

**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE AGRONOMÍA
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA**



TESIS DE GRADO

**EVALUACIÓN DEL USO DE CÁSCARAS DE BANANO (*Musa paradisiaca* sp.)
PARA LA DESCONTAMINACIÓN DEL AGUA CON METALES PESADOS DE LA
CUENCA DE MILLUNI – LA PAZ**

FERNANDO GAMARRA SONCO

**La Paz – Bolivia
2014**

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE AGRONOMÍA
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

**EVALUACIÓN DEL USO DE CÁSCARAS DE BANANO (*Musa paradisiaca sp.*)
PARA LA DESCONTAMINACIÓN DEL AGUA CON METALES PESADOS DE LA
CUENCA DE MILLUNI – LA PAZ**

*Tesis de Grado presentado como requisito
parcial para optar el título de
Ingeniero Agrónomo*

FERNANDO GAMARRA SONCO

Asesor:

Ing. M. Sc. Paulino Ruiz Huanca

Revisores

Ing. Ph.D. Abul Kalam Kurban

Ing. M.Sc. Lucio Tito Villca

Ing. Bernardo Ticona Contreras

Aprobada

Presidente tribunal Examinador

2014

DEDICATORIA

A Dios y mi Madre que me ven desde el cielo.

Dedicado a todas las personas que se preocupan por cuidar el medio ambiente, familiares, amigos y conocidos, sobre todo a Lady que ocupa un lugar especial en mi corazón y me acompaño durante estos años de estudios.



AGRADECIMIENTOS

Agradezco de antemano y en primera instancia a Dios y a mi Madre, que desde el cielo me ayudaron a seguir adelante brindándome fuerzas, agradezco también a mi asesor y mis revisores ya que sin su apoyo, guía y correcciones este trabajo no se hubiera podido realizar, también agradezco a mis amigos que continuamente se preocupaban, y en especial agradezco a Lady que sin su apoyo durante estos años de estudios no hubiese podido salir adelante.

Y un agradecimiento especial a mi padre ya que sin su apoyo desde que mi madre nos dejó, no hubiera podido salir adelante.

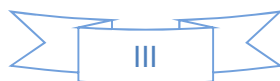


RESUMEN

La industria bananera es un gran mercado en el mundo el cual genera millones de toneladas de desechos (cáscaras), que pueden ser reutilizadas en diferentes productos y abonos orgánicos.

La cuenca Milluni ubicada en el norte de la ciudad de La Paz, cerca al nevado Huayna Potosí, presenta altos niveles de contaminación resultado de la actividad minera realizada durante 50 años y hasta la fecha. En el presente estudio se evaluó el uso de las cáscaras de banano para descontaminar el agua contaminada con metales pesados como el hierro, manganeso y plomo productos de la minería de las lagunas de Jankho Khota, Milluni Chico y Milluni Grande, en el cual se evidencio que la cáscara de banano contiene grandes cantidades de hierro y manganeso en su composición haciendo que el agua incremente su nivel de estos, sin embargo en los residuos de la cáscara utilizada en el agua, se pudo ver que hay un efecto de descontaminación, es decir, limpio el agua de los metales pesados y, el hierro y manganeso de la cáscara de banano paso al agua. Hubo un intercambio iónico, el hierro y manganeso del agua paso a la cáscara y el hierro y manganeso de la cáscara paso al agua. No solo la cáscara de banano purifica el agua, sino también puede llegar a estabilizar el pH, aunque incrementa la conductividad eléctrica del agua, debido a la cantidad de sales presentes en la misma.

Es un sistema muy económico de purificación de agua proveniente de la industria minera, se recomienda hacer otros estudios con diferentes metales pesados para ver si el proceso es efectivo, como también realizar un sistema de purificación con cáscara de banano.



SUMMARY

The banana industry is a large market in the world which generates millions of tons of waste (shells), which can be reused in different products and organic fertilizers.

The Milluni basin located in the north of the city of La Paz, near Huayna Potosí to, has high levels of a result of mining activity carried out for 50 years and to date pollution. In the present study the use of banana peels was evaluated for decontaminating water contaminated with heavy metals such as iron, manganese and lead mining products of gaps Jankho Khota Milluni Chico and Milluni Grande, which was evidenced that banana peel contains large amounts of iron and manganese in the composition making the water increases the level of these, however in residues shell used in the water, could be seen that a decontamination effect, ie clean water and heavy metals, iron and manganese banana peel water through. There was an ion exchange, the iron and manganese from water passage to the shell and the iron and manganese shell water through. Not only banana peel purifies water, but can also prove to stabilize the pH, but increases the electrical conductivity of water, due to the amount of salts present in it.

It is an economical water purification system from the mining industry, it is recommended that further studies with different heavy metals to see if the process is effective, as well as perform a purification system with banana peel.

ÍNDICE GENERAL

	Página
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Antecedentes	1
1.2. Justificación	2
2. OBJETIVOS	2
2.1. Objetivo General	2
2.2. Objetivos Específicos	2
2.3. Hipótesis	3
3. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	3
3.4 <i>La cuenca de Milluni</i>	3
3.4.1. <i>Rol de los recursos de la zona.</i>	3
3.4.2. <i>Contaminación</i>	4
3.5. Banano (<i>Musa paradisiaca sp.</i>)	5
3.5.1. Cáscara de banano	5
3.3. Agua residual	8
3.3.1 Tipos de agua residual	9
3.3.2. Efectos en la salud de los metales pesados	9
3.3.3. Efectos en el medio ambiente y las plantas	10
3.4. Metales pesados	11
3.4.1. Efectos de los metales pesados en las plantas	11
3.4.2. <i>Hierro (Fe)</i>	12
3.4.2.1. Efecto en las plantas	12
3.4.2.2. Efectos en la salud	13
3.4.3. <i>Manganeso (Mn)</i>	13
3.4.3.1. Efecto en las plantas	13
3.4.3.2. Efectos en la salud	14
3.4.4. <i>Plomo (Pb)</i>	15
3.2.2.1. Efecto en las plantas	15



3.2.2.2. Efectos en la salud	15
3.4.5. <i>Cobre (Cu)</i>	15
3.4.5.1. Efecto en las plantas	16
3.4.5.2. Efectos en la salud	16
3.4.6. <i>Otros metales pesados y sus efectos</i>	16
3.5. <i>Tratamiento de aguas contaminadas con metales pesados</i>	17
3.5.1. <i>Precipitación química</i>	18
3.5.2. <i>Procesos de oxidación-reducción</i>	18
3.5.3. <i>Intercambio iónico</i>	19
3.5.4. <i>Tratamientos electroquímicos</i>	20
3.5.5. <i>Procesos de membrana</i>	21
3.5.6. <i>Extracción con disolventes</i>	22
3.5.7. <i>Adsorción sobre carbón activado</i>	22
4. LOCALIZACIÓN	24
4.1. Ubicación	24
4.2. Características de la zona de estudio	24
4.2.1. Lagunas de la Cuenca Milluni	26
a. <i>Laguna uno: Pata Khota (PK).</i>	26
b. <i>Laguna dos: Jankho Khota (JK).</i>	26
c. <i>Laguna tres: Milluni Chico (MCh)</i>	27
d. <i>Laguna cuatro: Milluni Grande (MG).</i>	28
e. <i>Laguna cinco: Ventanani (V).</i>	29
4.2.2. Estación Experimental de Cota Cota – Facultad de Agronomía	30
5. MATERIALES Y MÉTODOS	31
5.1. Materiales	31
5.1.1. Materiales del objeto de estudio	31
5.1.2. Materiales de gabinete	31
5.2. Metodología	32
5.2.1. Procedimiento experimental	32

5.2.2. Recolección de las muestras de agua	32
5.2.3. Recolección de las cáscaras de Banano	33
5.2.4. Secado y molido de la cáscara	35
5.2.4.1. Secado de la cáscara	35
5.2.4.2. Molido de la cáscara	37
5.2.5. Limpieza de agua	37
5.2.6. Análisis de laboratorio	39
5.3. Variables de respuesta	39
5.3.1. Análisis de laboratorio antes del tratamiento	39
5.3.2. Análisis de laboratorio después del tratamiento	39
5.3.4. Costos de recolección de cáscaras de banana	39
6. RESULTADOS Y DISCUSIONES	40
6.1. Peso de cáscara de banano individual	40
6.2. Numero de cáscaras de banano frescas por kilo	41
6.3. Cantidad de cáscara seca molida por kilo de cáscara fresca	42
6.4. Cantidad de metales pesados presentes en el agua	42
6.4.1. Hierro	44
6.4.2. Manganeso	45
6.4.3. Plomo	46
6.5. Conductividad eléctrica y pH en el agua	47
6.5.1. pH	47
6.5.2. Conductividad eléctrica	48
6.6. Análisis de los residuos de la cáscara de banano	50
6.7. Perdida de agua durante el tratamiento	52
6.8. Costos de recolección	52
6.9. Aplicaciones posibles	53
7. CONCLUSIONES	55
8. RECOMENDACIONES	57
9. BIBLIOGRAFÍA	59
10. ANEXOS	62

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Diagrama de limpieza del agua a través del uso de plátano.	7
Figura 2. Absorción de hierro por la planta	12
Figura 3. Absorción de manganeso por la planta	14
Figura 4. Intercambio iónico	20
Figura 5. Tratamiento electroquímico	21
Figura 6. Tratamiento por membrana	22
Figura 7. Tratamiento por Carbón Activo	23
Figura 8. Cuenca Milluni	25
Figura 9. Laguna Pata Khota	26
Figura 10. Laguna Jankho Khota	27
Figura 11. Laguna Milluni Chico	28
Figura 12. Laguna Milluni Grande.	29
Figura 13. Laguna Ventanani.	29
Figura 14. Estación Experimental de Cota Cota	30
Figura 15. Recolección de muestras de agua contaminada Laguna Jankho Khota	33
Figura 16. Recolección de muestras de agua contaminada Laguna Milluni Chico.	33
Figura 17. Recolección de muestras de agua contaminada (Muestra conjunta)	33
Figura 18. Profesores y alumnos recolectando las cáscaras de banano	34
Figura 19. Pesado de las cáscaras de banano	34
Figura 20. Cáscaras de banano con marbetes	34
Figura 21. Pesado de 1 kilo de cáscaras de banano.	35
Figura 22. Colocado de las cáscaras de banano para su secado.	36
Figura 23. Cáscaras secas después de 14 días	36
Figura 24. Pesado de la cáscara seca	37
Figura 25. Cáscara molida y tamizada	37
Figura 26. Pesado de la cáscara de banano molida	37
Figura 27. Cáscara de banano molida y colocada en el agua contaminada	38
Figura 28. Agua cernida y colocada en la probeta	38
Figura 29. Muestras de agua embotelladas	39

ÍNDICE DE CUADROS

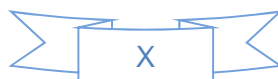
	Página
Cuadro 1. Niveles de contaminación de la cuenca de Milluni	4
Cuadro 2. Peso de cáscara de banano individual.	40
Cuadro 3. Cantidad de cáscaras por kilo	41
Cuadro 4. Cantidad de cáscara seca molida utilizable por kilo fresco	42
Cuadro 5. Criterios de calidad admisibles para aguas de uso agrícola.	43
Cuadro 6. Parámetros de los niveles guía de la calidad del agua para riego.	44
Cuadro 7. Datos de los análisis de laboratorio para hierro (mg/l).	45
Cuadro 8. Análisis de varianza para el hierro.	45
Cuadro 9. Datos de los análisis de laboratorio para manganeso (mg/l).	46
Cuadro 10. Análisis de varianza para el manganeso	46
Cuadro 11. Datos de los análisis de laboratorio para plomo (mg/l).	46
Cuadro 12. Análisis de varianza para el plomo	47
Cuadro 13. Resultados de análisis de los residuos de cáscara de banano.	50
Cuadro 14. Perdida promedio de agua	52
Cuadro 15. Descripción del transporte	53
Cuadro 16. Costos de recolección	53
Cuadro 17. Cantidad necesaria para purificación del agua	54

ÍNDICE DE GRAFICAS

	Página
Grafica 1. Relación de peso húmedo y seco.	41
Grafica 2. Niveles de pH en el agua contaminada y tratada	48
Grafica 3. Conductividad eléctrica en agua contaminada y tratada	49
Grafica 4. Hierro presente en residuos de cáscara	40
Grafica 5. Manganeso presente en residuos de cáscara	51
Grafica 6. Plomo presente en residuos de cáscara	51

ANEXOS

Anexo 1. Fotografía de la laguna Jankho Khota	
Anexo 2. Fotografía de la laguna Milluni Chico	
Anexo 3. Fotografía de la laguna Milluni Grande	
Anexo 4. Agua Contaminada sin tratamiento	
Anexo 5. Agua contaminada mezclada con la cáscara de banano	
Anexo 6. Residuos de la cáscara de banano utilizada en el tratamiento	
Anexo 7. Informe de Ensayo de Aguas A117/14 - 1	
Anexo 8. Informe de Ensayo de Aguas A117/14 - 2	
Anexo 9. Informe de Ensayo de Aguas A117/14 - 3	
Anexo 10. Informe de Ensayo de Aguas A117/14 - 4	
Anexo 11. Informe de Ensayo de Aguas A117/14 - 5	
Anexo 12. Informe de Ensayo de Materia Orgánica MO-41/14 - 1	
Anexo 13. Informe de Ensayo de Materia Orgánica MO-41/14 - 2	
Anexo 14. Informe de Ensayo de Materia Orgánica MO-41/14 - 3	



1. INTRODUCCIÓN

La necesidad de manejar los desechos mineros ha cobrado importancia durante los últimos años debido a la alta producción agrícola en América Latina. Muchos factores han influido para que este fenómeno suceda; entre otros, la apertura de mercados y mejoras en las técnicas de producción existentes. En este sentido, la actividad bananera ha sido una de las más productivas e intensivas. Sin embargo, las actuales políticas ambientales y económicas con respecto a la producción bananera a nivel mundial han impuesto nuevas exigencias para los productores y exportadores. Esto se debe principalmente al alto uso de plaguicidas y la generación de desechos como los plásticos, pinzote y el banano de rechazo. Por este motivo, se han propuesto una serie de proyectos para poder manejar estos desechos, con el fin de optimizar el uso de los recursos y dar paso a un desarrollo sostenible en la producción bananera.

