



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS AGROPECUARIAS

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MECANISMO PARA COMPOSTAJE
DE LODOS PROVENIENTES DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES DE INDUSTRIAS TEXTILES**

Trabajo de Titulación presentado en conformidad a los requisitos establecidos
para optar por el título de Ingeniero Ambiental en Prevención y Remediación

Profesor Guía

M.Sc. Eugenia Paola Posligua Chica

Autor

Danilo Javier Benavides Guerra

Año

2015

DECLARACIÓN DEL PROFESOR GUÍA

“Declaro haber dirigido este trabajo a través de reuniones periódicas con el estudiante, orientando sus conocimientos y competencias para un eficiente desarrollo del tema escogido y dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación.”

Eugenia Paola Posligua Chica

Ingeniera Master en Ciencias

CI: 091975015-8

DECLARACIÓN DE AUTORÍA DEL ESTUDIANTE

“Declaro que este trabajo es original, de mi autoría, que se han citado las fuentes correspondientes y que en su ejecución se respetaron las disposiciones legales que protegen los derechos de autor vigentes.”

Danilo Javier Benavides Guerra

CI: 100369740-4

AGRADECIMIENTO

A mi Madre por todo su apoyo incondicional. A mis hermanos por estar conmigo y ayudarme en las labores de casa. A mis tíos quienes han sabido apoyarme con alguna necesidad urgente o consejo. A mi papá aunque no me ayude mucho. A la Ing. Paola Posligua, por ser una gran guía, confío mucho en ella. Andrés quien me ha compartido sus fuerzas de trabajo y cariño. A mi novia M.G a quien le agradezco por haber entrado a mi vida durante esta tesis.

DEDICATORIA

Dedico toda la tesis y mis estudios a mi mamá. Narcisa Guerra, quien ha sabido cuidarme desde pequeño hasta ahora, quien me ha aconsejado de la mejor manera para ser la persona y el profesional que ahora soy gracias a su sacrificio. La persona quien ha sabido escucharme y guiarme como persona, como amigo y como hijo. Una Mamá de las mejores, incomparable. Gracias por todo mami, la amo.

RESUMEN

En Ecuador la industria textil asciende los 47043 establecimientos. Los cuales constituyen un grave problema al momento de generar residuos procedentes de Plantas de tratamiento de aguas residuales, como lodos que son desechos con altas concentraciones de contaminación inorgánica. Donde se encuentran metales pesados y elementos nocivos para el ambiente, que van a biomagnificarse si no se realiza un tratamiento previo a su disposición final.

Para ello se elaboraron pellets, formados por elementos como carbón activado, zeolita activada, cal viva, EDTA y CMC. Estos elementos en conjunto son capaces de adsorber y remover los metales pesados, al descontaminar lodos procedentes de aguas residuales, haciéndolos aprovechables para un posterior proceso de compostaje.

Para esta adsorción iónica se construyó un mecanismo formado por una base giratoria en donde se pudo ensamblar dos tipos de reactores cilíndricos. Un reactor cuyo funcionamiento fue de adsorber metales pesados y mitigar las concentraciones de este contaminante inorgánico con ayuda de pellets contenidos en su interior. donde se produjeron las siguientes variaciones a partir de concentraciones iniciales (mg/L) de: Al 0.24, Cd 0.07, Cu 3.64, Cr 1.253, hasta obtener concentraciones finales (mg/L) de: Al <0.12, Cd 0.05, Cu 1.51, Cr 0.4.

Después de esto mediante el reactor cuya función fue de compostaje, se realizó el procedimiento para la obtención de compost, donde el experimento de mayor eficiencia obtuvo una temperatura de 45°C, con ello alcanzando la fase termófila necesaria para la eliminación de patógenos y mineralización de nitrógeno. La mezcla de este experimento fue de 800 g de base inicial de compostaje y 200 g de gallinaza, específicamente la base inicial de compost (BIC) está formada por cachaza 200 ml, cascarilla de arroz 1000 g, gallinaza 1300 g, poda 200 g, lodo diluido tratado 1000 ml, materia orgánica (residuos vegetales) 300 g.

ABSTRACT

In Ecuador, the textile industry has 47043 establishments. Treatment plants of wastewater generate scraps coming from sewage, such as sludge. This kind of cull has a high concentration of inorganic contamination, heavy metals and harmful elements for the environment, which biomagnify unless there is a previous treatment before its final disposition.

Because of this, pellets were made from elements such as activated carbon, activated zeolite, quicklime, EDTA and CMC. These elements, as a group, are capable of absorbing and removing the heavy metals, decontaminating sludge coming from residual water. These makes the pellets exploitable for a subsequent composting process.

For this ionic adsorption a mechanism was built. The mechanism is formed by a swivel base, where two different types of cylindrical reactors were assembled. The first reactor has the aim of absorbing heavy metals and mitigate the concentrations of the inorganic pollutant, thanks to the pellets inside of it. There were some variations comparing the initial concentrations (mg/l) : Al 0.24, Cd 0.07, Cu 3.64, Cr 1.253, to the final concentrations (mg/l); Al <0.12, Cd 0.05, Cu 1.51, Cr 0.4.

After that, with the reactor which aim is composting, the procedure was obtaining the compost. The most efficient experiment obtained a temperature of 45 °C, reaching the thermophilic phase, which is necessary for the elimination of pathogens, and the mineralization of nitrogen. The mix of this experiment was 800 g of initial composting base and 200 g of gallinaza. Specifically, the initial compost base (BIC) was formed by 200 ml of cachaza, 1000g of rice husk, 1300 g of gallinaza, 200 g of pruning, 1000 ml of treated diluted mud, and 300g of organic elements (vegetable waste).

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
Antecedentes	1
Problemática	2
Alcance	3
Justificación	4
Objetivos	5
Objetivo General	5
Objetivos Específicos	5
1. CAPITULO I. MARCO TEÓRICO	6
1.1. Proceso de formación de lodos residuales en PTAR	6
1.2. Tecnologías de tratamiento de lodos residuales	7
1.2.1. Fitorremediación	7
1.2.2. Extracción Sólido-Líquido (Solventes)	7
1.2.3. Adsorbentes	9
1.2.4. Adsorbentes naturales	18
1.3. Compostaje de lodos provenientes de PTAR	21
1.3.1. Disposición final del compost	23
2. CAPITULO II. METODOLOGÍA	25
2.1. Diagrama de flujo del proceso experimental	25
2.2. Producción de pellets primarios	26
2.2.1. Pruebas de resistencia mecánica	29
2.2.2. Producción de pellets final	31
2.3. Construcción reactor de adsorción	33
2.4. Adsorción de metales a escala de laboratorio	36
2.4.1. Análisis final de adsorción de metales	37
2.4.2. Diseño experimental de adsorción de metales	37
2.4.3. Análisis inicial de metales en lodos	37
2.4.4. Tratamiento de lodos en unidad experimental	39

2.4.5. Análisis final de metales en lodos.....	40
2.5. Construcción reactor de compostaje.....	40
2.5.1. Compostaje	42
3. CAPITULO III. RESULTADOS	49
3.1. Resultados de las pruebas de resistencia mecánica	49
3.2. Resultados del diseño experimental de adsorción inorgánica.....	50
3.3. Resultados de la adsorción de aluminio	52
3.4. Resultados del tratamiento de lodos en unidad experimental a escala de laboratorio	52
3.5. Resultados del compostaje.....	54
4. CAPITULO IV. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	55
4.1 Análisis de las pruebas de resistencia mecánica.....	55
4.2. Análisis del diseño experimental de adsorción inorgánica.....	63
4.3. Efectos de la adsorción de aluminio	67
4.4. Análisis del tratamiento de lodos en unidad experimental a escala de laboratorio	68
4.5. Análisis del diseño experimental del compostaje.....	71
4.6. Análisis Costo/Beneficio	80
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	87
Conclusiones	87
Recomendaciones.....	89
REFERENCIAS	90
ANEXOS	96

INTRODUCCIÓN

Antecedentes

La industria textil asocia todas las actividades dedicadas a la manufactura y adquisición de tejidos, fibras, hilado, tinturado, acabado y confección de diferentes prendas. Inicialmente el término textil se lo aplicaba solo a telas tejidas, pero debido al desarrollo de esta industria, ahora se extiende inclusive a telas producidas por métodos distintos al tejido, como aquellas creadas por procedimientos químicos o uniones mecánicas. Dentro de estos procesos textiles también se consideran las operaciones de preparación de fibras de fuentes naturales (animales o vegetales), y donde se realizan técnicas como el teñido, blanqueado o mercerización (UNAD, 2013).

Para la descontaminación de aguas residuales de industrias textiles, es muy común el utilizar plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR), en las que se usan diferentes métodos para purificar las aguas. Uno de estos métodos es la coagulación y floculación, donde por sedimentación de los contaminantes, se forman lodos residuales, los mismos que deben recibir algún tipo de tratamiento que permita darle un empleo ecológico, ya que por sus características pueden tener un gran potencial de aprovechamiento. Este es el caso del compostaje, que beneficia económicamente a la empresa no solo por la disminución de costos sino también por la agregación de valor a lodos residuales derivados de su transformación en abono orgánico de calidad.

Los fangos o lodos son aquellos subproductos resultantes de los procesos de tratamiento de las estaciones depuradoras de aguas residuales. Son de gran importancia al encontrarse en el Ecuador dentro del 1.356.658,77 kg/año de residuos textiles y al no ser tratados el 46% del total generado (INEC, 2012). Son una fuente potencial de materia orgánica, pero si no se le da el adecuado manejo será un grave problema (Torres, 2000).

