	1
1	15	180	5
2	2	200	0
3	10	300	8

Temperatura inyector: 230°C

Temperatura de la interfase: 280°C

Rango escaneo de masa MS: 40-550 m/z, Modo: SIM y scan o barrido (TIC)

Método de ionización: EI (impacto de electrones)

Gas portador: He, flujo: 1,6 mL/min

Identificación

Biblioteca de espectra: NIST 05 (NIST/EPA/NIH Mass Spectral Library, 2005) con espectra de 163.198 compuestos.

Cuantificación plaguicidas

Mediante calibración de estándares externas preparación de soluciones madres de plaguicidas.

Construcción de un filtro doméstico de carbón activo casero

1. INTRODUCCIÓN

El carbón activo es un material de carbón poroso. El mismo se ha sometido a reacción con gases o con vapor de agua; o bien a un tratamiento con productos químicos durante un proceso de carbonización, con el objeto de aumentar su porosidad.

El carbón activo posee una capacidad de adsorción elevada y se utilizan para la purificación de líquidos y gases. En el caso del agua puede ser útil para la eliminación de sustancias orgánicas que la estén contaminando. En investigaciones realizadas en la Universidad Nacional de Costa Rica (UNA) se ha podido retener sustancias químicas utilizadas en el cultivos de banano (bitertanol, difenoconazol, propiconazol, clorotalonil, clorpirifos, etoprofos, terbufos y fenamifos) usando un filtro doméstico de carbón activado de forma casera.

Existe la experiencia de producir carbón activo de forma casera a partir del carbón utilizado para parrilladas mediante la combinación de vinagre sintético blanco, como agente activante, y calor. Esta técnica fue desarrollada por el grupo TAR de la Universidad de Sevilla al que llamaron “carbón activo posible”. Este carbón puede ser usado para construir un filtro que permita tratar las aguas de consumo humano contaminadas con agroquímicos.

A continuación se dan las indicaciones para construir un filtro doméstico de carbón activo posible.

2. MATERIALES

- Carbón comercial para parrilladas.
- Vinagre sintético blanco.
- Mazo, martillo o una piedra.
- Colador o pascón doméstico.
- Arena con grano no mayor a 1 mm.
- Envase plástico PET de agua de 600 ml.
- Algodón o tela filtrante.
- Una cocina (gas, eléctrica o leña).
- Una cuchara metálica.
- Un cuchillo.

3. COMO ACTIVAR EL CARBÓN DE FORMA CASERA

a. Triturado el carbón



Lo que se busca es tener el carbón en polvo.

- Se toman los trozos de carbón y se trituran con un mazo para obtener un polvo.
- El carbón triturado se pasa por el colador, el material que queda retenido se puede volver a triturar o se descarta.

b. Proceso para activar el carbón

En este proceso se busca que el carbón en polvo se haga más poroso para tener el “carbón activo posible”.



2. El carbón triturado se pasa a una olla de metal (hierro, aluminio, hierro enlozado, entre otras).



3. Se agrega vinagre blanco al carbón que está dentro de la olla hasta cubrirlo.



4. Se calienta la mezcla con una fuente de calor, ya sea eléctrica, de gas, leña, entre otras.

5. Se calienta la mezcla hasta que el vinagre se evapore por completo.

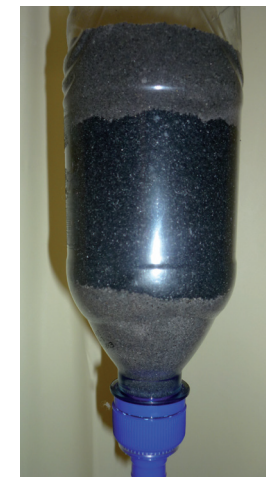


6. Debe darle vuelta a la mezcla de vez en cuando.

7. El calentamiento del carbón debe hacerse en un lugar ventilado.

8. El material se puede utilizar cuando esté frío o almacenarse para ser utilizado más adelante.

4. COMO CONSTRUIR EL FILTRO DOMÉSTICO



Para construir el filtro se utilizarán botellas plásticas usadas en el almacenamiento de agua. Este filtro consta de tres partes, dos de arena y una de carbón.

a. Preparar la arena

Este material tiene como función detener sólidos y evitar que el carbón flote o que obstruya la tela filtrante. Se puede usar arena extraída de tajo o de río, es importante tener en cuenta que la arena NO esté contaminada.

- Pasar la arena por una zaranda o colador con orificios de 1mm, como máximo.
- Descartar el material que quede en la zaranda o colador.
- La arena colada debe ser lavada, para ello se puede utilizar una tela que retenga el material y deje pasar la suciedad.
- La arena puede ser utilizada de inmediato o puede guardarse seca para utilizarla más adelante.

b. Construcción del filtro

Su construcción es práctico sencillo y de bajo costo.



1. Se le recorta el fondo al envase plástico PET tal como se muestra en la ilustración.



2. Se hace un agujero a la tapa del envase.



3. Se coloca un trozo de algodón o tela filtrante en la parte interna de la tapa y se coloca en la botella.



4. De esta forma tenemos el contenedor de los materiales filtrantes.



5. Se agrega en el interior del envase la primera capa de arena de unos 4 cm. de espesor.



6. De seguido se agrega una capa del carbón activo posible (9 cm. de espesor, aproximadamente).



7. Por último se coloca la tercera capa de arena de 4 cm. de espesor.

8. Las capas de arena y carbón NO deben quedar inclinadas.

9. El agua se agregaría por la parte superior abierta. El agua saldría por el agujero que se le hizo a la tapa de la botella.

De esta manera queda listo el filtro doméstico para ser utilizado, este filtro tiene una capacidad para filtrar cinco litros de agua, luego debe cambiarse por uno nuevo.

NOTA: Antes de usar el carbón activo debe ser lavado con medio litro de agua, aproximadamente, para eliminar el exceso de vinagre que le queda.

UNA
UNIVERSIDAD
NACIONAL
COSTA RICA

IDESPO
UNIVERSIDAD NACIONAL

HORIZONTES AMBIENTALES
PROGRAMA IDESPU-UNA

UNIVERSIDAD DE SEVILLA
U

CONICIT

Máster en Ingeniería del
AGU

CONTÁCTENOS:

www.una.ac.cr/idespo

Tel : (506)2562-4130 • Fax: (506) 2562-4262

Correo: horambie@una.ac.cr

UNA
UNIVERSIDAD
NACIONAL
COSTA RICA

IDESPO
UNIVERSIDAD NACIONAL

HORIZONTES AMBIENTALES
PROGRAMA IDESPU-UNA

UNIVERSIDAD DE SEVILLA
U

CONICIT

Máster en Ingeniería del
AGU

Construcción de un filtro doméstico de carbón activo posible