1.1. Antecedentes

En la actualidad existen pocos trabajos sobre descontaminación de metales pesados en aguas, el más sobresaliente es el de la utilización de totora para la absorción de metales pesados, en el cual se trató aguas contaminadas con cal y que tuvo un efecto favorable y se recomienda que se utilicen diferentes cantidades de cal para la eliminación de los metales pesados, también se empleó totora en pequeñas lagunas artificiales con aguas contaminadas, donde se obtuvo buenos resultados y recomendando el empleo de este cultivo y otros con propiedades similares de absorción para la descontaminación de metales pesados en aguas. En Brasil (Sao Paulo) un grupo de investigadores están realizando estudios acerca del uso de cáscara de banano para purificar el agua, en el cual utilizaron 5 miligramos de cáscara de banano por cada 100 miligramos de agua, obteniendo así un 65% de limpieza de agua contaminada en una sola pasada y llegando a la conclusión de que este proceso es efectivo, sin embargo se necesita más información para saber las relaciones de peso y volumen para limpiar el agua.

1.2. Justificación

El problema es que debido al uso excesivo de agroquímicos con metales pesados y otros contaminantes para la producción de alimentos, la explotación minera para la extracción de metales preciosos y sobre todo al crecimiento poblacional en los últimos años que causan la contaminación de los ríos y fuentes de agua dulce que son necesarios para la producción de alimentos, se ve la necesidad de crear nuevas formas, no solo eficientes sino también económicas de limpiar o descontaminar el agua de los metales pesados que son absorbidas por las plantas mediante el riego con estas aguas contaminadas, y estas a su vez llegan a ser consumidas por las personas.

En la Cuenca Milluni, las concentraciones altas de los metales pesados en el agua exceden los valores normales para el consumo humano según la WHO (World Health Organization), existiendo condiciones ácidas resultado de la oxidación de sulfuros de metales pesados.

Razón por la cual, el propósito de este trabajo de investigación es el de hallar un método económico y orgánico de limpiar o descontaminar el agua con presencia de metales pesados, mediante la reutilización de la cáscara de banano para la purificación de las aguas contaminadas, ya que la cáscara no es utilizada en nuestro medio, sino más bien es votada y desechada.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo General

- Evaluar el uso de cáscaras de banano para descontaminar el agua con metales pesados de la cuenca de Milluni.

2.2. Objetivos Específicos

- Comparar dos niveles de cáscara de banano 5 y 10 g por cada 100 cm³ de agua contaminada con metales pesados.
- Determinar los costos de la recolección de cáscara y tratamiento del agua.

2.3. Hipótesis

Ho: La cáscara de banano no tiene efecto descontaminador sobre el agua con metales pesados.

3. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

3.1. La cuenca de Milluni

Se conoce como Milluni a un valle glaciar de la Cordillera Real dentro de un complejo fluviolacustre perteneciente a la provincia Murillo del departamento de La Paz, caracterizado por una serie de lagunas ubicadas en las faldas del nevado Huayna Potosí,

La región de Milluni se encuentra ubicada a 30 km de la ciudad de La Paz. Pertenece al Distrito rural 13 del municipio de El Alto, En la cartografía del Instituto Geográfico Militar se encuentra desde los 16°08` a 16° 10` latitud Sur y de 68° 17` a 68° 21` longitud Oeste, situada entre 4500 a 4700 m.s.n.m. El fondo del valle tiene una extensión de 1 Km aproximadamente, con varias lagunas de morrenas, más o menos acondicionadas.

El acceso a la zona se ve favorecida por la carretera que une a la ciudad de El Alto con las centrales hidroeléctricas y la población de Zongo. La región de Milluni es el paso obligatorio en este trayecto. Por la ubicación y por la altitud, esta zona se localiza dentro de la eco región alto andina semihúmeda.

3.1.1. Rol de los recursos de la zona.

En la actualidad estas lagunas y deshielos son las principales fuentes de agua potable para las ciudades de La Paz y El Alto. Las comunidades de la zona dependen de estos acuíferos para alimentar al ganado camélido y ganado ovino, los pocos bofedales y áreas verdes que existen en la zona, crecen en torno a los afluentes. Recientes reclamos dan cuenta de una contaminación por minerales pesados (ALEIDA, MIRANDA, ARANCIBIA, QUISPE, 2010).

3.1.2. Contaminación

En la Cuenca Milluni, las concentraciones altas de los metales pesados en el agua exceden los valores normales para el consumo humano según la WHO (World Health Organization). En las lagunas Millunichico y grande existen condiciones ácidas resultado de la oxidación de sulfuros de metales pesados se puede observar en orden de concentración los siguientes metales cadmio (Cd) > zinc (Zn) >> arsénico (As) >> cobre (Cu) – níquel (Ni) > plomo (Pb) > estaño (Sn), las condiciones hidrológicas tienen una alta influencia en el comportamiento de estos metales pesados (SALVARREDY, ARANGUREN *et al.*, 2005).

Estudios realizados por Apaza (1991) y Meneses (1997), sobre la influencia de esta contaminación minera, revelaron una importante alteración de la biota y la calidad del agua en la región.

Cuadro 1. Niveles de contaminación de la cuenca de Milluni.

Parametro	Unidades	MRM1	MRM2	MRM3	MRM4	MRM5	MRM6	MRM7	MRM8	MRM9
Temperatura	C	7,1	10,3	8,6	6,2	10,2	10	12	11,7	11,9
Ph		7,52	2,12	7,33	2,8	2,49	2,56	7,3	2,71	6,45
Color Verdadero	UCV	2	196	11	32	114	142	45	83	14
Conductiv.	mS/cm	39,7	6500	92	1540	3130	2850	115,8	1531	133,8
Turbiedad	NTU	1,6	42,2	29	14	25	2,56	7,3	2,71	6,45
Solidos disueltos	mg/l	29	5576	78	1586	4316	2217	85	1366	93
Dureza Total	mg/l	16,6	248,7	12	26,3	4,8	20,2	30,3	24,4	29,7
Sulfatos	mg/l	4,3	4257,1	23,2	577,9	2475,7	2390,9	36,2	819,4	50,3
Ca	mg/l	6	23,4	1,8	9,8	1	5,7	10	8,8	11,3
Mg	mg/l	0,4	46,2	1,8	0,4	0,6	1,5	1,3	0,6	0,4
Sb	mg/l	0,1	0,55	<0,04	0,05	0,17	0,13	<0,04	<0,04	<0,04
As	mg/l	<0,3	5,648	<0,3	<0,3	1,68	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3
Cd	mg/l	0,006	0,526	0,005	0,598	0,207	0,314	0,005	0,116	0,007
Cu	mg/l	<0,003	1,28	0,01	3,37	3,86	1,34	0,01	0,51	0,02
Co	mg/l	<0,005	0,39	<0,005	0,07	0,19	0,28	<0,005	0,08	<0,005
Cr	mg/l	0,034	0,11	0,02	0,03	0,05	0,06	0,03	0,03	0,02
Sn	mg/l	<0,1	0,21	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Fe	mg/l	0,262	428,6	1,23	74,6	389,8	311,2	121,2	71,35	2,29
Mn	mg/l	0,014	47,2	0,144	13,7	24	40,9	0,3	12,3	0,7
Hg	mg/l	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
Ni	mg/l	<0,01	0,574	0,014	0,194	0,296	0,471	0,022	0,162	0,017
Ag	mg/l	<0,002	0,004	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
Pb	mg/l	0,02	0,3	0,01	0,15	0,13	0,11	0,02	0,04	0,03
Zn	mg/l	0,0187	6,76	1,03	6,86	5,27	6,73	1,01	5,84	1,59

MRM1= Ingreso JankoKhota ; MRM2= Salida boca mina del nivel -36; MRM3=Ingreso canal bypass Jankho Khota, MRM4=Salida boca mina entrada principal; MRM5=Salida Canal bypass del nivel -36, MRM6=Salida

vertedero de Milluni Chico, MRM7=Salida canal bypass Jankho Khota; MRM8=Salida represa Milluni grande; MRM9=Salida canal COBEE: Mezclas Milluni y Jankho Khota.

Fuente: Apaza, 1991 y Meneses, 1997.

3.2. Banano (*Musa paradisiaca* sp.)

El mercado de banano en el mundo es el de consumo en fresco. Una cantidad mínima se destina a procesos industriales para la obtención de productos alimenticios. En general el banano puede ser utilizado industrialmente como materia prima para la obtención de productos como bananos pasos o bananos deshidratados, o secados, en almíbar, cremas, postres, pulpas, purés, compotas, mermeladas, conservas, harinas, hojuelas, fritos, jarabe, confitados y congelados, liofilizados, etanol, jaleas, bocadillo, néctares, jarabe de glucosa y fructosa, saborizantes y aromatizantes, dulce elaborado de su cáscara, alimento para el ganado y otros animales. Los desechos fibrosos del cultivo también sirven como materia prima para la elaboración de pulpas celulósicas, almidón y productos químicos. Los subproductos o abonos orgánicos que proceden del vástago se incorporan a la plantación y los residuos que se generan en la cosecha, fibras y papel a base de los pseudo tallos, alcohol, aguardiente, vino, vinagre de la fermentación de la fruta. En otros países se está manejando el uso de los residuos de cosecha para la elaboración de gas biológico, láminas de cartón, material para embalaje y pita. La utilización del banano como fuente alimenticia se remonta a épocas antiguas y su consumo se considera popular (ANACAFE, 2004).

3.2.1. Cáscara de banano

La cáscara de banano transforma alrededor del 90% de su almidón a azúcares aproximadamente 12 días después de su cosecha; un contenido de hasta 14,6% de azúcares en base seca ha sido encontrado. El contenido de fibra en la cáscara es del 13% en base seca. Los principales componentes de la cáscara son: celulosa (25%), hemicelulosa (15%) y lignina (60%) (CLAVIJO y MANER, 1974).

Las pieles de plátano, desecadas y pulverizadas, al mezclarlas con agua contaminada la limpian de metales pesados. Una proporción de 5 ml por 100 de líquido es capaz de purificar en un 65% agua con moléculas de uranio, cadmio o níquel. Es posible porque los metales pesados tienen una carga positiva que les

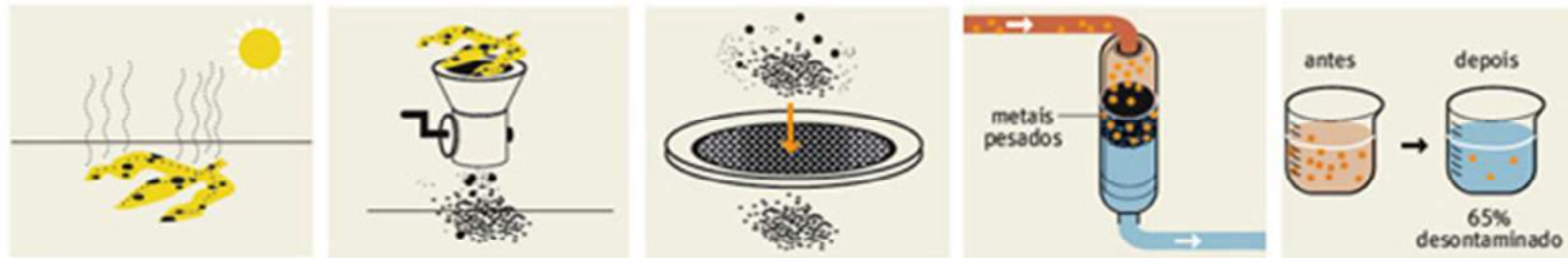
hace ser atraídos por las moléculas negativas del polvo de banana después de pasar una semana al sol para secarse. Si se repite el proceso, es posible purificar el agua completamente (ECOLOSFERA, 2013).

Si se tiene en cuenta la cantidad enorme de bananas que se consumen en el mundo, y se recogiera la cáscara para utilizarla en esto, podrían destinarse a limpiar aguas contaminadas industrialmente. Mientras, si se desecha, la piel de plátano tarda dos años en biodegradarse (ONECOLOGÍA, 2013).

Figura 1. Diagrama de limpieza del agua a través del uso de plátano.

PROCESO DE LIMPIEZA A TRAVÉS DEL USO DE PLÁTANO

Preparado con cáscara de la fruta - material que normalmente se desecha y de bajo coste - elimina los metales pesados del agua



1

La piel del plátano se coloca en bandejas bajo el sol para secar durante casi una semana

2

Después de secar se muele en un polvo fino, más fácil de utilizar

3

El polvo pasa a través de una pantalla especial para que las partículas permanecen del mismo tamaño

4

Este material es mezclado con agua contaminada y se agita para que, se una con los metales en suspensión

5

El porcentaje de agua descontaminado es al menos el 65%. El proceso se puede repetir

Fuente: ONECOLOGIA, 2013.

3.3. Agua residual

Las aguas residuales pueden definirse como las aguas que provienen del sistema de abastecimiento de agua de una población, después de haber sido modificadas por diversos usos en actividades domésticas, industriales y comunitarias (G.E.I.A., 2007).

La demanda de agua está aumentando continuamente en países en vías de desarrollo y países semiáridos, por consiguiente el agua de más alta calidad se destina para uso doméstico y la de más baja calidad para la irrigación. El agua residual puede usarse para la irrigación de cultivos agrícolas, ya que es una solución ante la falta de disponibilidad de agua para dichas actividades. El agua residual contiene significantes cantidades de metales pesados y otras sustancias que pueden ser tóxicos para las personas, pero también contiene nutrientes que pueden ser beneficiosos para cultivos agrícolas. La venta de productos agrícolas contaminados en centros urbanos representa un potencial riesgo a la salud, debido a que de esta manera se encuentran al alcance de los pobladores. Los metales pesados contenidos en alimentos de consumo humano pueden causar severos daños a la salud como fatiga, insomnio, irritabilidad estomacal, vomito, entre otros (LAHHAM, 2007).

El uso de agua residual para propósitos de irrigación, también pueden ser ricos en nutrientes, lo cual ayuda al crecimiento de las plantas. El uso de agua residual favorece el desarrollo de los cultivos debido a que proporcionan nitrógeno (N) y fósforo (P) así como materia orgánica, pero hay una preocupación sobre la acumulación potencial de elementos tóxicos como cadmio (Cd), cobre (Cu), hierro (Fe), plomo (Pb) y zinc (Zn) de las fuentes domésticas e Industriales (MILLER, 2003).