La disponibilidad de lodos en el Distrito metropolitano de Quito (DMQ), actualmente se encuentra como un objetivo específico del plan de manejo y potabilización de agua. Siendo así la implementación de un programa de gestión de los biosólidos generados por las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (EPMAPS, 2014)

Problemática

La necesidad de preservar el medio ambiente ha llevado a la búsqueda de nuevos métodos para la eliminación eficiente de agentes químicos que alteran la estabilidad de nuestros recursos. Entre ellos se encuentran los metales pesados, los cuales constituyen un grave problema al momento de encontrarse en lodos provenientes de aguas residuales de plantas de tratamiento. En el Ecuador, la problemática acerca del bajo control de aguas residuales industriales se ha convertido en un grave problema desde los años 90 (Da Ros, 2010). La industria textil a nivel nacional asciende los 47043 establecimientos, mayoritariamente dispuestas en provincias como Pichincha con 12682, Guayas con 8192, Tungurahua con 3818, Azuay con 3536, Imbabura con 2111, siendo las más destacadas de la manufactura textil (INEC, 2012). En el Distrito Metropolitano de Quito basándose en la caracterización de aguas residuales de las industrias, se ha estimado la generación de 5 ton/día de lodos en base seca, sin considerar la adición de sólidos por los tratamientos de depuración de aguas. (REPAMAR, 1999).

A veces también se habla de contaminación por metales pesados incluyendo otros elementos nocivos para el ambiente, como el aluminio o arsénico. El aluminio es un elemento que por su toxicidad, es incluido como metal pesado en algunas listas de dichos tóxicos. Algunos estudios relacionan al desarrollo de enfermedades neurológicas como la demencia pre-senil o la enfermedad de Alzheimer, debido a la presencia de iones de aluminio en el agua potable; sin embargo, todavía se necesita más investigación para establecer una relación precisa (Aho & Agunwamba, 2014; Alo, et al., 2012; Pallavi & Mahesh, 2013).

Grandes cantidades de lodo con aluminio provenientes de plantas de aguas residuales son depositadas todos los días en vertederos y esto sigue siendo motivo de preocupación ya que estos lodos requieren tratamiento para evitar una mayor contaminación en aguas subterráneas.

Los metales pesados son uno de los desechos más tóxicos que se arrojan como desechos industriales; que aunque son imprescindibles para el desarrollo de los organismos, en altas concentraciones pueden llegar a ser letales. Su acción directa sobre los seres vivos ocurre a través del bloqueo de las actividades biológicas, es decir, la inactivación enzimática por la formación de enlaces entre el metal y los grupos sulfhidrilos (-SH) de las proteínas, causando daños irreversibles en diferentes organismos (Soto et al., 2010).

El uso de tecnologías de bajo coste y amigables con el ambiente, son específicamente necesarios en países en desarrollo donde no existe un control sobre el destino de aluminio. La producción de biosólidos a partir del tratamiento de aguas residuales no es nueva en el mundo, ofrece opciones comerciales a partir de su transformación, un gran ejemplo de ello es el compost que es un abono de excelente calidad (Vélez, 2012). La mezcla de estos biosólidos de PTAR tratados, con materia orgánica pueden ofrecer un compost de alta calidad con buenos niveles de carbono y nitrógeno. De manera lindante en Ecuador se producen diariamente once mil toneladas de residuos sólidos, en donde el 61.4% son orgánicos, y del total de residuos solo el 14% es reciclado (MAE, 2014; Soliz, 2011).

Alcance

Como alcance de este proyecto se ha determinado la elaboración de compost, como principal resultado de la recuperación de lodos de una PTAR, mediante un mecanismo experimental, que ayude al aprovechamiento de este excedente. Frecuentemente, los lodos provenientes de las industrias textiles, contienen metales pesados que los hacen no aptos para el compostaje. Para

ello será necesario realizar un diseño del proceso a escala piloto, en el cual a partir de la evaluación de diferentes tipos de tratamientos para hacer de los lodos de la industria textil aptos para un proceso de compostaje, después se logrará obtener un compost capaz de mejorar la calidad del suelo, para lo cual se evaluará su calidad por medio de análisis físicos, químicos y biológicos. Obteniendo las características de este compost, se realizarán pruebas en unidades experimentales, que mediante ensayos y manipulación de las mismas, se obtendrán resultados que nos darán los parámetros fundamentales en la adquisición del compost deseado.

Justificación

La implementación de un proceso de compostaje a partir de lodos provenientes de plantas de tratamiento de aguas residuales de industrias textiles tiene como finalidad el reducir al mínimo los impactos ambientales negativos para el medio ambiente. Además el problema en el manejo de estos lodos residuales, se asocia principalmente con el desperdicio de su potencial de aprovechamiento y su disposición solo como residuos sólidos o líquidos, incrementando la cantidad de desechos que van a disponerse en rellenos sanitarios, y con ello la proporción de lixiviado que se va a generar por parte de estos remanentes. Es por ello que se justifica buscar tratamientos adecuados que permitan el uso racional de dichos residuos.

Es importante destacar que al realizar este tipo de análisis se puede aportar significativamente a industrias textiles un mecanismo de disposición de lodos residuales, y de igual forma obtener un valor agregado mediante la obtención de compost por medio de estos residuos que inicialmente no pueden recuperarse por la alta no biodegradabilidad.

Objetivos

Objetivo General

Aprovechar lodos provenientes de una planta de tratamiento de aguas residuales de una industria textil para su utilización en el compostaje.

Objetivos Específicos

- Determinar el tipo de tratamiento para la remoción de contaminación inorgánica en un lodo proveniente de una PTAR de una industria textil.
- Implementar un proceso de compostaje a partir de lodos provenientes de un proceso de remoción inorgánica a escala piloto.
- Caracterizar el lodo y la calidad del compost por medio de análisis físicos, químicos y biológicos.
- Definir el costo/beneficio de la implementación de este mecanismo de compostaje para la industria textil.

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Proceso de formación de lodos residuales en PTAR

Las aguas residuales industriales son aquellas que se generan como consecuencia de utilizar agua en procesos de producción, transformación o manipulación (Trejos & Agudelo, 2012). El tratamiento de aguas residuales en plantas de tratamiento (PTAR) es una combinación de procesos físicos, químicos y biológicos en donde se generan grandes volúmenes de lodos orgánicos. Para su mejor manejo se someten a procesos de espesamiento, digestión y deshidratación (Vélez, 2012).

Los contaminantes contenidos en las aguas residuales pasan a las plantas de tratamiento donde se eliminan en gran medida por la absorción en el lodo producto de un tratamiento fisicoquímico o biológico (García, 2006). En la figura 1, se puede observar el proceso formación de lodos residuales.

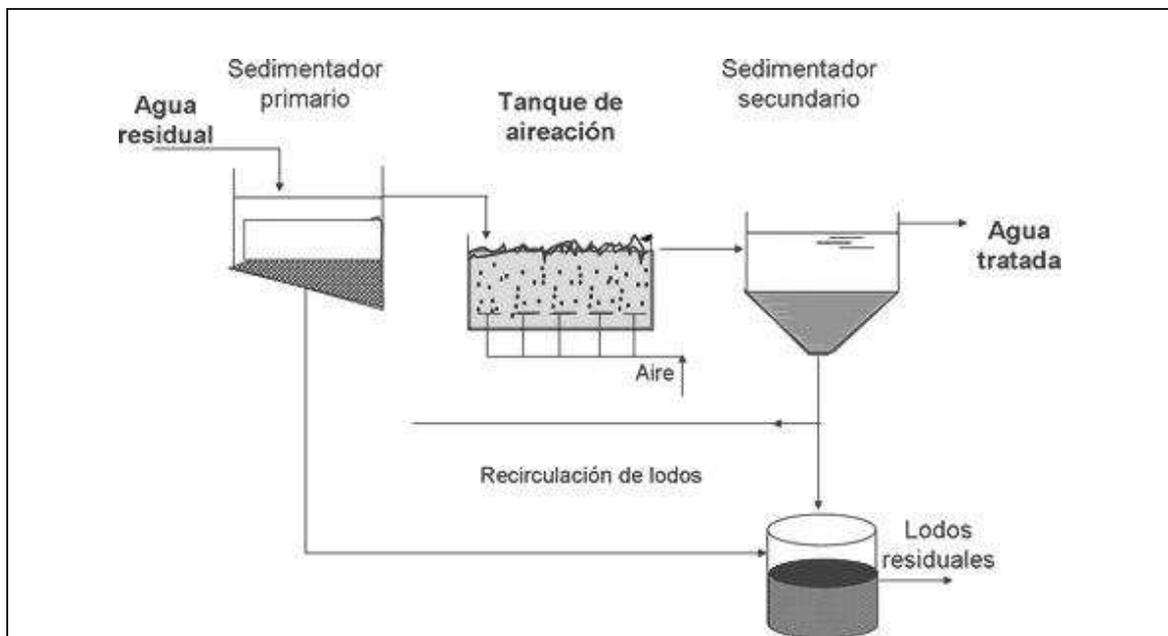


Figura 1. Proceso de formación de lodos residuales

Tomado de (Trejos, 2012)

a) A partir de agua residual mediante procesos de coagulación-floculación se producen lodos residuales

1.2. Tecnologías de tratamiento de lodos residuales

1.2.1. Fitorremediación

La fitorremediación es un proceso que utiliza plantas para remover, movilizar, estabilizar, concentrar o eliminar contaminantes en lodos residuales. Es una tecnología alternativa y sustentable que surge para la limpieza eficaz y barata de una amplia gama de contaminantes (Bonilla, 2013). En la fitorremediación existen las metalofitas, que son especies de plantas que han desarrollado los mecanismos fisiológicos para resistir, tolerar y sobrevivir en suelos con altos niveles de metales y, por esto, son capaces de soportar concentraciones altas de estos contaminantes (Shaw, 1990).