Cuando el agua residual se usa continuamente con fines de irrigación, los nutrientes se acumulan en el suelo lo cual puede causar efectos desfavorables ante la producción y calidad de las cosechas, también algunos nutrientes suelen lixiviarse (lavarse) a través de los perfiles del suelo. Por lo anterior, es importante considerar la cantidad de agua aplicada en cultivos agrícolas a manera de no afectar la fertilidad del suelo (MILLER, 2003).

3.3.1 Tipos de agua residual

Aguas Polutas: Son aguas contaminadas con sustancias peligrosas resultantes de actividades agrícolas o industriales. Tales sustancias incluyen metales pesados (plomo, mercurio, cobre, cadmio, cromo, arsénico), residuos de plaguicidas como insecticidas, fungicidas, herbicidas y otros compuestos. Al entrar en los cuerpos de agua estas sustancias tóxicas en elevadas concentraciones constituyen un riesgo significativo a la salud humana y de los animales.

Domésticas: Son aquellas utilizadas con fines higiénicos (baños, cocinas, lavanderías, etc.). Consisten básicamente en residuos humanos que llegan a las redes de alcantarillado por medio de descargas de instalaciones hidráulicas de la edificación también en residuos originados en establecimientos comerciales, públicos y similares.

Agrícolas: Estas son las aguas derivadas de actividades agrícolas, principalmente de la aplicación de fertilizantes y de la secreción y desintegración de plantas y animales, excluyendo aquellas que contienen residuos de plaguicidas dañinos.

Industriales: Son líquidos generados en los procesos industriales. Poseen características específicas, dependiendo del tipo de industria.

Infiltración y caudal adicionales: Las aguas de infiltración penetran en el sistema de alcantarillado a través de los empalmes de las tuberías, paredes de las tuberías defectuosas, tuberías de inspección y limpieza, etc. Hay también aguas pluviales, que son descargadas por medio de varias fuentes, como canales, drenajes y colectores de aguas de lluvias.

Pluviales: Son agua de lluvia, que descargan grandes cantidades de agua sobre el suelo. Parte de esta agua es drenada y otra escurre por la superficie, arrastrando arena, tierra, hojas y otros residuos que pueden estar sobre el suelo (G.E.I.A., 2007).

3.3.2. Efectos en la salud de los metales pesados

Cada metal y cada elemento químico contaminante tienen un mecanismo de acción y un lugar de acumulación preferido. El más conocido es el plomo que afecta varios sistemas, por ejemplo el sistema nervioso llegando a dañar las neuronas

especialmente las del cerebro. Otro metal pesado es el cadmio que afecta al riñón y otro que no es exactamente un metal pero es un contaminante es el arsénico que tiene efecto directo en las mitocondrias. Los daños en sí son muy diversos dependiendo de cada metal (EROSTEGUI, 2009).

3.3.3. Efectos en el medio ambiente y las plantas

Los efectos en el medio ambiente son bastante graves, y específicamente cambia la alcalinidad del suelo, obviamente, depende mucho de la concentración. También contaminan el agua y los cultivos. En estos si es una cantidad excesiva de plomo se puede producir algunas alteraciones en las plantas, también degrada el suelo, lo cual disminuye su productividad, si la contaminación es excesiva puede llegar a producir desertificación. A nivel de los ríos y lagos, también afecta principalmente la fauna. El problema de la contaminación del medio ambiente por metales pesados es que su efecto es silencioso, no se ve, y cuando nos damos cuenta del daño que producen, ya es tarde y sobre todo que son peligrosos para la salud (EROSTEGUI, 2009).

La sensibilidad de las especies vegetales a los metales pesados varía considerablemente a través de reinos y familias, siendo las plantas vasculares ligeramente más tolerantes (ROSA *et al.*, 1999).

Las diferentes respuestas de las plantas vasculares a metales pesados pueden ser atribuidas a factores genéticos y fisiológicos. En este sentido, el plomo (Pb) reduce el crecimiento radicular y la frecuencia de células mitóticas y el incremento de la frecuencia de células aberrantes en *Allium cepa* (CALOW, 1993).

Otros metales como el cadmio (Cd) y el zinc (Zn), se pueden absorber en mayor grado en plantas como rábanos y zanahorias, en las hojas de los rábanos se llegan a acumular mayores contenidos del metal, provocando en las hojas un marchitamiento y disminución en la longitud de sus raíces y de la biomasa, para zanahorias se reporta en igual grado acortamiento en raíces y acumulación mayor en las mismas del metal.

El manganeso (Mn) disponible en algunos suelos, es capaz de sustituir a elementos esenciales para las plantas como son el caso de calcio (Ca) y magnesio (Mg). Por lo que se puede ver, la tendencia de este metal a pesar que puede ser un metal en

menor grado absorbido por los suelos, es más fácilmente absorbido por las plantas y tiene mayor movilidad para llegar a las diferentes partes u órganos de la planta causando daños en las mismas (PRIETO *et al.*, 2006).

3.4. Metales pesados

Metales pesados son aquellos cuya densidad es por lo menos cinco veces mayor que la del agua. Tienen aplicación directa en numerosos procesos de producción de bienes y servicios. Los más importantes son:

Arsénico (As), cadmio (Cd), cobalto (Co), cromo (Cr), cobre (Cu), mercurio (Hg), níquel (Ni), plomo (Pb), estaño (Sn) y zinc (Zn).

Metales tóxicos son aquellos cuya concentración en el ambiente puede causar daños en la salud de las personas. Los términos metales pesados y metales tóxicos se usan como sinónimos pero sólo algunos de ellos pertenecen a ambos grupos. Algunos metales son indispensables en bajas concentraciones, ya que forman parte de sistemas enzimáticos, como el cobalto, zinc, molibdeno, o como el hierro que forma parte de la hemoglobina. Su ausencia causa enfermedades, su exceso intoxicaciones (HARTE, J., y HOLDEN, R. 1991).

3.4.1. Efectos de los metales pesados en las plantas

Los metales pesados inhiben el flujo de electrones de la cadena de transporte o del Ciclo de Calvin; por lo tanto, cuando la intensidad lumínica es alta, el aparato fotosintético absorbe más energía lumínica que la que suele utilizarse en reacciones metabólicas normales. Como consecuencia, el aparato fotosintético transfiere la energía a los únicos aceptores disponibles en los cloroplastos: los radicales de oxígeno, donde sucede la reacción de Mehler, cuyo producto, el radical anión superóxido, forma peróxido de hidrógeno. El exceso de peróxido de hidrógeno fomenta la formación de radicales hidroxilo (OH^\cdot), oxidantes fuertes de ácidos orgánicos que pueden iniciar la formación en cadena de nuevos radicales altamente tóxicos para las células. Adicionalmente, la inhibición de la cadena de transporte electrónico fotosintético también puede favorecer la transferencia de energía desde la clorofila excitada por la luz hacia el O_2 formándose oxígeno en estado de singlete,

el cual, debido a su elevada reactividad es altamente tóxico para las células (GARCÍA, 2006).

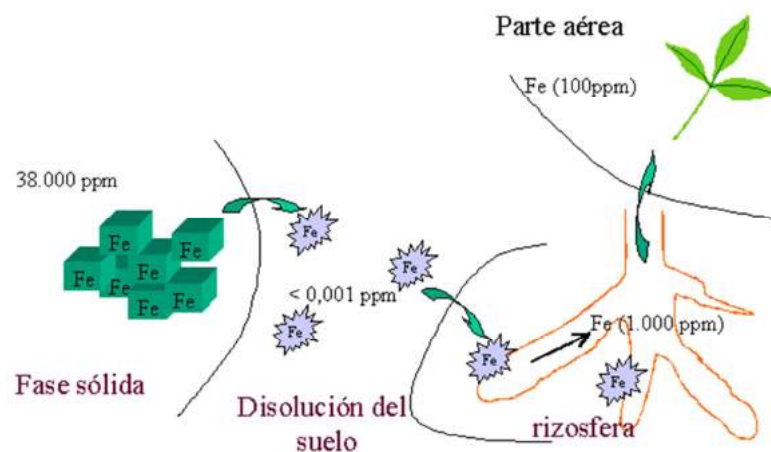
3.4.2. Hierro (Fe)

La presencia del hierro en el agua provoca precipitación y coloración no deseada. El Hierro puede ser encontrado en carne, productos integrales, patatas y vegetales. El cuerpo humano absorbe hierro de animales más rápido que el Hierro de las plantas. El hierro es una parte esencial de la hemoglobina: el agente colorante rojo de la sangre que transporta el oxígeno a través de nuestros cuerpos.

3.4.2.1. Efecto en las plantas

El hierro (III) ó arsenito pentahidratado, puede ser peligroso para el medio ambiente; se debe prestar especial atención a las plantas, el aire y el agua. La toxicidad de hierro en plantas no se conoce en condiciones normales de cultivos, sin embargo en los arrozales esta situación es muy común por lo que la toxicidad del hierro (II) puede ser un aspecto nutricional importante que se debe controlar. En el arroz dicha toxicidad se denomina “Bronzing”, y se inicia con pequeños puntos rojizos a marrones sobre la base de las hojas que acaba propagándose a toda la hoja, que pardea. Las hojas de arroz contienen entonces más de 300 ppm de hierro (LENNTECH, 2013).

Figura 2. Absorción de hierro por la planta



Fuente: LENNTECH, 2013.

3.4.2.2. Efectos en la salud

Puede provocar conjuntivitis, coriorretinitis, y retinitis si contacta con los tejidos y permanece en ellos. La inhalación crónica de concentraciones excesivas de vapores o polvos de óxido de hierro puede resultar en el desarrollo de una neumoconiosis benigna, llamada sideriosis, que es observable como un cambio en los rayos X. Ningún daño físico de la función pulmonar se ha asociado con la sideriosis. La inhalación de concentraciones excesivas de óxido de hierro puede incrementar el riesgo de desarrollar cáncer de pulmón en trabajadores expuestos a carcinógenos pulmonares. LD50 (oral, rata) = 30 mg/kg (LD50 = Dosis Letal 50). Dosis individual de una sustancia que provoca la muerte del 50% de la población animal debido a la exposición a la sustancia por cualquier vía distinta a la inhalación (LENNTECH, 2013).

3.4.3. Manganeso (Mn)

El manganeso se oxida con facilidad en el aire para formar una capa castaña de óxido. También lo hace a temperaturas elevadas. A este respecto su comportamiento es más parecido a su vecino de mayor número atómico en la tabla periódica (el hierro), que al de menor número atómico, el cromo.

El manganeso es un metal bastante reactivo. Aunque el metal sólido reacciona lentamente, el polvo metálico reacciona con facilidad y en algunos casos, muy vigorosamente.

3.4.3.1. Efectos en las plantas

En plantas los iones del Manganeso son transportados hacia las hojas después de ser tomados en el suelo. Cuando muy poco manganeso puede ser absorbido desde el suelo esto causa disturbaciones en los mecanismos de las plantas. Por ejemplo, disturbaciones en la división del agua en hidrógeno y oxígeno, en lo cual el Manganeso juega un papel importante.

El Manganeso puede causar síntomas de toxicidad y deficiencia en plantas. Cuando el pH del suelo es bajo las deficiencias de Manganeso son más comunes.

Concentraciones altamente tóxicas de Manganeso en suelo pueden causar inflamación de la pared celular, abrasamiento de las hojas y puntos marrones en las hojas. Las deficiencia puede también causar estos efectos entre concentraciones tóxicas y concentraciones que causan deficiencias una pequeña área de concentraciones donde el crecimiento de la planta es óptimo puede ser detectado (LENNTECH, 2013).

Figura 3. Absorción de manganeso por la planta.



Fuente: LENNTECH, 2013.

3.4.3.2. Efectos en la salud

La toma de Manganeso por los humanos mayoritariamente tiene lugar a través de la comida, como son las espinacas, te y la hierbas. Las comidas que contienen las más altas concentraciones son los granos (maíz, trigo, cebada, etc.) y arroz, las semillas de soja, huevos, frutos secos, aceite de oliva, judías verdes y ostras. Después de ser absorbido en el cuerpo humano el manganeso será transportado a través de la sangre al hígado, los riñones, el páncreas y las glándulas endocrinas.

Los efectos del manganeso mayormente ocurren en el tracto respiratorio y el cerebro. Los síntomas por envenenamiento con Manganeso son alucinaciones, olvidos y daños en los nervios. El Manganeso puede causar Parkinson, embolia de los pulmones y bronquitis (LENNTECH, 2013).

3.4.4. Plomo (Pb)

El nivel de plomo en el suelo a menudo es alto cerca de las fábricas, ya estén en funcionamiento o abandonadas. Hasta la década de los 50, los productores de frutas usaban pesticidas que contenían arseniato de plomo; por eso el suelo en los huertos abandonados puede tener una concentración alta de plomo. El plomo también puede resultar del uso de pinturas o gasolina con plomo (ANGINA, S. 2008).

3.4.4.1. Efectos en las plantas

La fitotoxicidad por plomo ocasiona desordenes en las actividades fisiológicas normales de las plantas hasta matar eventualmente las células a altas concentraciones. Los principales procesos fisiológicos afectados son la actividad enzimática, la nutrición mineral, el potencial hídrico, el estatus hormonal, la estructura de la membrana y el transporte de electrones. Los sistemas de toxicidad por plomo (Pb) pueden dividirse en síntomas no específicos y específicos, los síntomas visuales no específicos consisten en una inhibición rápida del crecimiento radicular, reducción del área foliar, clorosis y aparición de manchas pardo – rojizas fenólicas en el tallo, peciolo y hojas, y necrosis foliar. Por otra parte, la toxicidad por plomo inhibe la germinación de las semillas y retarda el crecimiento de las plantas. Los síntomas específicos consisten en una disminución del porcentaje e índice de germinación de la proporción longitud radicular/parte aérea, del índice de tolerancia a plomo y mercurio y del peso seco de las raíces y de la parte aérea (GARCÍA, 2006).

3.4.4.2. Efectos en la salud

En los niños, el plomo puede causar daño cerebral. Por eso puede ser que no haya ningún síntoma inmediato después de la exposición del niño al plomo; los efectos pueden tardar años en aparecer. Los niños de entre 6 meses a 6 años de edad corren el mayor riesgo. En los adultos, el plomo puede dañar el corazón, los riñones, los órganos reproductivos y los sistemas de nervios y sangre.

3.4.5. Cobre (Cu)

La mayoría de los compuestos del Cobre se depositarán y se enlazarán tanto a los sedimentos del agua como a las partículas del suelo. Compuestos solubles del Cobre

forman la mayor amenaza para la salud humana. Usualmente compuestos del Cobre solubles en agua ocurren en el ambiente después de liberarse a través de aplicaciones en la agricultura (LENNTECH, 2013).

3.4.5.1. Efectos en las plantas

El cobre produce lesiones en las raíces que comienzan en el plasmalemma y terminan con la destrucción de la estructura normal de la membrana; inhibe el crecimiento radicular y promueve la formación de numerosas raicillas (secundarias) cortas y de color pardo. El cobre se acumula en la corteza de las raíces y en las paredes celulares. Se produce clorosis porque el Fe es desplazado de los centros fisiológicos del metabolismo y reemplazado por el Cu.

El Cobre no se rompe en el ambiente y por eso se puede acumular en plantas y animales cuando este es encontrado en suelos. En suelos ricos en Cobre sólo un número pequeño de plantas pueden vivir. Por esta razón no hay diversidad de plantas cerca de las fábricas de Cobres, debido al efecto del Cobre sobre las plantas, es una seria amenaza para la producción en las granjas. El Cobre puede seriamente influir en el proceso de ciertas tierras agrícolas, dependiendo de la acidez del suelo y la presencia de materia orgánica. A pesar de esto el estiércol que contiene (LENNTECH, 2013).

3.4.5.2. Efectos en la salud

El Cobre puede ser encontrado en muchas clases de comidas, en el agua potable y en el aire. Debido a que absorbemos una cantidad eminente de cobre cada día por la comida, bebiendo y respirando. La absorción del cobre es necesaria, porque el cobre es un elemento traza que es esencial para la salud de los humanos. Aunque los humanos pueden manejar concentraciones de cobre proporcionalmente altas, mucho Cobre puede también causar problemas de salud (LENNTECH, 2013).

3.4.6. Otros metales pesados y sus efectos

Arsénico (As): En plantas La acumulación de arsénico en las plantas puede estar afectada por muchos factores, incluyendo las especies de plantas, el tipo de compuestos utilizados, los métodos de aplicación, las condiciones del suelo y la

aplicación de fertilizantes. Los residuos más altos de arsénico se encuentran en las raíces de plantas (por ejemplo remolacha y rábano), con valores intermedios en las partes altas vegetativas. **En la salud:** Bronquitis; cáncer de esófago, laringe, pulmón y vejiga; hepatotoxicidad; enfermedades vasculares.

Cadmio (Cd): En plantas: El Cadmio es fuertemente adsorbido por la materia orgánica del suelo. Cuando el Cadmio está presente en el suelo este puede ser extremadamente peligroso, y la toma a través de la comida puede incrementar. Los suelos que son ácidos aumentan la toma de Cadmio por las plantas. **En la salud:** Bronquitis, enfisema; nefrotoxicidad; infertilidad; cáncer de próstata; alteraciones neurológicas; hipertensión; enfermedades vasculares.

Mercurio (Hg): En plantas: En el nivel celular, los posibles mecanismos que los metales pesados pueden dañar comprenden el bloqueo de moléculas importantes (por ejemplo, enzimas y polinucleótidos), el transporte de iones esenciales, el desplazamiento o la sustitución de iones metálicos de las moléculas (tales como el Mg de la clorofila), la desnaturalización o la inactivación de proteínas y la perturbación de las membranas celulares o de las organelas, la exposición al Hg también puede reducir la fotosíntesis, la velocidad de la transpiración y la incorporación de agua y la síntesis de clorofila. **En la salud:** Alteraciones neurológicas; afecciones del sistema respiratorio, Autismo, Depresión. El metal pesado más estudiado y conocido y las patologías que presenta y la forma de limpiar del organismo es el Mercurio. Cuando eliminamos este metal del cuerpo el resto de metales tóxicos, incluso en mayores cantidades, son desalojados con mayor facilidad, siendo este metal el principal a vencer. Este metal se encarga de destruir los microtúbulos celulares impidiendo la eliminación de tóxicos (BUENAS TAREAS, 2011).

3.5. Tratamiento de aguas contaminadas con metales pesados

Las principales técnicas de eliminación de iones metálicos de las aguas residuales son la precipitación química, la oxidación-reducción, el intercambio iónico, los tratamientos electroquímicos, los procesos de membrana, la extracción con

disolventes, la adsorción sobre carbón activado y la bioadsorción (IZQUIERDO, 2010).

3.5.1. Precipitación química

La precipitación química consiste en la separación de los iones metálicos de una disolución como consecuencia de la disminución de la solubilidad de los metales con el incremento del pH. La precipitación química consiste en la formación del hidróxido metálico correspondiente mediante el ajuste del pH a través de la adición de compuestos básicos como hidróxido sódico (NaOH), hidróxido cálcico (Ca(OH)_2) o cal (CaO), y es el método más ampliamente utilizado para la eliminación de metales disueltos en el agua residual. En la mayoría de casos, el hidróxido cálcico es el reactivo más eficaz porque da lugar a la formación de precipitados muy estables y posee capacidad para desestabilizar coloides. A su vez, juega un papel importante como adsorbente, ya que incluso a valores de pH elevados están presentes partículas sólidas de hidróxido cálcico con capacidad para retener iones adsorbidos.

Para una correcta precipitación de los metales se recomienda la aplicación de una mezcla rápida al inicio de la operación seguida de una disminución de la velocidad de agitación que favorezca la floculación. Como consecuencia de la precipitación, se forma un fango con elevadas concentraciones de metal que debe retirarse y gestionarse adecuadamente como residuo peligroso.

La relación entre la solubilidad del metal y el pH de la disolución depende del tipo de metal que se considere. Existe un pH de mínima solubilidad que es diferente para cada metal, y que no se encuentra necesariamente en el intervalo 6.5–9.5, especificado como estándar para las corrientes residuales descargadas, lo que implica que el ajuste de pH a un valor alrededor de 8.5 puede no producir resultados satisfactorios en la depuración. Por ejemplo, el Ni requiere al menos un pH de 10 para su precipitación, mientras que el valor de solubilidad mínima para el Zn se da a valores de pH no superiores a 10 (EILBECK y MATTOCHK, 1987).

3.5.2. Procesos de oxidación-reducción

Los procesos de oxidación-reducción consisten en la adición de un compuesto que actúa como agente oxidante o reductor, produciéndose una transformación como

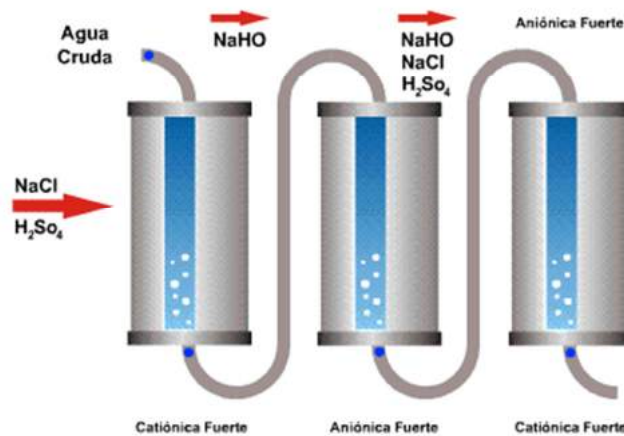
consecuencia de la transferencia electrónica entre el compuesto añadido y los compuestos presentes en el agua residual. Se utilizan para eliminar un compuesto contaminante del agua residual por cambio de fase, como en la transformación de nitrato a nitrógeno, o para transformar un compuesto que se encuentra en una forma de elevada toxicidad a una forma menos peligrosa o que puede eliminarse más fácilmente. Uno de los procesos que más se emplean en el tratamiento de efluentes con metales pesados es la reducción del cromo hexavalente, Cr (VI), a cromo trivalente, Cr (III), como paso previo a su precipitación. Esta reacción se lleva a cabo mediante la adición de agentes reductores como el dióxido de azufre (SO₂) y sus sales, el bisulfito sódico (NaHSO₃) o el ión ferroso (Fe (II)). Son reacciones fuertemente dependientes del pH, de manera que el intervalo de trabajo depende del reactivo utilizado. Por ejemplo, la reducción de Cr (VI) a Cr (III) utilizando SO₂ o algunas de sus sales se lleva a cabo en el intervalo de pH 2– 3, mientras que si se utiliza NaHSO₃ el pH de trabajo debe ser básico (pH>7) (IZQUIERDO, 2010).

3.5.3. Intercambio iónico

El intercambio iónico es un proceso por el cual los iones presentes en un material de intercambio son reemplazados por iones de una especie diferente que se encuentran en la disolución. El material de intercambio se conoce con el nombre de resina de intercambio iónico y la forma más habitual de operación es con la resina en forma de columna empaquetada. Cuando la resina se agota tras cierto tiempo de funcionamiento, se hace necesaria su regeneración. Los costes de operación mayoritarios provienen precisamente de la regeneración, siendo imprescindible su optimización tanto desde el punto de vista económico como medio ambiental. El intercambio iónico permite eliminar metales presentes en elevada concentración en efluentes de empresas de diversos sectores industriales como el de mecanizado y preparación de metales, la industria del sector de la electrónica, los recubrimientos y acabados metálicos, la industria farmacéutica, etc. La utilización de resinas suficientemente específicas puede permitir la recuperación de los metales. Esta tecnología presenta como principal ventaja que puede ser muy específica si se selecciona adecuadamente la resina. No obstante, a efectos prácticos es difícil aprovechar esta ventaja por la elevada variabilidad en la composición de los

efluentes industriales, como suele ocurrir en las industrias del sector de tratamiento de superficies metálicas. Además, es una tecnología que presenta un coste elevado tanto por el coste de adquisición de las resinas como por el de su regeneración. Por otro lado, tras la regeneración de las resinas se genera un efluente con concentraciones elevadas de metales, que debe gestionarse adecuadamente como residuo peligroso de no ser posible la recuperación de metales (IZQUIERDO, 2010).

Figura 4. Intercambio iónico.

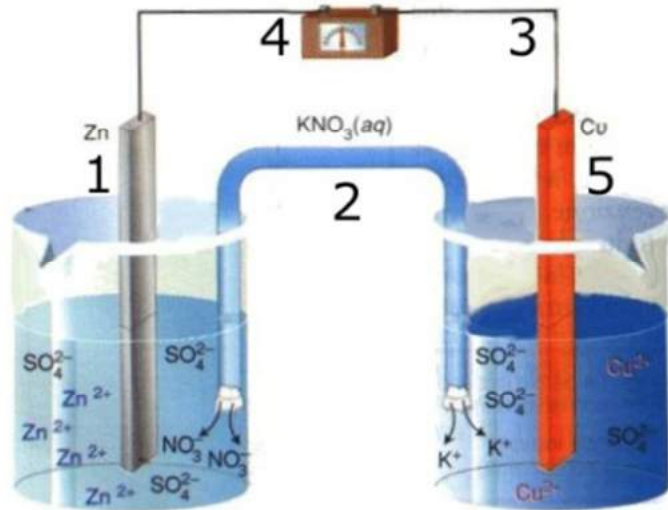


Fuente: IZQUIERDO, 2010.

3.5.4. Tratamientos electroquímicos

Los tratamientos electroquímicos son reacciones de oxidación – reducción inducidas por la aplicación de energía eléctrica externa entre dos electrodos que se encuentran inmersos en una disolución conductora. La aplicación más conocida de esta tecnología es la reducción catódica de los iones metálicos de una disolución para la deposición del metal. Frente a la precipitación química, presenta la ventaja de la obtención del metal con unas mejores características para su reutilización. Sin embargo, si existen varios metales en la disolución, situación bastante frecuente, aparecen muchas dificultades para la obtención de un producto metálico aprovechable. Tampoco resulta una técnica adecuada cuando la concentración de metal es reducida, normalmente inferior a 10 mg, debido a la disminución de la eficacia de la operación (EILBECK y MATTOCHK, 1987).

Figura 5. Tratamiento electroquímico.

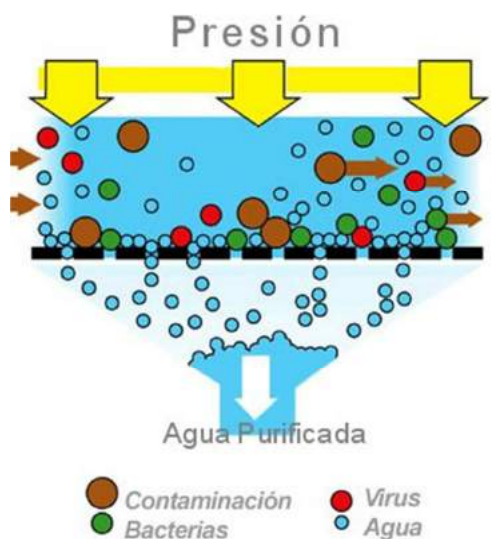


Fuente: IZQUIERDO, 2010.

3.5.5. Procesos de membrana

Los procesos de depuración por membranas consisten en una separación física de los solutos presentes en el agua residual al pasar a través de una membrana selectiva a cierto tipo de iones. Los procesos de membrana se dividen en microfiltración, ultrafiltración, nanofiltración, ósmosis inversa, diálisis y electrodiálisis. Se diferencian entre sí por el material constituyente de la membrana, la naturaleza de la fuerza impulsora, el mecanismo de separación y el tamaño de poro de la membrana. Uno de los problemas más importantes de estos procesos es el ensuciamiento de la membrana, conocido comúnmente como fouling, que reduce el flujo de agua limitando la capacidad del sistema. Para reducir el ensuciamiento y alargar la vida útil de las membranas, se requiere de un pretratamiento del agua a tratar y de un mantenimiento continuo de las membranas (IZQUIERDO, 2010).

Figura 6. Tratamiento por membrana



Fuente: IZQUIERDO, 2010.

3.5.6. Extracción con disolventes

El tratamiento con disolventes para la eliminación de metales pesados consiste en la extracción del metal por contacto del efluente contaminado con un disolvente orgánico, seguido de una separación de la fase orgánica del efluente descontaminado. Una vez alcanzada la separación de fases, el disolvente orgánico cargado de metal pesado se pone en contacto con una corriente acuosa para recuperar el metal y permitir la reutilización del disolvente. Esta técnica es utilizada para la recuperación del metal cuando su concentración en la corriente residual es elevada (IZQUIERDO, 2010).