Las especies nativas que sobreviven en suelos contaminados con metales han desarrollado diferentes tipos de mecanismos fisiológicos para tolerar la presencia de metales (Becerril et al., 2007). Los mecanismos de fitorremediación incluyen la rizodegradación, fitoextracción, fitodegradación y fitoestabilización. La rizodegradación es la encargada de empezar el proceso de fitorremediación en las raíces. Las sustancias excretadas naturalmente por las mismas, suministran nutrientes para los microorganismos, mejorando así su actividad biológica. Durante la fitoextracción, los contaminantes son captados por las raíces donde existe una fitoacumulación, y posteriormente son traslocados y acumulados hacia los tallos y hojas, este último paso se lo denomina fitoextracción. En la fitoestabilización, las plantas limitan la movilidad y biodisponibilidad de los contaminantes en el lodo, debido a que las raíces de compuestos químicos, pueden formar complejos con los contaminantes (Agudelo et al., 2012).

1.2.2. Extracción Sólido-Líquido (Solventes)

Una sustancia solvente es aquella que puede disolver. La mezcla homogénea entre un solvente y un soluto se conoce como solución. En la soluciones, por lo tanto, el solvente o disolvente aparece en mayor cantidad y permite que el soluto se disuelva (Torres, 2012).

EDTA

Ácido etilendiaminotetraacético (EDTA) es eficaz en ofrecer el mayor potencial como agente quelante. La solución quelante elimina los metales pesados (Peters, 1999). Este es un agente quelante con una alta constante de afinidad para formar complejos metal-EDTA, se añade deliberadamente para secuestrar iones metálicos. Es una molécula muy fuerte y estable que se encuentra naturalmente en Europa en diferentes cuerpos acuosos, como ríos y lagos (Williams, 1998).

El EDTA ha sido usado para formar complejos con metales pesados como (Hg^{+2} , Cd^{+2} , Pb^{+2} , Zn^{+2} , Cu^{+2} , Fe^{+3} , Mn^{+2}), lo cual hace que los metales libres unidos a las moléculas de EDTA disminuyan su toxicidad. A pesar de su comportamiento como contaminante persistente en el medio ambiente, ya que asegura una movilidad y biodisponibilidad de metales pesados con baja biodegradabilidad del ligando (Sillanpää, 2001). Sin olvidar que los efectos de EDTA varían mediante la concentración y el metal analizado (Hafez, 2002).

Ácido Fosfórico

El ácido fosfórico se produce principalmente en los llamados procesos húmedos, en donde el mineral de fosfato reacciona con el ácido sulfúrico para formar sólidos de ácido fosfórico y sulfato de calcio (Koopman & Witkamp, 2002). También se lo puede encontrar en forma libre, aunque en pequeña proporción. La concentración de iones fosfato en el plasma sanguíneo es de aproximadamente 2 mEq/litro (Moyano, 2012). El H_3PO_4 se ha utilizado para eliminar los metales pesados del lodo de aguas residuales industriales, metales pesados como Zn, Pb, Cd, Ni, Cr y Cu (Zhang, 2010).

Resultados muestran que las concentraciones de H_3PO_4 tienen un efecto significativo en la eficiencia de la extracción de metales pesados para los seis Pb 99,1%, Cd 87,15%, Zn 79,71%, Cr 78,01%, Ni 70,57%, y Cu 60,91%, respectivamente. La distribución de las especies de metales pesados en los

lodos tiene una influencia importante en la extracción de metales pesados. La extracción de metales pesados con este solvente es controlada principalmente por tres aspectos: el efecto de H_3O^+ , la reacción de la coordinación, y la reacción de precipitación (Zhang, 2010). Este solvente usualmente puede disolver iones metálicos de dos formas, las cuales son creando complejos de asociación iónica o formando quelatos metálicos, estos últimos suelen ser insolubles en agua y precipitan (Moyano, 2012).

1.2.3. Adsorbentes

El uso de sólidos para remover sustancias gaseosas o soluciones líquidas se conoce como adsorción. En donde las moléculas de sustancias en forma de gases o en fase líquida se adhieren a un sustrato sólido, el cual puede ser removido con un post tratamiento. Un adsorbente tiene gran porosidad y su eficiencia depende de su área superficial (Salam et al., 2011).

Zeolita

Las zeolitas son aluminosilicatos provenientes de procesos naturales, tales como la alteración de rocas volcánicas con alto contenido de vidrio, o a su vez pueden ser producidas de forma sintética.

La estructura de un cristal de zeolita se basa en un tetraedro que está formado por cuatro átomos de oxígeno enlazados con un átomo de silicio por medio de sus cuatro electrones de valencia, los cuales forman cristales. En la formación de cristales se puede sustituir el silicio por aluminio cuando este último se encuentra presente en la formación de los cristales (EPA, 1999).

Las propiedades adsorbentes de las zeolitas son principalmente atribuidas a la estructura tridimensional con largos canales y zonas cargadas negativamente. Esta carga negativa se genera por el reemplazo de Al^{+3} por Si^{+4} , es equilibrada por el intercambio catiónico divalente tanto como sodio, calcio y magnesio en su estructura interna, los mismos que pueden intercambiarse por metales

(Bailey, 1999). Se puede observar en la Tabla 1 la capacidad de adsorción de metales pesados en diferentes tipos de zeolitas.

Tabla 1. Capacidades de adsorción de metales pesados mediante diferentes tipos de zeolitas y distintos autores.

Tipo de Zeolita	Co (mg/g)	Cd (mg/g)	Pb (mg/g)	Ni (mg/g)	Cu (mg/g)	Zn (mg/g)	Referencias
Chabazita		137	175				Ouki, 1993
	5,8	6,7	6	4,5	5,1	5,5	Ouki y Kavanagh, 1997
Chabazita-phillipsita				0,5	0,37	0,04	Ibrahim, 2002
Clinoptilolita	1,4	2,4	1,6	0,4	1,6	0,5	Zamzow, 1990
		1,2	1,4				Malliou, 1992
		70	62				Ouki, 1993
	1,5	3,7	6	0,9	3,8	2,7	Ouki y Kavanagh, 1997
		4,9	26,8	15,6	25,7		Sprynskyy, 2006

Adaptado de (Ouki et al., 1993)

Nota: Existen diversos tipos de zeolitas de origen natural.

Carbón activado

El carbón activado es muy eficiente como adsorbente de metales pesados, el cual debe ser activado de forma física o química. Para la producción de carbón activado de forma física o también llamada térmica existen dos niveles de proceso (Burchell, 1999). En el proceso de carbonización se busca eliminar el hidrógeno y oxígeno para dar lugar a un esqueleto carbonoso, con una estructura interna porosa, en la gasificación se produce una reacción entre el gas y los átomos de carbono más reactivos, eliminándolos como monóxido de carbono (Dabrowski, 2005). Mediante la forma química se usa un material lignocelulósico, como madera, el cual se impregna con un agente químico como Ácido Fosfórico o Cloruro de Zinc. Después de impregnar el material, este se calienta en horno a 500 - 700 °C (Rodríguez & Sabio, 2004).

Este material tiene una estructura interna muy porosa, ya que puede contener tres tipos de poros (Microporos, mesoporos, macroporos), y gran área superficial, lo que brinda la adsorción de diferentes elementos por su gran área superficial (Rodríguez & Sabio, 2004). El carbón activado puede ser utilizado en forma de pellets, en polvo, o granular, siendo esta última la más utilizada en la remoción de metales pesados tales como Cr, Hg, Cu, Cd, Fe, Ni, Zn (Dabrowski, 2001).

Cal viva

La cal viva es un material usado en polvo o granulado para la adsorción de metales, cuyo componente principal es el óxido de calcio (CaO), y es producida a partir de la calcinación de las calizas. De la misma forma se usa hidróxido cálcico $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Son productos muy higroscópicos (Pixelia, 2011).

Cuando al agua se le agrega un exceso de cal, su pH se eleva a 10,5 – 11 y si se mantiene en reposo de uno a tres días, sirve para remover la mayoría de metales pesados, este proceso es llamado “tratamiento de exceso de alcalinidad”. La cal activa es muy usada en la flotación, o para la recuperación de muchos metales no ferrosos, especialmente la flotación de minerales de cobre, donde la cal actúa como sedimentador (aditivo asentador), ayudando a

mantener una apropiada alcalinidad para un pH neutral de 7 (Addy et al., 2004). En la recuperación del mercurio proveniente de la mezcla con sulfuro de zinc natural cristalizado, la cal es usada para remover el sulfuro de zinc, níquel y metales antifriccionantes de mineral de plomo (NLA, 2010).

Aserrín

El aserrín es usado para la remoción de contaminantes tales como tintes, aceites y metales pesados de aguas residuales (Shukla, 2002). La mayor ventaja es el ser un abundante residuo sólido de las industrias forestales, principalmente en Ecuador el volumen de producción anual de aserrín aproximadamente es de 582291 m³ (MAE, 2010). Entre los componentes del aserrín se encuentran polímeros de lignina, taninos y compuestos fenólicos, los mismos que permiten un intercambio iónico y la formación de puentes de hidrógeno durante la adsorción de metales (Yu, 2003).

Dentro del proceso de remoción de metales pesados mediante el uso de aserrín, también implica limpiar previamente este material y combinarlo si es posible con alguna resina para aumentar su eficiencia de adsorción. A esto se debe tomar en cuenta diferentes variables como cantidad de aserrín para la remoción de metales, tamaño del adsorbente sólido, tiempo de remoción, velocidad de agitación y pH del lodo a tratar, este último es el factor que va a controlar la operación unitaria de adsorción (Elliott & Huang, 1981). Material como el aserrín puede cambiar la carga positiva o negativa dependiendo el nivel de pH (Lewinsky, 2007). En la tabla 2 se pueden observar los valores de remoción de metales pesados con aserrín de diferentes procedencias.

Tabla 2. Clases de aserrín y su capacidad de adsorción por varios autores.

Clase de Aserrín	Pb (mg/g)	Cd (mg/g)	Cr (mg/g)	Ni (mg/g)	Cu (mg/g)	Zn (mg/g)	Referencias
Pino	9,7	9,2					Taty-Costodes, 2003
Sal (<i>Shorea robusta</i>)			3,6				Baral, 2006
Arbol de sisu (<i>Dalbergia sissoo</i>)				10,4			Rehman, 2006
Álamo					13,9		Acar y Eren, 2006
Abeto					12,7	13,4	Sciban, 2006
Cedro (<i>Cedrus deodara</i>)		73,6					Memon, 2007
Nogal	4,4	4,5		6,4			Bulut y Tez, 2007
Roble			1,7	3,3	3,6		Argun, 2007

Adaptado de (Taty-Costodes et al., 2003)

Nota: La capacidad de adsorción varía dependiendo del tipo de aserrín.

Cenizas

Las cenizas son material particulado producido tanto de manera natural o antrópica, la primera a partir de ciclos naturales en áreas de actividad sísmica y volcánica, y la última por la combustión de carbón en industrias termoeléctricas (Spala, 2011). Durante la incineración del carbón los componentes orgánicos son oxidados y volatilizados, mientras que la mayoría de materia mineral es transformada en residuos sólidos como cenizas y escorias. Las cenizas se movilizan por medio de flujos de gases producidos durante la incineración, las cuales deben ser retenidas por medio de filtros especiales, colectores mecánicos, depuradores, entre otros (Umaña, 2004).

Se encuentran principalmente formadas por una acumulación de microesferas con diámetro micrométrico. Esta ceniza se puede considerar como una buena alternativa dentro del tratamiento de aguas residuales debido a que se encuentran constituidas por alúmina, sílice, óxido de hierro, óxido de calcio, óxido de magnesio y carbono (Bailey, 1999); muestran una porosidad de 0,016 - 0,1 cm³/g (Wang, 2003); además de un área superficial específica de 0,4 - 485 m²/g (Bayat, 2002).

Las cenizas pueden ser usadas como adsorbentes de bajo costo, y se considera como una buena alternativa para la remoción de metales pesados. En la Tabla 3 se puede identificar su capacidad de adsorción en diferentes tipos y tratamientos. Entre los mecanismos implicados en su remoción está la adsorción por la presencia de alúmina y sílice; y la precipitación por existencia de hidróxido de calcio (Wang & Wu, 2006).

Tabla 3. Tipos de Ceniza y capacidad de adsorción de metales pesados.

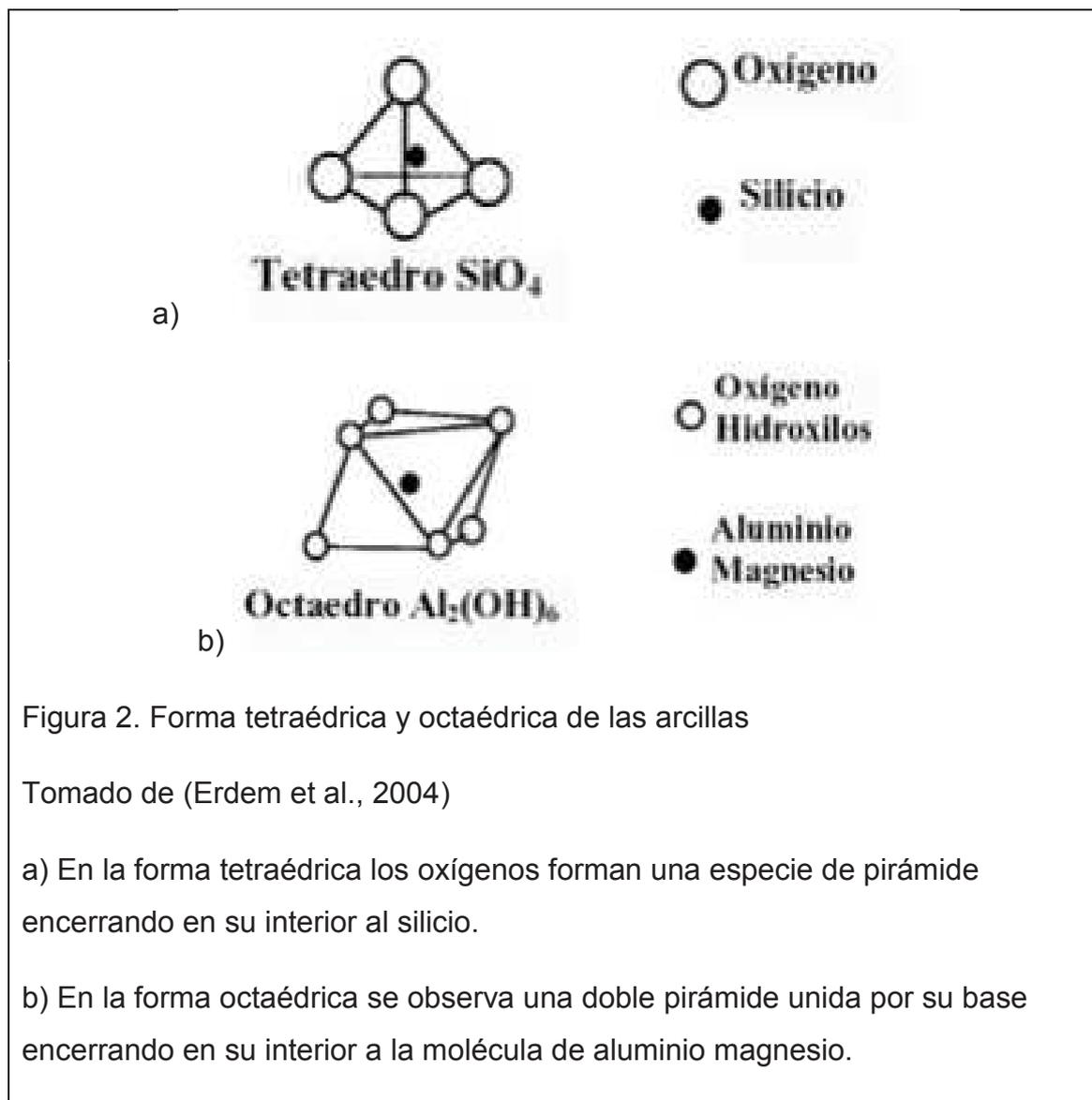
Tipos de Ceniza	Zn (mg/g)	Cu (mg/g)	Pb (mg/g)	Cd (mg/g)	Referencias
Ceniza		1,39	444,7	198,2	Ayala, 1998
Ceniza mezclada con wollastonita		1,18			
Ceniza Lavada			483,4	195,2	
Ceniza	6,5				Banerjee, 2003
Ceniza con Aluminio	7,0				
Ceniza con Hierro	7,5				

Adaptado de (Ayala, 1998); (Banerjee, 2003)

Nota: La ceniza puede elevar sus propiedades de adsorción si se mezcla con un material con propiedades similares.

Arcilla

La arcilla es un material de adsorción e intercambio iónico, que están formadas por Si, Al, H₂O y se pueden representar de dos formas, sea tetraedro u octaedro, las cuales se divisan en la figura 2.



Son estructuras cargadas negativamente, con gran área superficial y mucha porosidad, donde se usan los grupos silanol y aluminol. Diferentes tipos de arcillas se pueden observar en la tabla 4.

Tabla 4. Tipos de arcillas y capacidad de adsorción en varios estudios.

Tipo de Arcilla	Cd (mg/g)	Pb (mg/g)	Ni (mg/g)	Cu (mg/g)	Zn (mg/g)	Referencias
Bentonita	11,41				4,54	Panday, 1986
					52,91	Mellah y Chegrouche, 1997
		20				Naseem y Tahir, 2001
Paligorskita		62,1	33,4	30,7		Potgieter, 2006
Montmorillonita	0,72	0,68				Srivastava, 1989
	4,78				4,9	Undaybeytia, 1996
Caolinita					1,25	Singh, 1988
	0,32	0,12				Srivastava, 1989
	0,8	1,41		0,8	1,8	Chantawong, 2003
Ilita		4,29				Chantawong, 2001
	3,7			1,9		Arias, 2002

Adaptado de (Panday et al., 1986)

Nota: Se debe tener en cuenta la disposición del tipo de arcilla que se va a utilizar como material adsorbente.

Dióxido de Titanio (TiO₂)

El dióxido de titanio (TiO₂) es un compuesto inorgánico de pigmentación blanquecina, con un alto índice de refracción, además de ser insoluble en soluciones alcalinas y ácidas, mantiene una fútil toxicidad (Tang, 2003). El titanio es el noveno elemento más abundante de la corteza terrestre. En su forma estable como óxido, se puede encontrar en tres diferentes formas cristalinas que son anastasa, brookita y rutilo (Malato, 2002).

Es un catalizador eficaz en los procesos de fotocátalisis en fase heterogénea para el tratamiento de aguas contaminadas con sustancias persistentes como metales pesados (Serpone & Emeline, 2002). Se lo puede emplear mediante oxido-reducción como medio de ruptura de moléculas de metales pesados, realizando una solución acuosa con el TiO₂ en conjunto con la luz solar para destruir estos contaminantes (Cabello, 2000).

1.2.4. Adsorbentes naturales

Turba

Es considerado como material con alto contenido de carbono y bajo contenido de componentes inorgánicos (Dabrowski, 2005). Se considera a la turba como la acumulación de sustancias orgánicas derivadas preferentemente de materia vegetal, en áreas húmedas de ambiente reductor como pantanos y ciénegas. Se distingue de las otras variedades de suelos orgánicos por su bajo contenido de materia inorgánica, menor al 25% de su peso. Mantiene un poder calorífico más bajo que el de otros materiales fitogenéticos como lignito y carbón. Además su naturaleza puede proceder del musgo, hierba, madera, las mismas que pueden mantener alto contenido de materia orgánica (turba eutrófica) o pobre contenido de celulosa y rica en sustancias húmicas (turba oligotrófica) (Kurniawan, 2003).