3.5.7. Adsorción sobre carbón activado

La adsorción es un proceso en el que átomos, iones o moléculas son retenidas en la superficie de un material. Consiste en un proceso de separación de un soluto presente en una fase líquida o gas que se concentra sobre la superficie de otra fase generalmente sólida. Se considera un fenómeno superficial. Se denomina adsorbato al soluto y adsorbente a la fase sobre la cual se acumula. Si bien el carbón activado presenta un elevado potencial para la adsorción de compuestos orgánicos y algunos inorgánicos, su aplicación al tratamiento de aguas residuales no está muy extendida, y sus usos en este campo suelen ser como tratamiento de afino de una corriente que

ha sido previamente tratada en otro proceso, para eliminar parte de la materia orgánica disuelta que permanece tras el tratamiento. Se usa principalmente para eliminar compuestos orgánicos refractarios, así como compuestos inorgánicos residuales como el nitrógeno, sulfuros y metales pesados (TCHOBANOGLOUS, BURTON y STENSEL, 2003).

Figura 7. Tratamiento por Carbón Activo.



Fuente: IZQUIERDO, 2010.

4. LOCALIZACIÓN

4.1. Ubicación

La presente investigación se realizó en el Municipio de La Paz, la recolección de las muestras de agua contaminada con metales pesados se realizó en las lagunas que conforman la cuenca de Milluni que son la laguna Milluni Grande, laguna Milluni Chico, Laguna Ventanani, Laguna Pata Khota, Laguna Jankho Khota. Y de estas lagunas se seleccionaron tres que son la Laguna Milluni Grande, Milluni Chico y Jankho Khota, ya que en las otras dos lagunas Ventanani y Pata Khota según bibliografía no presentan o no están afectadas por la contaminación.

El secado de las cáscaras de banana se realizó en la Estación Experimental de Cota Cota dependiente de la Facultad de Agronomía, ya que en los colegios dependientes del Gobierno Autónomo Municipal de La Paz no querían aceptar, porque los directores tenían miedo de que se pueda hacer un foco de infección.

En cuanto a los análisis de metales pesados presentes en el agua, se mandó las muestras tratadas y sin tratar al Laboratorio de Calidad Ambiental (LCA) del Instituto de Ecología ubicado en el Campus Universitario de la U.M.S.A.

4.2. Características de la zona de estudio

La región de Milluni se encuentra ubicada a 30 km de la ciudad de La Paz. Pertenece al Distrito rural 13 del municipio de El Alto, En la cartografía del Instituto Geográfico Militar se encuentra desde los 16°08` a 16°10` latitud sur y de 68°17` a 68° 21` longitud oeste, situada entre 4500 a 4700 metros sobre el nivel del mar. El fondo del valle tiene una extensión de 1 Km aproximadamente, con varias lagunas de morrenas, más o menos acondicionadas (RAFFAILLAC, 2002).

Figura 8. Cuenca Milluni



Fuente: Google Earth Pro, 2014

4.2.1. Lagunas de la Cuenca Milluni

a. Laguna uno: Pata Khota (PK)

Se encuentra a 4665 metros sobre el nivel del mar, en las coordenadas $16^{\circ} 17' 53''$ S y $68^{\circ} 08' 00''$ O, presenta una forma circular, con una superficie de 17.7 hectáreas y una profundidad máxima de 11 metros. Sus principales fuentes de agua provienen del glaciar Huayna Potosí situado al noroeste. El agua de la laguna es cristalina y tiene un pH dentro de la neutralidad no está afectada por la contaminación, su temperatura fluctúa entre 12.6°C y 3.2°C (SALVARREDY - ARANGUREN, 2003).

Figura 9. Laguna Pata Khota.



Fuente Google Earth Pro, 2014.

b. Laguna dos: Jankho Khota (JK)

Se encuentra debajo de la laguna Pata Khota a una altitud de 4573 metros sobre el nivel del mar, en las coordenadas $16^{\circ} 18' 42''$ S y $68^{\circ} 08' 48''$ O, tiene una forma alargada, con una superficie de 56.7 hectáreas y profundidad máxima de 9 metros. Las fuentes de agua de esta laguna son variables, los cursos de agua que la alimentan varían frecuentemente según la estación del año y las condiciones climáticas, recibe afluentes de la Laguna Pata Khota y presenta una similar temperatura, el pH varía entre 7.4 y 6.6 (SALVARREDY - ARANGUREN, 2003).

Esta laguna se encuentra parcialmente contaminada, debido a un afluente de mina que desemboca en la parte sur donde existe un canal lateral denominado “bypass”,

que fue construido por la ex empresa de agua potable SAMAPA, con el objetivo de transportar agua sin contaminación hacia la salida del sistema Milluni donde llega a mezclarse con las aguas de la laguna Milluni Grande (APAZA, 1991 y RAFFAILLAC, 2002).

Figura 10. Laguna Jankho Khota.



Fuente Google Earth Pro, 2014.

c. Laguna tres: Milluni Chico (MCh)

Se encuentra debajo de la laguna Jankho Khota a una altitud de 4558 metros sobre el nivel del mar, en las coordenadas $16^{\circ} 20' 34''$ S y $68^{\circ} 09' 41''$ O, tiene una forma circular, con una superficie mayor a 2.69 hectáreas, acumula una enorme cantidad de desechos de la mina Milluni, convirtiéndose en un sedimentador artificial, con una baja capacidad de embalse de agua. Entre los sedimentos se encuentran minerales como: Casiterita (SnO_2), Siderita ($\text{FeCO}_3\text{H}_2\text{O}$), Pirita (FeS_2), Blenda ($(\text{ZnFe})\text{S}$), Cuarzo (SiO_2), Arsenopirita, (FeAsS), Marcasita, Pyrrrotita (FeS), Galena (PbS), Wolframita (MnFeZnWO_4), Etanita ($\text{Cu}_2\text{FeSnS}_4$), Hematina ($\text{FeO}_2\text{H}_2\text{O}$), Apatita ($\text{Ca}_5\text{P}_3\text{Si}_3\text{O}_{20}$), Calcopirita, (CuFeS_2), Esfalerita (ZnS), debido a esta contaminación existen drenajes ácidos con un pH ácido entre 2.8 y 2.4 (SALVARREDY - ARANGUREN, 2003).

Figura 11. Laguna Milluni Chico.



Fuente Google Earth Pro, 2014.

d. Laguna cuatro: Milluni Grande (MG)

Se encuentra a la salida del valle de Milluni a una altitud de 4542 metros sobre el nivel del mar, en las coordenadas 16° 21' 32 S y 68° 10' 02 O, con una superficie de 143.86 hectáreas y una profundidad máxima de 8,6 metros. La laguna recibe los desechos sedimentarios de la laguna Milluni Chico, sus otras fuentes de agua provienen de la rívera izquierda del valle, los cursos de agua se encuentran en contacto con muchas actividades casiterita (SnO_2), esta laguna se alimenta por un curso de agua permanente que nace en la laguna Churuimani, las otras fuentes de agua permanentes son de origen subterráneo. El pH del agua oscila entre 3 y 2.7 su temperatura entre 10.2 °C y 4.9 °C, el agua es de color rojo anaranjado. Por la parte norte acumula desechos provenientes de la mina Milluni (RAFFAILLAC, 2002 y SALVARREDY-ARANGUREN, 2003).

Figura 12. Laguna Milluni Grande.



Fuente Google Earth Pro, 2014.

e. Laguna cinco: Ventanani (V)

Se encuentra a 4768 metros sobre el nivel de mar, es una pequeña laguna de forma circular, con una superficie menor a 17 hectáreas, con una profundidad mayor a 17 m, las fuentes de agua que alimentan esta laguna provienen del glaciar Charquini. A diferencia de las lagunas Pata Khota y Jankho Khota, esta laguna no presenta vegetación; tiene un pH estable durante todo el año de 4.9, no presenta contaminación por la actividad minera. Su temperatura fluctúa entre 13 °C y 10.7 °C (SALVARREDY-ARANGUREN, 2003).

Figura 13. Laguna Ventanani.



Fuente Google Earth Pro, 2014.

4.2.2. Estación Experimental de Cota Cota – Facultad de Agronomía

La presente investigación se realizó en la Estación Experimental de Cota Cota, dependiente de la Facultad de Agronomía de la Universidad Mayor de San Andrés, en la ciudad de La Paz, en la provincia Murillo del departamento de La Paz. Entre las coordenadas $16^{\circ} 32' 04''$ S, y $68^{\circ} 03' 44''$ O, a una altura de 3400 m.s.n.m. (HUAYLLANI, 2007).

Figura 14. Estación Experimental de Cota Cota



Fuente Google earth Pro, 2014.

5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. Materiales

Los materiales que se utilizaron para la realización del trabajo de investigación fueron los siguientes:

Para la recolección de muestras de agua contaminadas con metales pesados se usaron:

- 2 Bidones de 5 litros
- Botellas Pet de 2 litros
- Botellas Pet de 500 ml.

Para realizar el sistema de limpieza del agua se utilizó lo siguiente:

- Agitador mecánico o manual.

Los materiales biológicos que se utilizaron fueron:

- Cáscara de banana

Para realizar la preparación de la cáscara de banana se utilizó los siguientes insumos:

- Mortero o moledora.
- Cernidor.
- Balanza
- Cámara fotográfica.
- Papel pH.

5.1.2. Material de gabinete

Para efectuar la toma de datos y los respectivos cálculos para hacer el análisis comparativo se utilizaron los siguientes materiales:

- Computadora e impresora.
- Calculadora.
- Lápiz y papel.
- Planillas de los análisis de laboratorio.
- Planillas adicionales para la recolección de datos.

5.2. Metodología

5.2.1. Procedimiento experimental

El presente trabajo de investigación se llevó a cabo en la gestión 2014. La metodología está dividida en la parte de campo que es el secado de las cáscaras de banano en conjunto con la recolección de muestras de agua y la parte de laboratorio. Para el análisis de los datos se utilizó el diseño experimental Completamente Aleatorizado o al Azar y a continuación se muestra su modelo aditivo lineal.

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij} \quad \text{Dónde: } Y_{ij}: \text{ Variable de interés o de respuesta.}$$

μ : es la media general del experimento.

τ_i : es el efecto del tratamiento.

ε_{ij} : es el error aleatorio asociado a la respuesta Y_{ij} .

5.2.2. Recolección de las muestras de agua

La recolección de las muestras de agua se realizó en las lagunas pertenecientes a la cuenca de Milluni, se tomó en cuenta 3 lagunas de la cuenca ya que en bibliografía solo las lagunas de Jankho Kotha, Milluni Grande y Milluni Chico presentan niveles de contaminación elevados por la actividad minera y las lagunas Pata Khota y Ventanani no están afectadas por la contaminación de la minería.

Se recolecto primeramente de la laguna Jankho Khota, en la cual se procedió a realizar el lavado del envase por tres veces para así quitar cualquier contaminante desconocido que no sea de la muestra de agua, luego con la ayuda de una botella pet y un embudo se llenó con tres litros de agua contaminada al bidón que contaba con protección UV.

Luego se pasó a la laguna Milluni Chico en la cual se recolecto 3 litros de agua y se colocó en el mismo bidón, por último se fue a la laguna de Milluni Grande y se realizó la recolecta de 3 litros de agua en el mismo envase, una vez obtenidas las muestras de agua se procedió al mezclado o agitado del bidón para tener una muestra uniforme. El agua recolectada fue llevada inmediatamente al laboratorio para realizar el proceso de descontaminación de metales pesados con cáscara de banana.

Figura 15. Recolección de muestras de agua contaminada Laguna Jankho Khota.



Figura 16. Recolección de muestras de agua contaminada Laguna Milluni Chico.



Figura 17. Recolección de muestras de agua contaminada (Muestra conjunta).



5.2.3. Recolección de las cáscaras de Banano

La recolección de cáscaras de banano se realizó en la Unidad Educativa Carlos Medinaceli que se encuentra en la zona de Tembladerani detrás del Estadio Bolívar ya que los alumnos cuentan con el desayuno escolar y en su ración está incluido el banano.

La recolección se efectuó de la siguiente manera: En el turno de la mañana se fue a recoger a la hora de salida las cáscaras de banano que estaban en el cesto donde reparten el desayuno escolar, las cáscaras fueron llevadas en bolsas negras y almacenadas.

En el turno de la tarde se ingresó al colegio antes del recreo y se dejó aula por aula bolsas negras indicando a los profesores que pongan las cáscaras de banano en las bolsas negras. Después del recreo se fue a recoger las bolsas con las cáscaras y fueron llevadas para su almacenamiento y finalmente llevarlas al lugar de secado.

Figura 18. Profesores y alumnos recolectando las cáscaras de banano.



Se tomaron 10 cáscaras para pesarlas y poder obtener un promedio de cuánto pesa una cáscara de forma individual. El pesaje se realizó en la Facultad de Agronomía en el laboratorio de Química Analítica y se marcó cada cáscara pesada con un marbete numerado del 1 al 10.

Figura 19. Pesado de las cáscaras de banano



Figura 20. Cáscaras de banano con marbetes.



5.2.4. Secado y molido de la cáscara

5.2.4.1. Secado de la cáscara

Al día siguiente de recolectada la cáscara de banano, se llevaron las bolsas negras a la Estación Experimental de Cota Cota. Se armó el lugar donde se iban a secar las cáscaras de banana, primero se colocaron unas láminas de metal, luego se puso un nylon por encima para cubrir el lugar de las posibles lluvias y así evitar que las cáscaras se mojen.

Una vez listo el lugar de secado de la cáscara, se procedió al pesado por kilo de la cáscara de banano, obteniendo así 10 muestras para poder sacar un promedio de cuantas cáscaras hay en 1 kilo.

Figura 21. Pesado de 1 kilo de cáscaras de banano.



Una vez pesada la cáscara se colocaron en el lugar donde iban a ser secadas contando en cada kilo el número de cáscaras, luego se marbetearon 10 muestras y se dejaron secar por 14 días debido a las malas condiciones climáticas.

Figura 22. Colocado de las cáscaras de banano para su secado.

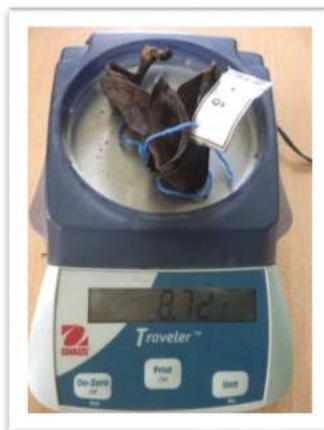


Pasados los 14 días se pesaron las cáscaras secas con marbete y así saber cuánto peso tiene una cáscara después del secado, el pesado se realizó en la Estación Experimental de Cota Cota.

Figura 23. Cáscaras secas después de 14 días.