La turba está constituida principalmente por lignina, con diferentes grupos funcionales como alcoholes, aldehídos, ácidos carboxílicos, cetonas, hidróxidos fenólicos y éteres que son quienes ayudarán a este material en la adsorción de metales pesados (Bailey, 1999). Se puede desarrollar pellets de turba

inmovilizada o realizar un tratamiento químico para la estabilización de compuestos hidrosolubles (Babel & Kurniawan, 2003). En la Tabla 5, se determinan las capacidades de adsorción de metales pesados por medio de diferentes tipos de turbas.

Tabla 5. Tipos de turbas y capacidad de adsorción de metales pesados.

Tipo de Turba	Zn (mg/g)	Cu (mg/g)	Ni (mg/g)	Cd (mg/g)	Cr (mg/g)	Referencias
Eutrófica	11,1	12,1	11,2	20,2		Babel y Kurniawan, 2003
Oligotrófica	13,1	12,7	11,7	22,5		
Musgo					43,9	

Adaptado de (Babel & Kurniawan, 2003)

Nota: La turba contiene adsorbe la mayoría de metales pesados expuestos.

Cáscaras de plátano y naranja

Las cáscaras de Plátano se pueden usar como un excelente descontaminante iónico mediante el principio de adsorción selectiva de metales pesados, además de ser un residuo de industrias y hogares que es normalmente descartado como basura (Miranda, 2010). Tanto las cáscaras de plátano como de naranja pueden adsorber los metales pesados, al reducir en muchos casos el número de valencia de ciertos elementos como el Cr^{3+} . Pueden ser secados y pulverizados para luego ser usados como material particulado o formar pellets (Pinzón, 2008). Las cáscaras de plátano y naranja tienen grandes áreas superficiales, altas capacidades de expansión de su estructura, excelente resistencia mecánica y tienen un gran potencial para adsorber metales pesados (Annadurai et al., 2003). Las paredes celulares de estos materiales contienen muchos y diferentes tipos de grupos funcionales como amino, carboxílico, hidroxilo, fosfato y tiol que son capaces de adherir metales pesados en su superficie, los mismos que difieren en su afinidad al momento de unirse a los diferentes metales (Ghimire, 2003).

Para las cáscaras de plátano el proceso ocurre al moler las cáscaras de banano y tamizarlas después de haberlas deshidratado en un horno a 60°C (Monteiro, 2013). Para las cáscaras de naranja se cortan trozos pequeños y triturados, se lavan a fondo con agua doblemente destilada para eliminar la suciedad adherida, posterior a esto son secadas en un horno a 100 °C durante 24 horas. Finalmente se tamizan hasta obtener un tamaño de partícula de 1 a 5 mm. Las cáscaras tamizadas se tratan con 0.4 mol/L de NaOH, 0.4 mol/L HNO₃ y agua destilada. Se sumergen 15 g de cáscaras de plátano o naranja en 200 ml de 0.4 mol/L HNO₃ durante 24 horas. Estos se filtran y se enjuagan con agua destilada hasta que el filtrado era casi neutro (Annadurai et al., 2003).

A partir de soluciones sintéticas preparadas como CuSO₄, CoSO₄, NiSO₄, ZnSO₄, and Pb(NO₃)₂. La eliminación mediante la adsorción de Pb²⁺, Ni²⁺, Cu²⁺, Zn²⁺, y Co²⁺ se puede llevar a cabo en el intervalo de concentración de 5-25 mg/L (Annadurai et al., 2003). Las isothermas de adsorción podrían ser mejor descritas por la ecuación de Freundlich, considerando que los sitios de adsorción son ocupados primero por enlaces fuertes y que la fuerza del enlace decrece al incrementar la ocupación de sitios de adsorción; el modelo de adsorción de Freundlich se expresa mediante las ecuaciones 1 y 2 (Rosas, 1999).

$$\ln q_e = \ln K_F + b_F \ln C_e \quad (\text{Ecuación 1})$$

$$b_F = \frac{1}{n} \quad (\text{Ecuación 2})$$

Donde: q_e es la cantidad de soluto adsorbido por unidad de peso del adsorbente (mg/g); C_e es la concentración en equilibrio de la fase líquida (mg/L); K_F indica la capacidad de adsorción en la fase de la solución (L/g); n representa la medición de la magnitud acumulativa y de la energía asociada con una reacción de adsorción particular (Herrejón et al., 2008).

Mediante la agitación de 0.1 g de adsorbente con 100 ml de solución de metal a 180 rpm por 24 horas. En centrifugación a 10000 rpm durante 20 minutos. Las capacidades de adsorción usando cáscara de plátano son de 7.97 (Pb²⁺),

6.88 (Ni^{2+}), 5.80 (Zn^{2+}), 4.75 (Cu^{2+}) y 2.55 mg/g (Co^{2+}) con un equilibrio de pH alrededor de 5.4–5.8; y usando cáscara de naranja 7.75 (Pb^{2+}), 6.01 (Ni^{2+}), 5.25 (Zn^{2+}), 3.65 (Cu^{2+}) y 1.82 mg/g (Co^{2+}) con un equilibrio de pH alrededor de 4.8–5.0. Esta adsorción se incrementa cuando sube el pH a un punto mayor a 8 (Annadurai et al., 2003).

Tagua

La tagua es una palma, que popularmente se la conoce como marfil vegetal y se encuentra en la zona subtropical de la cordillera Andina (Villavicencio & Chávez, 2007). Es conocida también como marfil vegetal, la misma es una almendra celulósica compleja contenida dentro de la semilla de tagua, la cual tiene alto grado de dureza, es de color blanco, es inodora e insípida (Villavicencio, 2009).

La tagua es un material que ayuda a la eliminación de Cr^{6+} a partir de soluciones acuosas y utilizando técnicas de proceso por lotes o de columna. Ensayos de lotes muestran que a pH 1,5 a 5 la eliminación de Cr^{6+} es eficaz, las cuales oscilan entre 29 y 14 mg de Cromo por gramo de sustrato (W.T. Tan, 2008). Este adsorbente se utiliza para la eliminación de Cr^{6+} a una concentración de 10-100 mg/g y temperatura de 10-80 °C y tiempo de contacto 30 minutos se obtiene una capacidad máxima de adsorción de 22,96 mg/g y tiempo de contacto de 30 minutos (Kumara, 2013).

1.3. Compostaje de lodos provenientes de PTAR

Para un compostaje de lodos provenientes de PTAR se realizan tratamientos con tecnologías como las expuestas anteriormente, en donde usando materiales adsorbentes se puede mitigar las concentraciones de metales pesados dentro de estos biosólidos. Al usar estos componentes los metales forman complejos de asociación iónica o quelatos metálicos, así como pueden adherirse en el área superficial de los materiales usados en la adsorción metálica donde se logra minimizar las concentraciones de estos agentes químicos dañinos para el ambiente (Moyano, 2012). La presencia del metal

pesado en la materia prima es un grave problema en el uso de este producto final libre de excelsas concentraciones de contaminantes para elaborar el compostaje (Zorpas et al., 2002). Posterior a la eliminación de altas concentraciones de metales pesados se realiza el compostaje el cual es un proceso complicado (Kosobucki et al., 2000).

El compostaje es una tecnología ambiental que conlleva una serie de transformaciones biológicas a partir de residuos orgánicos y llevada a cabo por microorganismos, donde se liberan diferentes elementos como el N, C, K, P y S (Díaz, 2002). Los biosólidos son residuos ricos en nitrógeno con relaciones C/N entre 5 y 11, lo cual hace que sea un gran aporte hacia el suelo después de su compostaje (Torres et al., 2007). En el compostaje los materiales se trituran y se acondicionan al ambiente por medio de diferentes factores como son el pH, temperatura, humedad, conductividad eléctrica y salinidad (Castillo et al., 2000).

El compostaje comprende las siguientes cuatro etapas:

1) Etapa Mesofílica: en esta primera etapa predominan las bacterias mesofílicas y hongos mesofílicos, y por medio de sus actividades metabólicas la temperatura aumenta de 30-40°C y el pH se reduce del neutro hasta 5-6 debido a la descomposición de lípidos y glúcidos en ácidos pirúvicos, además de proteínas en aminoácidos (Saday, 2009). La relación Carbono/Nitrógeno recomendada para garantizar la eficiencia del proceso debe ser de 20 a 30, en donde el carbono suministrará energía a los microorganismos y el nitrógeno es necesario para la síntesis molecular (Torres et al., 2007). El color y olor es similar a los materiales originales usados para el compost. La humedad debe estar al 60%-70% ya que el agua distribuye a los nutrientes por todos los materiales a compostar. La aireación debe ser adecuada para mantener oxigenada a toda la pila de compostaje pero no demasiado o la puede secar.

2) Etapa Termofílica: Para una adecuada higienización del compost, se requieren periodos entre 4 y 15 días con temperaturas superiores a 45 °C o una hora por encima de 70 °C (Hogg et al., 2002). Estas altas temperaturas

dentro del compostaje se encuentran en esta etapa, en donde las bacterias y hongos de la fase mesofílica mueren, mientras que las bacterias termofílicas y hongos termofílicos se desarrollan y generan aún más calor (Kiely, 1999). Debido a la degradación de los ácidos obtenidos en la primer etapa se provoca un incremento de pH dentro del rango óptimo para el desarrollo de bacterias y hongos 6 - 8 (Zorpas et al., 2003).

3) Etapa de Enfriamiento: debido a que la materia orgánica escasea, la actividad de los microorganismos desciende y la temperatura de la pila disminuye hasta provocar la muerte de los mismos y la reaparición de microorganismos mesofílicos (Zorpas et al., 1999).

4) Etapa de maduración: el pH y la temperatura se estabilizan. El color del compost debe ser negro o marrón oscuro y su olor a tierra de bosque, además de no poder reconocer los residuos iniciales (Saday, 2009). Finalmente en esta fase cuando la relación C/N es menor a 20, se considera que es un compost estable o maduro (Moreno & Moral, 2011).

1.3.1. Disposición final del compost

Siendo el compost el producto final del tratamiento de lodos provenientes de PTAR mediante una previa remoción de metales pesados por medio de materiales adsorbentes asociados en forma de pellets. Se realiza el compostaje, en donde al abono de alta calidad producido concede diferentes usos en el mercado y esto depende de su composición y necesidad por parte del beneficiario.

Según Hogg, estos son los usos en los que se puede disponer al compost previo al tratamiento de lodos de PTAR:

- 1) Horticultura y paisajismo han demostrado para todos los países uno de los mercados más receptivos con buenas perspectivas de desarrollo para el compost maduro.
- 2) Silvicultura y sector forestal, donde el compost puede amparar metales pesados sin mayor problema en su disposición.

3) Las zonas agrícolas encuentran muchas ventajas del uso de compost, y, de hecho, este es un mercado importante para el compost.

4) Los sectores importantes de ganado, son menos probables candidatos para el uso de compost en la agricultura. A excepción de que el compost esté libre de metales pesados para evitar una translocación de estos elementos a plantas y consecuentemente hacia animales y seres vivos.

Cabe señalar que estos conceptos de disposición final de compost pueden variar dependiendo de las normas que se manejen en cada país. Sin embargo el compost es caracterizado por componerse de abundante materia orgánica y nutrientes muy a menudo usados en la agricultura (Jakubus & Czekala, 2001). La calidad del compost con respecto al uso agrícola depende de su contenido de nitrógeno inorgánico. No debe exceder 10% del nitrógeno total y el contenido de amoníaco debe ser menor que 0,04% de la materia seca (Zorpas, 1999).

2. CAPITULO II. METODOLOGÍA

2.1. Diagrama de flujo del proceso experimental

En la figura 3, se representa los procesos realizados en el transcurso de toda la parte experimental, donde a partir de este diseño y planificación se puede especificar cada paso con su debida metodología.

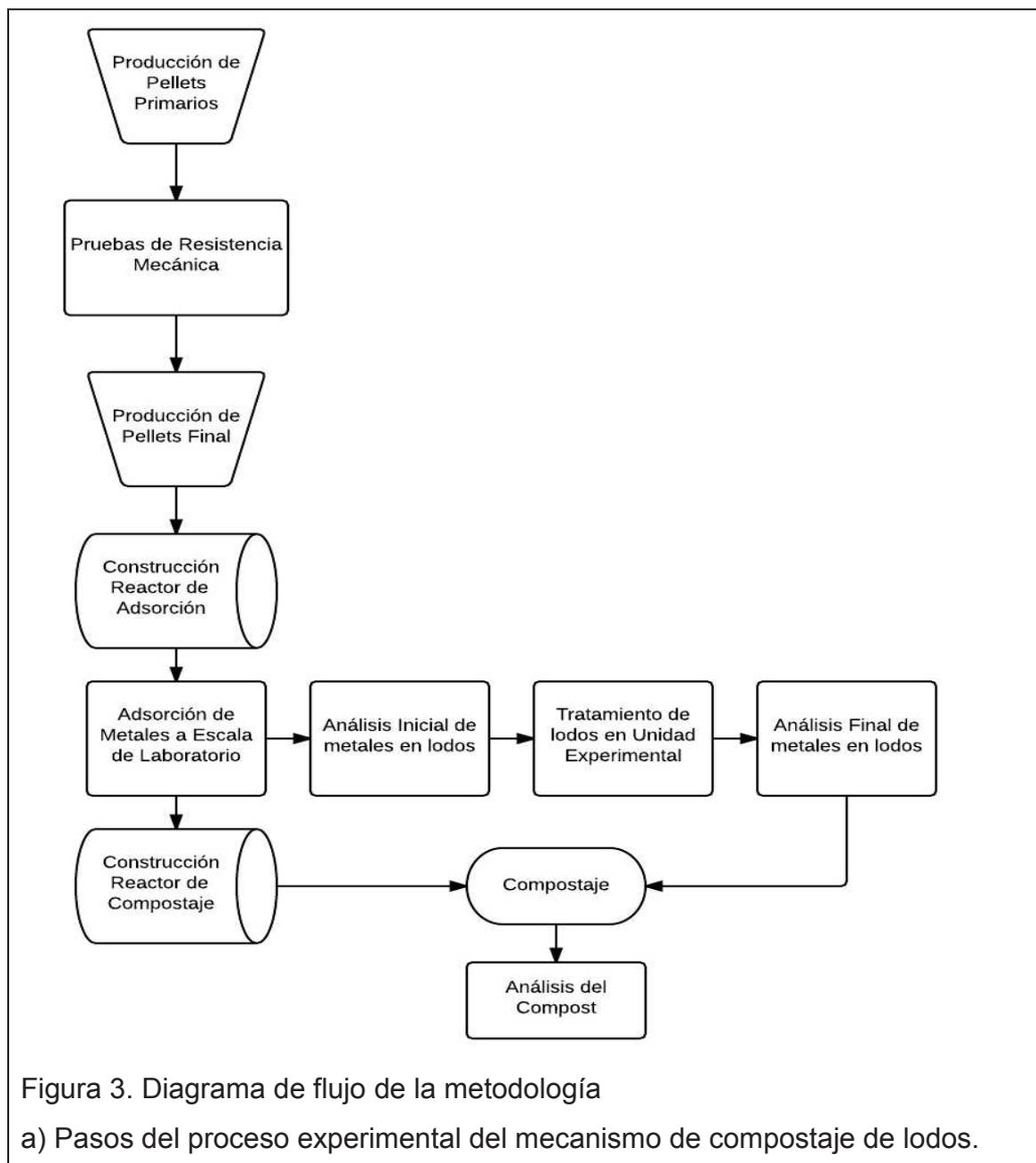


Figura 3. Diagrama de flujo de la metodología

a) Pasos del proceso experimental del mecanismo de compostaje de lodos.

2.2. Producción de pellets primarios

Los pellets son pequeñas estructuras sólidas en forma de pastillas, que ayudarán a la descontaminación inorgánica por medio de adsorción iónica atribuida al tipo de carga de cada material usado en su producción, además de su área superficial.

En la producción de pellets es necesario entender acerca de los materiales necesarios para cumplir con el objetivo de adsorción y compactación estructural. Para ello se dispuso de diferentes fórmulas basadas en un peso final en seco de 10 g. En donde se utilizaron los siguientes componentes:

- Carboximetilcelulosa (CMC)
- Zeolita (activada)
- Carbón (activado)
- Ácido Etilendiaminotetraacético (EDTA)
- Cal (viva)
- Aserrín (laurel)
- Tagua
- Ceniza (volcánica)
- Arcilla (bentonita)

Estos elementos fueron triturados y pulverizados por separado mediante el molino de marca SCIENCEWARE Bel-Art Products, hasta llevarlos al estado de pequeñas partículas sólidas o polvo mediante el uso de la malla de marca HUMBOLT de 0.0197 pulgadas de abertura, seguido de su debida preparación y activación si lo precisa. El molino usado en esta operación unitaria se lo puede observar en la figura 6.



Figura 4. Molino usado en operación unitaria de molienda

La carboximetilcelulosa (CMC) fue adquirida comercialmente; la misma que es preparada a partir de la celulosa, la cual es un polisacárido constituyente de la madera y es indispensable en el proceso de compactación estructural para evitar que los otros materiales se disgreguen y no logren unirse, además de ser insoluble en agua (Morales, 2000). La zeolita y el carbón fueron adquiridos de manera comercial, debidamente molidos hasta hacerlos polvo, luego de esto se activaron simultáneamente estos dos elementos de forma química, se lavó con agua destilada cerca de una rejilla de lavabo para así limpiar las impurezas encontradas en sus poros, luego se adicionó 100 ml de ácido fosfórico en 200 g de cada material para sus respectivas activaciones; finalmente se colocaron estos dos elementos en el horno y se mantuvieron por 6 horas a 250 °C para así desorber el agua o sustancias líquidas encontradas en los poros del área superficial.

El ácido etilendiaminotetraacético (EDTA) fue adquirido de manera comercial y listo para ser mezclado con los otros materiales. La cal se obtuvo como manufactura de la industria de construcción lista en polvo, donde para su activación se le agregó 4 ml de agua destilada en 4 g de este material, posteriormente durante el proceso de mezclado para que ocurra la reacción de oxidación. El aserrín se pudo conseguir a partir de un aserradero de árboles de laurel.

La tagua fue adquirida en forma de fruto cosechado de la palma que crece en bosques tropicales, en este caso de la Amazonía ecuatoriana. La ceniza es de origen volcánico, la cual fue encontrada y extraída en los perfiles de suelo de la parroquia de Nono, ubicado en la provincia de Pichincha - Ecuador. La arcilla se la consiguió en estribaciones de la provincia de Pichincha, en formaciones geológicas de bentonita, donde se produjo su recolección, consecutivamente su pulverizado para realizar la operación unitaria de mezclado.

Para la producción inicial de pellets se realizaron combinaciones de los materiales anteriormente expuestos, con mediciones en gramos para la obtención de masas formadas con la mezcla de 10.000 ul de agua destilada para cada fórmula expuesta en la tabla 6. Donde con cada fórmula se realizó una mezcla y agitación hasta moldear una pasta necesaria para la producción de esta manufactura. Cada amalgama es dividida en pequeñas porciones con un peso de al menos 2 g, a las cuales se dejó secar en el horno a 250 °C durante 15 minutos.