Figura 24. Pesado de la cáscara seca.



5.2.4.2. Molido de la cáscara

El molido de las cáscaras de banano se realizó en una moledora manual, metiendo cáscara por cáscara, y el resultado obtenido fue tamizado para así obtener un tamaño similar de partículas de cáscara molida.

Cuando se terminó de moler todas las muestras se procedió al pesado de la cáscara tamizada y el sobrante para así obtener cuanta cáscara molida se obtenía de un kilo de cáscara de banano. El pesado se realizó en el laboratorio de química analítica de la Facultad de Agronomía.

Figura 25. Cáscara molida y tamizada.



Figura 26. Pesado de la cáscara de banano molida



5.2.5. Limpieza de agua

Para realizar la limpieza de agua con presencia de metales pesados, se utilizaron 6 muestras de 500 cm³ de agua contaminada colocada en vasos precipitados, en la cual se pusieron los niveles de cáscara de banano molida de 5 y 10 g, por cada 100 cm³ de agua, luego se mezcló todo con la ayuda de una varilla de vidrio durante 1 minuto, después se hizo reposar el agua durante 10 minutos para que la cáscara de banano se asiente, posterior a ello se filtró el agua con la ayuda de un cernidor hacia una probeta para ver cuánta agua se pierde en el proceso.

Figura 27. Cáscara de banano molida y colocada en el agua contaminada



Figura 28. Agua cernida y colocada en la probeta.



El agua filtrada de la probeta se embotella para ser enviada al Laboratorio de Calidad Ambiental para su respectivo análisis.

Figura 29. Muestras de agua embotelladas.



5.2.6. Análisis de laboratorio

Las muestras de agua contaminada y purificada con cáscaras de banano se enviaron al Laboratorio de Calidad Ambiental para su respectivo análisis en el cual se evidencio la cantidad de metales presentes en el agua.

5.3. Variables de respuesta

5.3.1. Análisis de laboratorio antes del tratamiento

Para realizar los análisis de agua del laboratorio, solamente se envió las muestras de agua contaminada recolectada sin realizar ningún proceso de limpieza al Laboratorio de Calidad Ambiental, para que determinen la cantidad de hierro, manganeso y plomo, pH y conductividad eléctrica presentes en el agua.

5.3.2. Análisis de laboratorio después del tratamiento

Despues de realizado el tratamiento de purificación de metales pesados en el agua contaminada recolectada se enviaron las muestras de agua tratada al Laboratorio de Calidad Ambiental para su determinación de las cantidades de hierro, manganeso, plomo, pH y conductividad eléctrica.

5.3.3. Costos de recolección de cáscaras de banana

Para determinar los costos, se realizó la cotización del alquiler de movilidad de acuerdo a la cantidad que puede cargar, la distancia que tiene que recorrer y la gasolina gastada.

6. RESULTADOS Y DISCUSIONES

6.1. Peso de cáscara de banano individual

De acuerdo a los datos obtenidos de la Unidad de Alimentación Complementaria Escolar (UNACE), el peso promedio de una cáscara de banano es de 50 gramos en estado húmedo y de 17,5 gramos en estado seco.

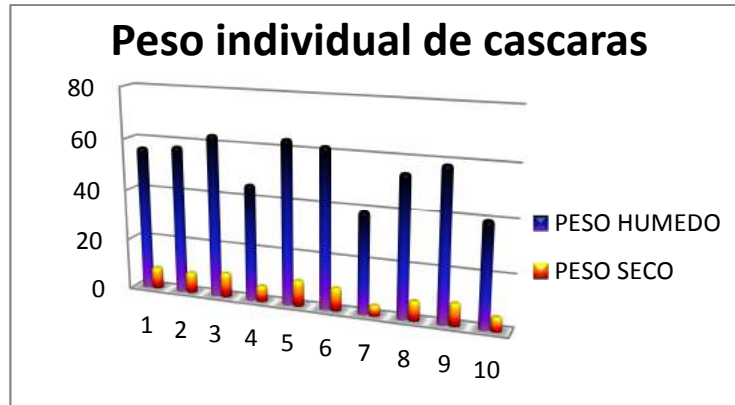
A continuación se muestra el cuadro 2 del peso individual de cáscaras de banano:

Cuadro 2. Peso de cáscara de banano individual.

PESO DE CÁSCARA INDIVIDUAL (g)		
MUESTRA	PESO HÚMEDO	PESO SECO
1	56,48	8,37
2	57,81	8,03
3	63,24	9,47
4	45,44	6,13
5	63,69	10,0
6	62,08	8,93
7	39,02	4,04
8	54,55	7,61
9	58,75	8,72
10	39,96	5,47
PROMEDIO	54,10	7,68

Como se puede observar en el cuadro 2, se evidencia un claro decremento del peso de la cáscara después de haber sido expuesta al sol por 14 días, teniendo un promedio de 54,10 gramos de peso húmedo y de 7,68 gramos de peso seco. Para tener una mejor apreciación se muestra la siguiente gráfica:

Grafica 1. Relación de peso húmedo y seco.



Evidentemente se tiene una clara pérdida de peso o masa, llevándolo a números la pérdida de masa es en promedio de 95,85%, lo que significa que ese 95,85% es solo agua y el restante 4,15% es la parte utilizable para hacer el proceso de descontaminación del agua con metales pesados u otro experimento similar.

Comparando con los datos de UNACE, vemos que el peso en estado húmedo o fresco de la cáscara de banana es casi similar, pero en peso seco tiene gran variación, esto puede deberse a tipo de secado y el tiempo de secado.

6.2. Numero de cáscaras de banano frescas por kilo

A continuación se muestra el cuadro 3 del número de cáscaras de banano por kilo:

Cuadro 3. Cantidad de cáscaras por kilo

CANTIDAD DE CÁSCARAS POR KILO	
MUESTRA	Nº DE CÁSCARAS
1	19
2	22
3	24
4	21
5	14
6	25
7	18
8	19
9	18
10	24
PROMEDIO	20,4

Como se puede observar en el cuadro 3, el número de cáscaras presentes o que pesan un kilo varían desde 14 que es el menor hasta 25 que es el mayor, esto puede ser debido al tamaño del banano, ya que un mayor tamaño significa que el peso será mayor, sin embargo se puede decir que en promedio se tiene 20 cáscaras de banano por kilo.

6.3. Cantidad de cáscara seca molida utilizable por kilo de cáscara fresca

En el cuadro 4 se muestra la cantidad de cáscara molida por kilo de cáscara fresca:

Cuadro 4. Cantidad de cáscara seca molida utilizable por kilo fresco.

CÁSCARA MOLIDA POR KILO	
MUESTRA	CANTIDAD EN gramos
1	92,91
2	65,87
3	56,78
4	59,04
5	62,63
6	78,65
7	69,32
8	85,34
9	67,69
10	61,01
PROMEDIO	69,92

Se puede ver en el cuadro 4 que el promedio obtenido de cáscara de banano molida es de 69,92 gramos por cada kilo de cáscara fresca de banano.

Esto nos indica que en un kilo de cáscara fresca de banano que contiene en promedio 20 cáscaras, apenas se puede utilizar un 6,99 o un 7 % después de haber realizado el proceso de molido y tamizado. Aunque este porcentaje puede variar, dependiendo del tamaño del tamiz que se utilice y del grado de finura de la molienda de la cáscara de banano.

6.4. Cantidad de metales pesados presentes en el agua

Para poder determinar si las aguas de la cuenca Milluni se encuentran contaminadas, es necesario comparar los resultados de los análisis de laboratorio obtenidos con los valores de los parámetros establecidos por la FAO y diferentes

países en conjunto con sus ministerios para el contenido permisible de metales pesados en agua de riego o de uso agrícola (Cuadro 5 y 6).

Cuadro 5. Criterios de calidad admisibles para aguas de uso agrícola.

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Aluminio	Al	mg/l	5,0
Arsénico (total)	As	mg/l	0,1
Bario	Ba	mg/l	1,0
Berilio	Be	mg/l	0,1
Boro Total	B	mg/l	1,0
Cadmio	Cd	mg/l	0,01
Carbamatos Totales	Concentración total de carbamatos	mg/l	0,1
Cianuro (total)	CN ⁻	mg/l	0,2
Cobalto	Co	mg/l	0,05
Cobre	Cu	mg/l	2,0
Cromo Hexavalente	Cr ⁺⁶	mg/l	0,1
Fluro	F	mg/l	1,0
Hierro	Fe	mg/l	5,0
Litio	Li	mg/l	2,5
Materia flotante	Visible		Ausencia
Manganeso	Mn	mg/l	0,2
Molibdeno	Mo	mg/l	0,01
Mercurio (total)	Hg	mg/l	0,001
Niquel	Ni	mg/l	0,2
Organofosforados (totales)	Concentración de organofosforados totales	mg/l	0,1
Organoclorados (totales)	Concentración de organoclorados totales	mg/l	0,2
Plata	Ag	mg/l	0,05
Potencial de Hidrogeno	pH		6 – 9
Plomo	Pb	mg/l	0,05
Selenio	Se	mg/l	0,02
Zinc	Zn	mg/l	2,0

Cuadro 6. Parámetros de los niveles guía de la calidad del agua para riego.

PROBLEMA POTENCIAL	UNIDADES	*GRADO DE RESTRICCIÓN.			
		Ninguno	Ligero	Moderado	Severo
Salinidad (1):					
CE (2)	Milimhos/cm	0,7	0,7	3,0	>3,0
SDT (3)	mg/l	450	450	2000	>2000
Infiltración (4):					
RAS = 0 – 3 y CE		0,7	0,7	0,2	< 0,2
RAS = 3 – 6 y CE		1,2	1,2	0,3	< 0,3
RAS = 6 – 12 y CE		1,9	1,9	0,5	< 0,5
RAS = 12 – 20 y CE		2,9	2,9	1,3	<1,3
RAS = 20 – 40 y CE		5,0	5,0	2,9	<2,9
Toxicidad por ión específico (5):					
- Sodio:					
Irrigación superficial RAS (6)		3,0	3,0	9	> 9,0
Aspersión	meq/l	3,0	3,0		
- Cloruros					
Irrigación superficial	meq/l	4,0	4,0	10,0	>10,0
Aspersión	meq/l	3,0	3,0		
- Boro	mg/l	0,7	0,7	3,0	> 3,0
Efectos misceláneos (7):					
- Nitrógeno (N-NO3)	mg/l	5,0	5,0	30,0	>30,0
- Bicarbonato (HCO3)	meq/l	1,5	1,5	8,5	> 8,5
pH	Rango normal	6,5 –8,4			

*Es un grado de limitación, que indica el rango de factibilidad para el uso del agua en riego.
Fuente: Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: Recurso agua, 2002.

Hierro, plomo, manganeso, conductividad eléctrica y pH se tomaron en cuenta para realizar el respectivo estudio, comparación y análisis de los datos obtenidos. A continuación se detalla los resultados del ANVA para los metales estudiados.

6.4.1. Hierro (Fe)

El hierro presente en el agua sin tratar o contaminada (T0) está por encima de los parámetros permisibles que es de 5 mg/l mostrados en cuadro 5 y 6. Los resultados de laboratorio para el hierro soluble se muestran en el cuadro 7:

Cuadro 7. Datos de los análisis de laboratorio para hierro (mg/l).

	T0	T1	T2
R1	299	322	300
R2	299	315	287
R3	299	317	300
Promedio	299	318	296

De esta tabla se obtiene el Análisis de Varianza (ANVA) el cual es el siguiente:

Cuadro 8. Análisis de varianza para el hierro.

CV	GL	SC	CM	Fc	Ft		
					0,05	0,1	
Tratamiento	2	870,89	435,44	18,84	5,14	10,92	**
Error Exp.	6	138,67	23,11				
Total	8	1009,56	126,19				

Como se muestra en el Análisis de Varianza (ANVA), se tiene una alta significancia en los tratamientos, esto indicaría que los tratamientos tuvieron efecto sobre el agua, sin embargo, si nos fijamos en el cuadro 7 de datos, vemos que el nivel de hierro aumento en lugar de disminuir, por lo que nos indica que al aplicar la cáscara de banano al agua ya sea que este o no contaminada, el nivel de hierro se va a elevar, por ende el análisis de varianza cambiaria de Altamente Significativo a No Significativo y se rechazaría la hipótesis.

Aunque haciendo un estudio más dedicado, se puede decir que el fruto del banano es rico en hierro, el cual es soluble en agua, y al momento de mezclarse con el agua, el hierro del banano pasa de la cáscara al agua, incrementando así el nivel de hierro soluble en el agua siendo menos contaminante para las plantas y personas.

6.4.2. Manganeso (Mn)

La cantidad de manganeso presente en el agua sin tratar (T0) está por encima de los criterios permisibles que es de 0,2 mg/l mostrados en los cuadros 5 y 6. A continuación se muestran los resultados del análisis de laboratorio para el manganeso en el agua con y sin tratamiento:

Cuadro 9. Datos de los análisis de laboratorio para manganeso (mg/l).

	T1	T2	T3
R1	21	19	42
R2	21	58	82
R3	21	39	62
Promedio	21	38,5	62

De esta tabla se obtiene el Análisis de Varianza (ANVA) el cual es el siguiente:

Cuadro 10. Análisis de varianza para el manganeso.

CV	GL	SC	CM	Fc	Ft		NS
					0,05	0,1	
Tratamiento	2	2539,50	1269,75	4,88	5,14	10,92	
Error Exp.	6	1560,50	260,08				
Total	8	4100,00	512,50				

En el caso del manganeso, se evidencia que en la parte de tratamiento se tiene un resultado No Significativo, esto nos lleva a rechazar la hipótesis. Sin embargo si analizamos el cuadro 9 de datos podemos ver que el nivel de manganeso en el agua se incrementa a medida que se aumenta la dosis de la cáscara de banano, esto es similar al hierro, la cáscara de banano en conjunto con el fruto es rico en manganeso, el cual también es igual o más soluble en agua que el hierro y siendo menos contaminante que el manganeso en forma de metal pesado y presente en el agua.

6.4.3. Plomo (Pb)

El nivel de plomo presente en el agua sin tratar o contaminada (T0) se encuentra dentro de los parámetros permisibles descritos en los cuadros 5 y 6, que es de 0,05 mg/l. En el cuadro 11 se muestran los resultados de laboratorio obtenidos:

Cuadro 11. Datos de los análisis de laboratorio para plomo (mg/l).