Tabla 6. Fórmulas de diferentes materiales y masas para la producción de pellets

Fórmula	CMC (g)	Zeolita (g)	Carbón (g)	EDTA (g)	Cal (g)	Aserrín (g)	Tagua (g)	Ceniza (g)	Arcilla (g)
A	2	2	2	2	2				
B	2	2,5	0,5	1	4				
C	2	3	1	3		1			
D	1,5	1,5	1	2			4		
E	2,5	2	1	2			2,5		
F	2	2	0,5	2			1	2,5	
G	2	3	0,5	1,5				3	
H	2,5	2	1	2,5				2	
I	2	1,5	1,5	2		3			
J	3	1	1	1					4
K	2	2,5	0,5	3					2
L	3	2,5	1,5	3					

Nota: La fórmula B es la que se utilizará para el desarrollo de pellets usados en el tratamiento de lodos

2.2.1. Pruebas de resistencia mecánica

Una vez realizadas las mezclas de los diferentes materiales de adsorción para la elaboración de pellets, se procedió a constatar su resistencia mecánica por medio de tres variables a dos niveles.

En la tabla 7 se puede observar las variables usadas para la comprobación de la fortaleza de los pellets en medio y pH, donde el agua ácida se encontraba con pH 1, compuesta por 500 ml de agua destilada más 1 ml de H₂SO₄; por otro lado el lodo básico con un pH 10 estaba compuesto por 450 ml de agua destilada, más 50 g de tierra de jardín, más 4 g de Na(OH) al 0,1%.

De la misma forma se determinó el porcentaje de adsorción por medio de los pellets de diferentes mezclas, en donde existieron experimentos nulos y otros con una remoción mayor al 90% de metales; esto se puede observar en la tabla 9.

Tabla 9. Porcentaje de adsorción de diferentes fórmulas de pellets

Tipo de Pellets	Porcentaje de Adsorción (%)									
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	99
A	█	█	█	█	█	█				
B	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
C	█	█	█	█	█	█	█	█		
D	█	█	█	█	█	█	█	█	█	
E	█									
F	█									
G	█	█	█	█	█					
H										
I										
J	█	█								
K										
L										

2.2.2. Producción de pellets final

Concluidas las pruebas de las diferentes mezclas se obtuvo la fórmula esencial para la producción final de pellets que contribuirán de manera eficiente en la remoción de metales pesados. La fórmula B, detallada en la tabla 9, fue la de mejor adsorción de metales y la de mayor resistencia mecánica. Además de esto se pudo identificar el patrón principal de la fórmula, que es una mayor cantidad de cal activa en la formación de esta receta, para mantener la estructura intacta antes, durante y después de la adsorción de metales pesados.

Durante la producción final se realizó un incremento de la materia prima usada para manufacturar este producto, donde para la elaboración de 245 pellets necesarios para el tratamiento de 15 litros de lodo diluido proveniente de PTAR de industria textil se efectuó lo siguiente: Inicialmente se mezcló de manera uniforme 20 g de CMC, 10 g de EDTA, 40 g de cal viva, 5 g de carbón activado, 25 g de zeolita activada. Al mezclar estas sustancias pulverizadas se obtuvo una masa seca de 100 g, la misma que se muestra en la figura 5 adjunta a sus componentes iniciales. En esta mezcla se adicionó 100 ml de agua destilada, preferentemente en dosis constantes al momento de la mezcla y formación de la pasta para obtener una masa homogénea.



Figura 5. Mezcla de sustancias en polvo para la elaboración de pellets

Para incrementar la adsorción mediante el aumento de roce del lodo a tratar con los pellets, se redujo el peso de la pasta a un aproximado de 1.5 g por cada pellet, donde se adaptó una forma redondeada o circular y se realizaron cinco agujeros en cada producto. Los pellets se pueden observar en la figura 6.



Figura 6. Pellets como producto final para el tratamiento de lodos de PTAR

2.3. Construcción reactor de adsorción

El reactor de adsorción se encuentra dentro del mecanismo de compostaje, ya que primeramente es necesario un tratamiento de lodos provenientes de PTAR para su consecutivo compostaje. El diseño y construcción de este reactor se fundamentó en el tratamiento de lodos y para un posterior uso a nivel académico por medio de una estructura didáctica para mejorar la comprensión de sus partes y funcionamiento.

Los materiales necesarios para la construcción de este reactor fueron:

- Base giratoria
- Acrílico
- Remaches y tornillos
- Silicona
- Tol

- Tubos PVC
- Masilla plástica mustang
- Malla
- Pintura automotriz

En la adsorción es importante el movimiento del reactor, ya que mediante fuerzas radiales y axiales ejercidas por una base giratoria, van a favorecer el roce del contaminante (sea este un lodo diluido o un líquido) con el área superficial del pellet, y con ello mejorar la retención de metales pesados por medio del pellet.

De manera inicial se forjó una base giratoria, cuyas medidas sean acoplables al reactor de adsorción y a un posterior reactor de compostaje. En la figura 7 se puede analizar las medidas de la estructura de esta base giratoria.

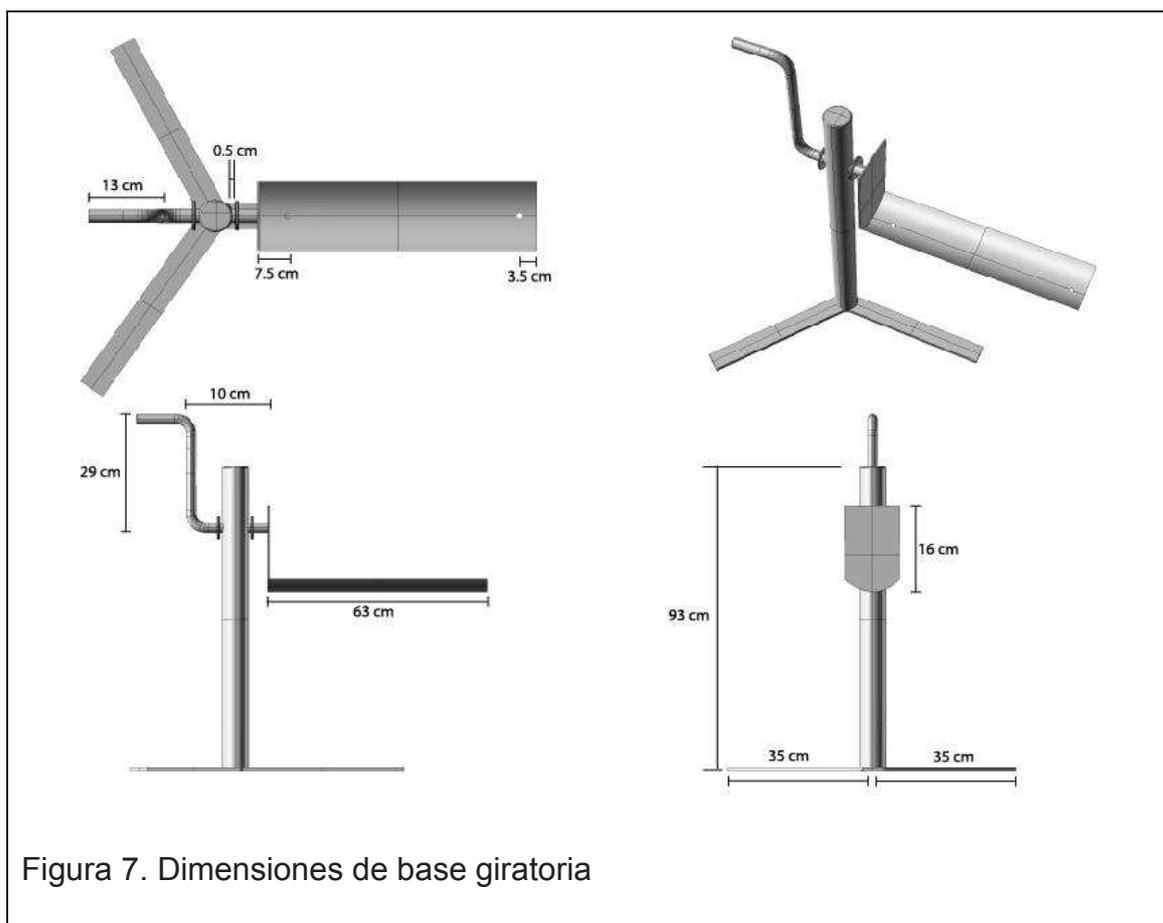


Figura 7. Dimensiones de base giratoria

Partiendo de las mediciones de la base giratoria se procedió a la elaboración del reactor de adsorción. Este reactor mantiene una parte externa o carcasa y una interna en donde se realizan diferentes movimientos para facilitar la adsorción.

Para la parte externa, se utilizó acrílico de tono transparente, de estructura cilíndrica y se lo fijó para mantener esa forma con la ayuda de remaches. En un costado del cilindro se cubrió con una circunferencia de acrílico a la cual se colocó silicona en su periferia para poder adherir estas dos partes, además de usarla para sellar posibles fugas del material a tratar durante el proceso de adsorción. Se perforaron dos hoyos en el eje longitudinal para la incorporación del reactor de adsorción a la base giratoria anteriormente construida; en los hoyos se colocaron tornillos que sirvieron para ajustar el reactor con la base. En el otro costado del cilindro se acopló una tapa elaborada con una circunferencia de material acrílico para la entrada y salida de la muestra.

Para la estructura interna, se colocaron en los costados dos circunferencias compuestas de tol, las cuales fueron perforadas según las dimensiones de los 7 tubos de PVC colocados de forma redondeada en el área de cada lámina circular, y fueron incorporados con masilla plástica mustang más catalizador para formar una estructura rígida. En los costados de esta pieza se colocaron mallas en forma de circunferencia, una de ellas desplegable para permitir el ingreso de pellets. Las mallas de alambre se encargan de que los pellets colocados dentro de los tubos de PVC no salgan de esta fracción del reactor, esto se puede observar en la figura 8. Finalmente se proporcionó un color negro con pintura automotriz a toda la parte interna para diferenciar los movimientos que se dan en la parte interna del reactor.