	T1	T2	T3
R1	0,05	0,081	0,100
R2	0,05	0,073	0,110
R3	0,05	0,077	0,115
Promedio	0,05	0,077	0,108

De esta tabla de datos obtenemos el análisis de varianza:

Cuadro 12. Análisis de varianza para el plomo.

CV	GL	SC	CM	Fc	Ft		
					0,05	0,1	
Tratamiento	2	0,00511	0,0026	103,19	5,14	10,92	**
Error Exp.	6	0,00015	0,00002				
Total	8	0,00526	0,00066				

En el análisis de varianza se muestra una alta significancia en los tratamientos, lo que nos llevaría a aceptar la hipótesis y hacer las respectivas pruebas de significancia, pero realizando una observación más detallada en el cuadro 11 de datos para el plomo, podemos observar que el nivel de plomo se elevó considerablemente, esto nos lleva a decir que el material de tratamiento en este caso la cáscara de banano molida se contamina con plomo en algún momento de su proceso, ya que la cáscara de banano no tiene niveles elevados de plomo. La contaminación puede deberse a la utilización de una moladora manual antigua que se utilizó para moler la cáscara, y esta moladora aparentemente está hecha en un porcentaje de plomo.

Como se elevó el nivel de plomo, el resultado obtenido en el análisis de varianza que es Altamente Significativo pasa a ser No significativo, lo que nos llevaría a rechazar la hipótesis.

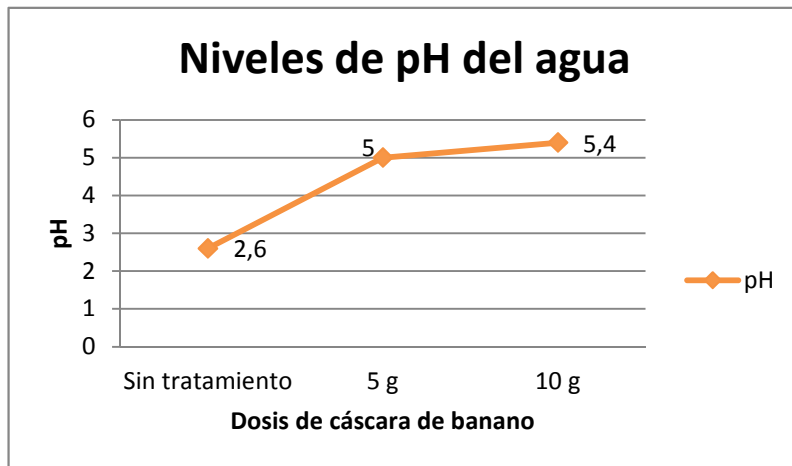
Aunque en los tres casos de hierro (Fe), manganeso (Mn) y plomo (Pb), los niveles de presencia de ellos en el agua se elevó, esto no quiere decir que el experimento no resultó, sino más bien, el experimento demuestra con que metales no resulta aparentemente, sin embargo la cáscara de banano lanzó otros datos interesantes acerca del agua tratada.

6.5. Conductividad eléctrica y pH en agua

6.5.1. pH

En la gráfica 2 se muestra los niveles promedio de pH que existen en el agua contaminada y el agua tratada:

Grafica 2. Niveles de pH en el agua contaminada y tratada.



En la gráfica se puede evidenciar que el pH del agua contaminada o sin tratamiento es de 2,6, para el caso del agua tratada con 5 gramos es de 5 y para el agua tratada con 10 gramos es de 5,4. Comparando con los parámetros de los cuadros 5 y 6 los límites aceptables para agua de riego son de 6,5 a 8,4 estando aun fuera de los parámetros permisibles.

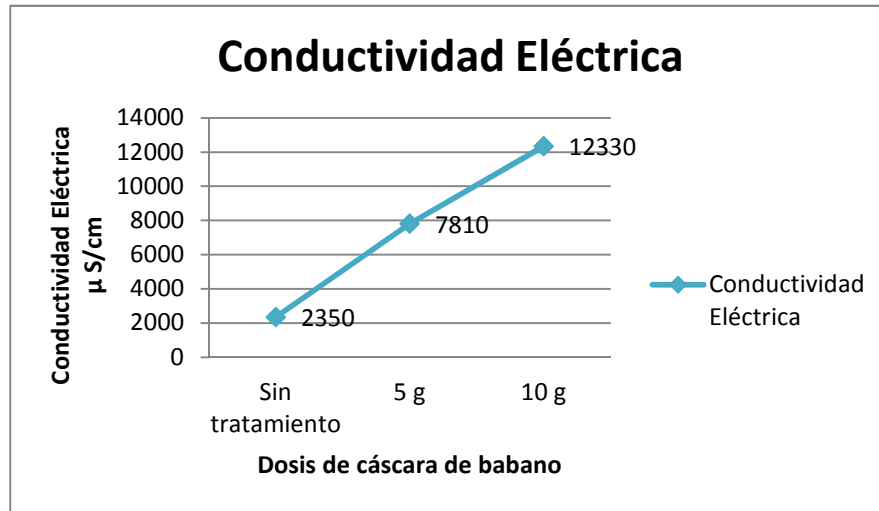
Por otro lado la gráfica 2 nos muestra que entre más cantidad de cáscara de banano, el pH del agua se puede llegar a estabilizar, pasando de un estado muy ácido a un estado moderadamente ácido a la neutralidad, que se encuentra entre 6,5 y 8,4.

Esto puede deberse a que el banano tiene una gran cantidad de compuestos salinos relacionados con el sodio, potasio entre otros, que son fácilmente solubles en agua y neutralizando la acidez del agua contaminada con metales pesados.

6.5.2. Conductividad eléctrica

A continuación se muestra las conductividades eléctricas obtenidas en las muestras de agua con y sin tratamiento:

Grafica 3. Conductividad eléctrica en agua contaminada y tratada.



En la gráfica 3, se muestra que la conductividad eléctrica del agua sin tratamiento es de 2350 $\mu\text{S/cm}$, para el agua tratada con 5 gramos de cáscara de banano es de 7810 $\mu\text{S/cm}$ y para el agua tratada con 10 gramos es de 12330 $\mu\text{S/cm}$.

Tomando en cuenta el nivel más alto de la conductividad eléctrica que es 12330 $\mu\text{S/cm}$ y transformándolo a las unidades del cuadro 6 de criterios de calidad que se encuentra en Milimhos/cm tenemos 12,33 Milimhos/cm en el agua tratada con 10 gramos de cáscara de banano molida, vemos que está por encima de los parámetros permisibles que es de 0,17 Milimhos/cm que no existe a 3 Milimhos/cm que es muy severo.

Evidentemente la conductividad eléctrica subió drásticamente a medida que se elevó la dosis de cáscara de banano, esta elevación se debe y mencionado anteriormente en el punto de pH, a que el banano no solo en el fruto sino también en las cáscaras del mismo existe una gran cantidad de compuestos salinos solubles en agua.

Sin embargo esto no quiere decir que el agua no se puede utilizar para riego, sino más bien se debería realizar un estudio acerca de qué tipo de compuestos salinos están presentes en las cáscaras de banano, para así poder determinar si estos compuestos son perjudiciales para el suelo y la planta.

6.6. Análisis de los residuos de la cáscara de banano

Adicionalmente se realizó el análisis de los residuos de la cáscara de banano utilizada y los resultados son los siguientes:

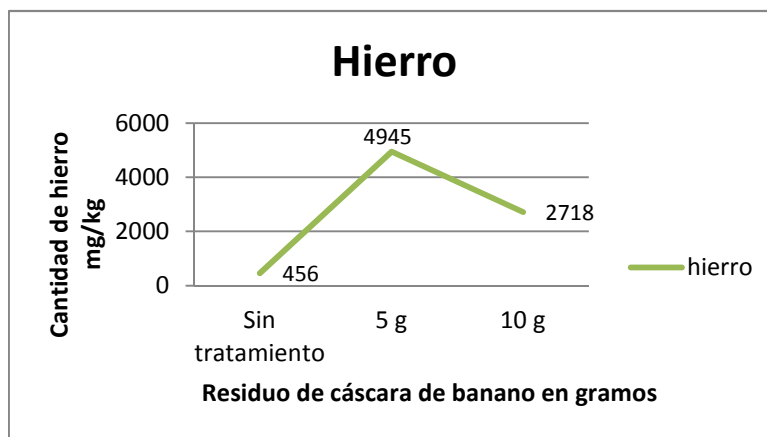
Cuadro 13. Resultados de análisis de los residuos de cáscara de banano.

Tratamiento	0 g	5 g	10 g
Hierro total (mg/Kg)	456	4945	2718
Manganeso total (mg/Kg)	39	294	264
Plomo total (mg/Kg)	2,2	3,6	3,5

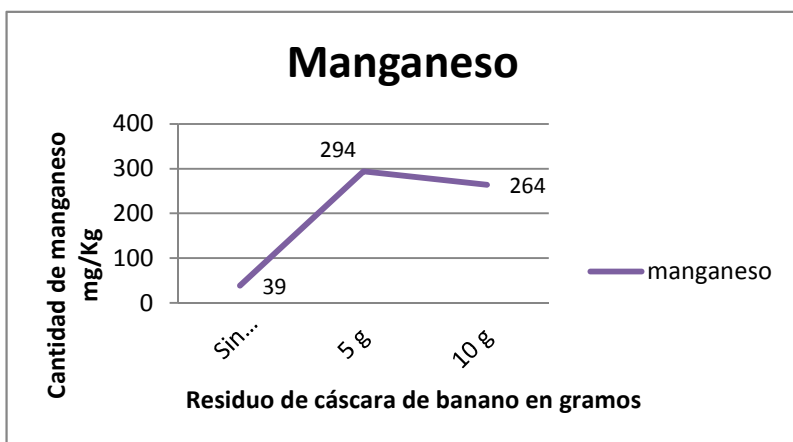
Como se puede observar en el cuadro 13, vemos que los niveles de los metales en los tratamientos realizados con 5 y 10 gramos en 100 cm³ de agua de cáscara se elevaron súbitamente a comparación de la cáscara de banano pura (0 g).

Para una mejor apreciación se muestran las gráficas de los resultados de laboratorio de los residuos de la cáscara de banano después del tratamiento:

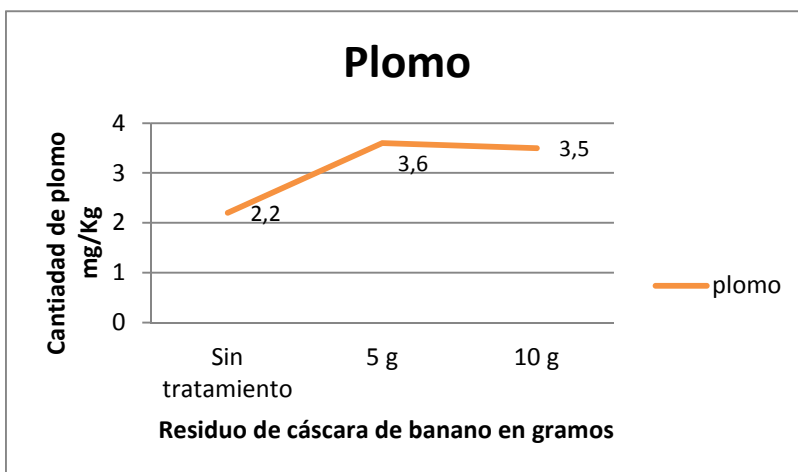
Grafica 4. Hierro presente en residuos de cáscara.



Grafica 5. Manganeso presente en residuos de cáscara.



Grafica 6. Plomo presente en residuos de cáscara.



Dónde: Sin tratamiento = Cáscara pura 5 y 10 g = Cáscara disuelta en agua

Estos análisis contrastan con los resultados obtenidos del agua donde el nivel de hierro, manganeso y plomo en el agua se elevó, en este caso se esperaría que el nivel de estos elementos en la cáscara de banano se redujera.

Esto puede deberse a que el hierro, manganeso y plomo de la cáscara de banano al estar en un estado más soluble pasan al agua, y los metales pesados presentes en el agua contaminada al tener carga positiva son atraídos hacia la cáscara de banano.

Es decir existe un intercambio de iones del hierro del banano que pasa al agua y el hierro en el agua contaminada en forma de metal pesado pasa a la cáscara, de la misma forma ocurre con el manganeso y el plomo. También se puede ver que cuando se incrementa la cantidad de cáscara de banano la atracción se reduce o

mejor dicho no puede contener a los metales pesados, volviéndolos a disolver en el agua. Por lo cual se evidencia que la dosis de 5 gramos por cada 100 cm³, es mejor para la purificación del agua.

Y esto indica que a pesar de que el nivel de estos metales se elevó en el agua, estos son menos contaminantes y son más utilizables como nutrientes para las plantas y personas, y los metales pesados en el agua son atraídos hacia la cáscara de banano, purificando así el agua, por lo cual la hipótesis se llegaría a aceptar concluyendo que la cáscara de banano puede llegar a purificar el agua al menos para el hierro, manganeso y plomo.

6.7. Pérdida de agua durante el tratamiento

Durante el proceso de purificación se pudo evidenciar que existe una pérdida de agua cuando se realiza el tratamiento con cáscara de banano, cuadro 14.

Cuadro 14. Pérdida promedio de agua.

Dosis de cáscara g/100 cm ³	Cantidad inicial cm ³	Pérdida promedio cm ³
5 gramos	500	394
10 gramos	500	345

En cuadro 14 se muestra que existe una pérdida de agua promedio de aproximadamente un 21,2 % en las muestras tratadas con 5 gramos de cáscara de banano y un 31 % de pérdida de agua con el tratamiento de 10 gramos. Esto nos indica que a medida que se aumenta la dosis de cáscara de banano la pérdida se va a incrementar.

6.8. Costos de recolección

Para realizar los costos de recolección de la cáscara se describe a continuación la descripción del tipo de movilidad para realizar la recolección:

Cuadro 15. Descripción del transporte.

DESCRIPCIÓN		
Camión Volvo 1986	Unidad	Cantidad
Capacidad de carga	Toneladas	8
Consumo de combustible	lt/km	1,5
Distancia promedio a recorrer/mes	km	100
Consumo combustible/mes	lt	150

Una vez tenido los datos técnicos del camión y teniendo en cuenta la distancia promedio que debe recorrer por mes se saca el costo mensual para realizar la recolección de 7,7 toneladas de cáscara de banano frescas por mes.

Cuadro 16. Costos de recolección.

Costos	Unidad	Cantidad	Precio unitario Bs	Precio total Bs
Alquiler vehículo + conductor	Contrato/mes	1	2500	2500
Cargadores	Contrato/mes	2	1500	3000
Combustible/mes	lt	150	3,75	562,5
			Total Bs	6062,5

Para realizar la recolección de las cáscaras de banano de las diferentes unidades educativas y llevarlas al punto de acopio se necesita un total de Bs 6062,5.

6.9. Aplicaciones posibles

Solamente en lo que es el Desayuno Escolar del Gobierno Autónomo Municipal de La Paz en el sector urbano y periurbano se genera aproximadamente 7735 kg/semana de cáscaras de banano, de cual solo es utilizable el 7% de esta cantidad.

A continuación se muestra la cantidad necesaria y producida para poder purificar una de las lagunas de la Cuenca Milluni, en este caso la laguna Milluni Chico:

Cuadro 17. Cantidad necesaria para purificación del agua.

	Sup. m ²	Prof. m	volumen m ³		
Milluni Chico	26900	5	134500		
	Kg/m³	m³	Total requerido kg		Toneladas
Cantidad de cáscara	50	134500	6725000		6725
	Peso fresco Kg/semana	Utilizable %	Total Kg/semana	Kg/mes	Kg/10 meses
Cantidad producida	7736,59	7	541,57	2166,24	21662,44

Tomando en cuenta la dosis de 5 gramos por cada 100 cm³, vemos que necesitamos para poder purificar el agua de la laguna Milluni Chico un total de 6725000 kg de cáscara de banano o 6725 toneladas, y en el desayuno escolar se produce un total de 21662 kg o 2,17 toneladas en 10 meses de distribución lo que cubriría un 0,32% pero como en bibliografía indica que se puede repetir el proceso reutilizando la misma cáscara de banano este valor se incrementaría a 0,64%, a esta cantidad producida se podría incrementar los desechos de los mercados y familias el cual incrementaría el porcentaje de purificación del agua.

Dependiendo también del tipo de proceso y omitiendo la uniformización de la cáscara de banano molida se incrementaría a 43912 kg o 43,91 toneladas en 10 meses y repitiendo el proceso equivale a un 1,3% de lo requerido para purificar el agua de la laguna Milluni Chico.

7. CONCLUSIONES

- La cáscara de banano se puede utilizar para realizar la descontaminación del agua con metales pesados como el plomo, también tiene resultados expectantes con el hierro y manganeso, pero hay que tomar en cuenta que la cáscara de banano y el fruto contienen hierro y manganeso en su composición y que podrían ser más solubles en agua pero menos contaminantes ya que pueden ser utilizados como nutrientes por las plantas y se podría decir por las personas.
- A pesar de que en los análisis de laboratorio del agua tratada se elevaron los niveles de plomo, hierro y manganeso, en los resultados del análisis de los residuos de la cáscara de banano se evidencia que hubo un intercambio iónico, es decir, que el hierro y manganeso presentes en la cáscara de banano al ser solubles pasaron al agua incrementando la cantidad de estos en el agua tratada, pero también la presencia de hierro, manganeso y plomo del agua contaminada que están en forma de metal pesado fueron atraídos hacia la cáscara de banano descontaminando en cierto grado el agua.
- El banano contiene un nivel determinado de sales solubles en agua, por eso es recomendado para reponer electrolitos en el cuerpo humano, en cuanto la cáscara contiene de la misma forma sales solubles en agua y al ser transformada o procesada para purificar el agua, esta ayuda a estabilizar el pH, pasando de un estado muy ácido del agua a un estado moderadamente ácido.
- La cáscara procesada no solo podría estabilizar el pH del agua, sino también se podría estabilizar el pH de los suelos ácidos, pero antes de realizar una acción es necesario saber el tipo de sales que contiene solamente la cáscara, para saber si puede salinizar el suelo a lo largo del tiempo.
- La conductividad eléctrica aumenta a medida que se aumenta la dosis o nivel de cáscara de banano, en conjunto para poder estabilizar el pH, se podría realizar una dosis ideal para poder estabilizar el pH mediante la conductividad eléctrica sin pasar los parámetros permisibles actuales.

- Dependiendo del tiempo de contacto de la cáscara de banano molida con el agua contaminada con metales pesados podría mejorar o empeorar la calidad del agua, es decir, los metales pesados podrían desaparecer o mantenerse.
- En el proceso de secado, molido y tamizado, se tiene una pérdida de material el cual es que solo el 7% de un kilo de cáscara de banana es utilizable en este caso equivalente a 63 gramos, sin embargo si durante el molido no se uniformiza la cáscara (tamizar) y existe un buen molido, se puede utilizar toda la cáscara de banano molida equivalente a 153 gramos, pudiendo así tener una mayor posibilidad de poder descontaminar agua con metales pesados.
- En cuanto a la aplicación, para poder purificar lagunas completas no tan grandes como la laguna Milluni Chico, se necesita una gran cantidad de cáscara de banano, y un largo tiempo (años) para tener una exitosa purificación o completar el requerimiento de cáscara necesaria para realizar el tratamiento. Sin embargo, este sistema se puede aplicar directamente en los vertederos o desagües de las minas, pudiendo así tener por lo menos un grado menor de contaminación del agua y del efecto ambiental que causa.
- Los costos mensuales de recolección son bastante factibles ya que solo se necesitan Bs 6100 a cambio de un sistema totalmente orgánico y económico para poder descontaminar el agua con metales pesados contra los costosos procesos no orgánicos actuales, pero también es necesario hacer unos costos para la posible aplicación de descontaminación del agua con metales pesados utilizando la cáscara de banano, aun así este sistema sigue siendo muy económico.
- Existe la necesidad de encontrar nuevas formas de purificación de aguas, de forma económica y orgánica, ya que solo el 0,01% del agua del planeta es agua dulce y utilizable para el hombre, de ahí este trabajo de investigación aún tiene mucho más por descubrir, este solo es el principio de un trabajo minucioso.

8. RECOMENDACIONES

- Se recomienda que se realice un trabajo de investigación acerca de la utilización de cáscara de banano, tanto fresca como húmeda para ver si se puede utilizar como fertilizante orgánico del suelo ya que existe gran consumo de banano por la población y la cáscara es desechada.
- Para ver realmente el efecto de la cáscara de banano sobre los metales pesados en aguas contaminadas con ellos, se recomienda que se haga un estudio para ver su efecto sobre otros metales que no sean el hierro, manganeso y plomo con la dosis aconsejable de 5 gramos o menos por cada 100 cm³ de agua.
- Se tendría que realizar otro estudio para ver el tipo de sales solubles presentes en la cáscara de banano y a qué punto estos pueden salinizar el agua dejándola inutilizable para el uso en riego agrícola.
- También se tendría que determinar que dosis y tiempo de reposo es necesario para estabilizar el pH ácido de aguas contaminadas y también para los suelos ácidos, viendo los efectos sobre los compuestos y los microorganismos presentes.
- Se tendría que verificar si es posible la reutilización de los residuos de la cáscara de banano provenientes del proceso de descontaminación de agua, para un segundo tratamiento y si tiene el mismo efecto sobre los metales pesados.
- Diseñar un sistema de alimentación continua, es decir en qué forma se podría aplicar o que estructuras se podrían construir para hacer un sistema de purificación con cáscara de banano con una fuente de agua contaminada continua, para la aplicación a las diferentes empresas mineras.
- En cuanto a los residuos de los tratamientos, se podría realizar una investigación acerca de utilizar estos residuos de cáscara de banano después de haber pasado por el agua contaminada con metales pesados, en lombricultura, ya que las lombrices tienen la capacidad de consumir estos residuos contaminados y transformarlos en lombricompost, siempre y cuando los residuos no contengan mercurio, uranio o arsénico ya que son muy tóxicos para las lombrices.

- Sería interesante ver si en el lombricompost hay residuos o no de los metales pesados provenientes de los residuos de cáscaras de banano tratadas.
- En cuanto al proceso de secado de la cáscara de banano, se podría sugerir hacer el secado en muflas u hornos para así poder agilizar el proceso y tardar menor tiempo en obtener la materia prima utilizable para la descontaminación del agua con metales pesados y ver si tiene el mismo efecto que secándolos al sol por una semana o más.
- Por último se recomienda dar continuidad a este trabajo ya que solo es la punta del iceberg de una alternativa para cuidar el medio ambiente y conservar nuestros recursos naturales.

9. BIBLIOGRAFÍA

- ANACAFE (Asociación Nacional del Café), 2004. Cultivo de banano. Programa de diversificación de ingresos en la empresa cafetalera. Guatemala.
- ANGINA, S., 2008. Como evaluar y reducir el peligro de plomo en los huertos y jardines. Lincoln, Univ. Oregon State.
- APAZA C. ROBERTO, 1991. Incidencia de una contaminación por efluentes mineros sobre la fauna béntica en un complejo fluvio-lacustre alto andino. Milluni, La Paz – Bolivia. Tesis de Licenciatura. Universidad Mayor de San Andrés. Facultad de Ciencias Puras y Naturales. Carrera de Biología. Pág. 133.
- BUENAS TAREAS, 2011. Agua Contaminada De Metales Pesados. En línea. Consultada el 5 de abril del 2013. Disponible en: <http://www.buenastareas.com/ensayos/Agua-Contaminada-De-Metales-Pesados/2449901.html>.
- CALOW, P. 1993. Handbook of ecotoxicology. Vol. I. 478 p. Blackwell Science Ltd., London, England.
- CALLISAYASIÑANI, J., 2004. Diagnóstico sobre el manejo ambiental sobre los residuos sólidos en la ciudad de El Alto norte – La Paz, (Trabajo Dirigido). La Paz, Bolivia. Facultad de Agronomía pp. 36.
- CLAVIJO, V.; MANER, J. 1974. El Uso de Banano de rechazo en Alimentación de Cerdos. Centro Latinoamericano de Agricultura Tropical. Bogotá, Colombia. Serie EE # 6. 20 p.
- ECOLOSFERA, 2013. Cáscara de plátano para descontaminar el agua. En línea. Consultada el 5 de abril del 2013. Disponible en: <http://ecolosfera.com/cáscaras-platano-descontaminar-agua/>.
- EILBECK, W.J., MATTOCK, G., 1987. Chemical processes in waste water treatment, Ellis Horwood Limited, Chichester.
- EROSTEGUI, C., 2009. Contaminación por metales pesados. SCEM. La Paz, Bolivia. Volumen 12. N° 1. pp. 45.

- GARCÍA, D. 2006. Efectos fisiológicos y compartimentación radicular en plantas de *Zea mays* L., expuestas a la toxicidad del plomo. (Tesis de Doctorado). Barcelona – España. Facultad de Ciencias. pp. 6 – 8.
- G.E.I.A., 2007. Aguas residuales y tratamiento de efluentes cloacales.
- HARTE, J., C.HOLDEN, R., 1991. Toxics A to Z. A guide to everyday pollution hazards. Univ. Of California Press.
- HUAYLLANI NINA, R., 2007. Establecimiento de injerto en yema en variedad de rosas de corte (*Rosa sinensis*) bajo ambiente atemperado en el centro experimental de Cota Cota, (Tesis de licenciatura). La Paz, Bolivia. Facultad de Agronomía pp. 6.
- IZQUIERDO, M. 2010. Eliminación de metales pesados en aguas mediante bioadsorción. Evaluación de materiales y modelación del proceso, (Tesis de Doctorado) Valencia, España. Escuela Técnica Superior de Ingeniería – Universidad de Valencia. p. 22-31.
- LAHHAM, O. 2007. Traslocation of heavy metalstotomato (*Solanum lycopersicom* L.) fruitirrifates whit treated waste water. Eisevier. ScientiaHorticulturar 113: 250 – 254.
- LENNTECH, 2013. Cobalto. En línea. Consultada el 25 de abril del 2013. Disponible en: <http://www.lenntech.es/periodica/elementos/co.htm>.
- LENNTECH, 2013. Cobre. En línea. Consultada el 25 de abril del 2013. Disponible en: <http://www.lenntech.es/periodica/elementos/cu.htm>.
- MENESES QUISBERTR.I. (1997). Estudio de la vegetación en la zona minera de Milluni, Provincia de Murillo, Departamento de La Paz, Tesis para optar al grado de Licenciatura en Biología, FCPN, Universidad Mayor de San Andrés, 107 p.
- MILLER, J. 2003. Heavy metal contamination of water, soil and produce within riverine communities of the Rio Pilcomayo basin, Bolivia. Elsevier. Science of the Total Evironsmenete 320: 189 – 209.
- MIRANDA, A., ARANCIBIA, H., QUISPE, R., 2010. Reconocimiento del patrimonio geológico y minero de la región de Milluni en La Paz Bolivia

- ONEOLOGIA, 2013. Como limpiar el agua contaminada con cáscara de banana. En línea. Consultada el 2 de abril del 2013. Disponible en: <http://www.onecologia.com/ecologia-online/como-limpiar-agua-contaminada-con-cascaras-de-banana/>.
- PRIETO G., F., MARTÍNEZ P., F.H., MÉNDEZ, M.A. y PRIETO, M.J. 2007b. Presencia de metales pesados en cultivos de Actopan e Ixmiquilpan, Valle del Mezquital, México, por riego con aguas negras. Revista Latino Americana Recursos Naturales. México 3: 100-111.
- RAFFAILLAC, ETIENNE, 2002. Estudio in situ de la contaminación minera de la Cuenca Milluni.
- ROSA, C.E.V., SIERRA, M. AND RADETSKI, C.M. 1999. Use of plant tests in the evaluation of textile effluent toxicity. Ecotoxicology Environmental Research, 2:56-61.
- SALVARREDY-ARANGUREN MATIAS, M., 2003. Rappaport pour l'IRD, Laboratoire de Mécanismeset. Transferts en Géologie, Toulouse, France.
- TCHOBANOGLOUS, G., BURTON, F.L., STENSEL, H.D., 2003. Waste Engineering: treatment and Reuse/Metcalf & Eddy, Inc., 4ª edition, McGraw-Hill, New York.
- Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: Recurso agua, 2002.

ANEXOS

Anexo 1. Fotografía de la laguna Jankho Khota



Anexo 2. Fotografía de la laguna Milluni Chico.



Anexo 3. Fotografía de la laguna Milluni Grande.



Anexo 4. Agua Contaminada sin tratamiento.



Anexo 5. Agua contaminada mezclada con la cáscara de banano.



Anexo 6. Residuos de la cáscara de banano utilizada en el tratamiento.