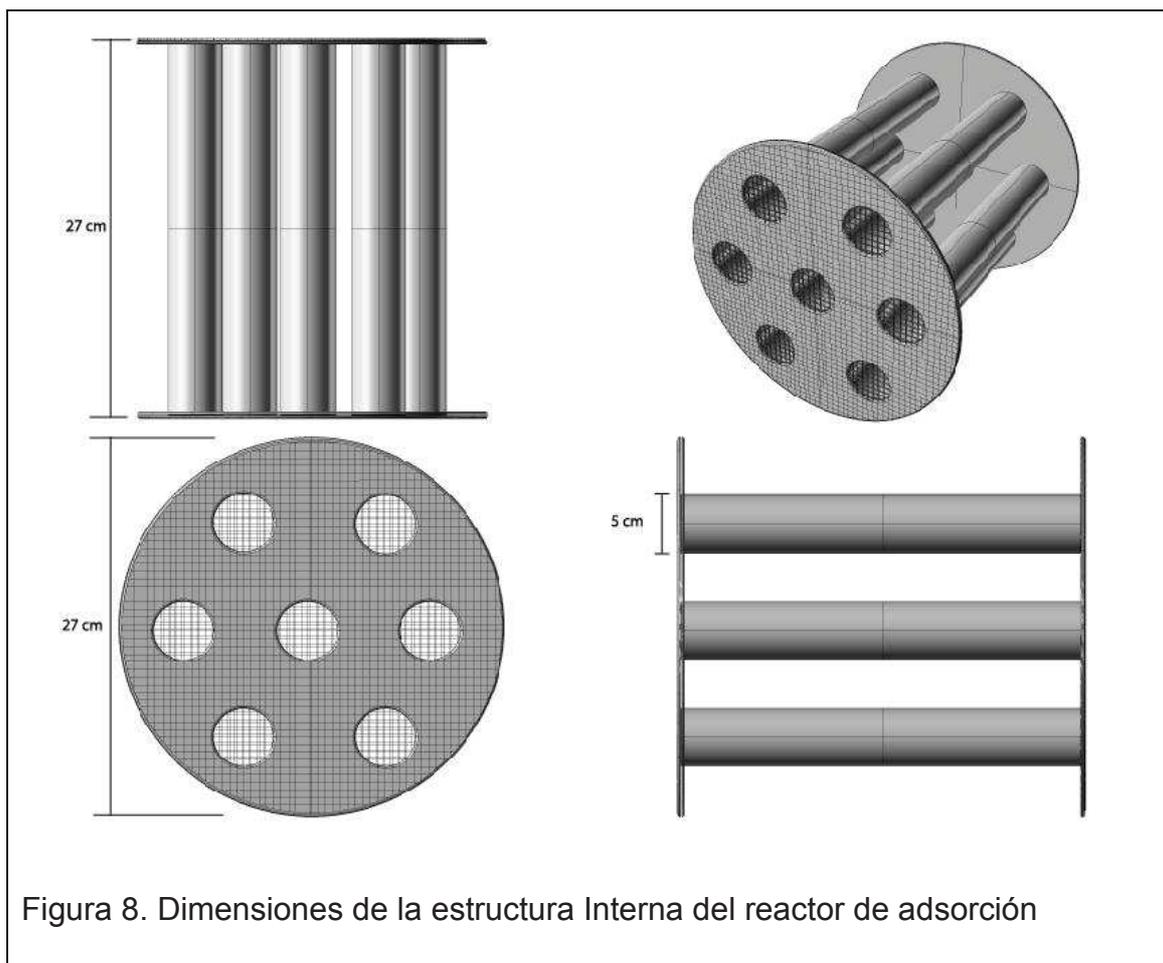


Figura 8. Dimensiones de la estructura Interna del reactor de adsorción

2.4. Adsorción de metales a escala de laboratorio

La adsorción inorgánica se realizó en el laboratorio de Ingeniería Ambiental de la Universidad de Las Américas. Se utilizó Policloruro de aluminio (PCA), al ser una sal inorgánica con carga iónica que presenta solubilidad en el agua, y acidifica medios líquidos, como la mayoría de metales pesados. Siendo un indicador eficaz al momento de evaluar la capacidad de adsorción mediante el uso de pellets en un medio líquido, para determinar la concentración inicial y final de metales pesados.

Para determinar la capacidad de adsorción de los pellets se usaron tres vasos de precipitación. En el primero llamado "Blanco" se mezcló 300 ml de agua destilada más 2 ml de PCA, en el segundo o "Muestra 1" también se realizó la mezcla de 300 ml de agua destilada más 2 ml de PCA, y en el tercero llamado

"Muestra 2" se incrementó una mayor concentración de PCA, donde la mezcla fue de 500 ml agua destilada más 5 ml de PCA.

2.4.1. Análisis final de adsorción de metales

El análisis final para determinar la adsorción de metales se realizó por medio de los Kits de marca MACHEREY-NAGEL *NANOCOLOR* tube test, basados en normas internacionales como DIN-, EN-, ISO-, EPA- y APHA. El método de medición fue fotométrico. Las metodologías se pueden ver en el Anexo 6.

2.4.2. Diseño experimental de adsorción de metales

Para las pruebas de adsorción de metales se realizó un Diseño Factorial Complejo Aleatorio de $2^3 = 8$. En la tabla 10 podemos observar la matriz de diseño experimental de la adsorción de metales, donde se puede divisar dos niveles y tres tipos de variables como son: Tiempo, velocidad y metal.

Tabla 10. Matriz de Variables en adsorción inorgánica

$2^3 = 8$	-1	1
X1 = Tiempo	3 Horas	15 Horas
X2 = Velocidad	100 rpm	200 rpm
X3 = Metal	Aluminio (PCA)	Hierro (FeSO ₄)

Para los ensayos de adsorción de metales se utilizó 2 ml de Policloruro de aluminio (PCA), al mismo que se le adicionó 300 ml de agua destilada. Por otro lado se usó 15 g de Sulfato ferroso (FeSO₄) al 5%, y se le añadió 300 ml de agua destilada.

2.4.3. Análisis inicial de metales en lodos

A continuación se analiza el lodo procedente del efluente de una PTAR de industria textil, realizando una línea base de estos biosólidos además de un análisis después de la recuperación de estos lodos tras la remoción de metales pesados para su descontaminación y disposición para un compostaje.

Según el anexo 1 del libro VI del texto unificado de legislación secundaria del ministerio del ambiente de Ecuador: norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua. El artículo 5.2.1.3 establece que "Los sedimentos, lodos de tratamiento de aguas residuales y otras tales como residuos del área de la construcción, cenizas, cachaza, bagazo, o cualquier tipo de desecho doméstico o industrial, no deberán disponerse en aguas superficiales, subterráneas, marinas, de estuario, sistemas de alcantarillado y cauces de agua estacionales secos o no, y para su disposición deberá cumplirse con las normas legales referentes a los desechos sólidos peligrosos o no peligrosos, de acuerdo a su composición".

Para no ser considerado como un desecho peligroso los lodos no deben superar la concentración establecida en las normas ambientales de cada país o ciudad específicamente. En el análisis inicial del lodo sin tratamientos, se efectuará una caracterización de los siguientes metales pesados observados en la columna contaminante, expuesto en la tabla 11.

Tabla 11. Parámetros basados en W.H.O. - Guidelines for Drinking Water Quality - Vol. 1 - Recommendations - Geneva – 1984

CONTAMINANTE	LIMITE MÁXIMO (mg/l)
Cadmio	1,0
Cromo	5,0
Mercurio	0,2
Plata	5,0
Plomo	5,0
Selenio	1,0

Adaptado de (DMQ, s.f)

En esta caracterización se determinaron los metales y sus concentraciones iniciales presentes en el lodo como muestra de estudio. Para estos análisis se utilizaron los Kits de marca MACHEREY-NAGEL *NANOCOLOR* tube test, basados en normas internacionales como DIN-, EN-, ISO-, EPA- y APHA. El método de medición fue fotométrico. Las metodologías se pueden ver en el Anexo 1, Anexo 2, Anexo 3, Anexo 4, Anexo 5, Anexo 6, Anexo 7 y Anexo 8.

En los mismos se analizaron:

- Cadmio 2
- Cobre 7
- Hierro 3
- Zinc
- Cromo total 2
- Aluminio
- Plomo 5
- Plata

2.4.4. Tratamiento de lodos en unidad experimental

Para el tratamiento de lodos de PTAR ejecutado en la unidad experimental se procedió a introducir 245 pellets dentro de los tubos PVC encontrados en la parte interna del reactor de adsorción, en cada tubo se depositaron 35 pellets, lo cuales fueron necesarios para llenar aproximadamente el 50 % de cada tubo. Luego de ello se atornilló la carcasa a la base giratoria y se insertó la estructura interna del reactor dentro de este cilindro de acrílico.

Una vez armado el equipo de adsorción se procedió a voltear el reactor aproximadamente 90° hasta que el cilindro se encuentre en forma vertical. Por la parte superior se depositaron 15 litros de lodo diluido y posterior a esto se procedió a cerrar el reactor. Se volteó el cilindro a su posición inicial para regresar a su estado original de 0°. Dentro de este tratamiento la velocidad de los giros fueron de 30 rpm. Cada giro se realizó por medio del movimiento manual de la manivela forjada en la base giratoria.

Al haber construido una parte interna con menor diámetro a la del cilindro se producen una serie de flujos, tanto axiales como radiales dentro del reactor, lo que aumentará la turbulencia y con ello el roce entre el lodo diluido y el área superficial de los pellets. Estos movimientos y la adsorción de metales pesados se realizaron por el período de 60 minutos. Al concluir este tiempo se dejó de girar la manivela y se colocó la base 90° hacia un costado para poder retirar la tapa de la carcasa al estar en posición vertical. Se retiró la estructura interna

del reactor que contuvo a los pellets, y como depósito se encontró el lodo tratado y listo para compostar.

2.4.5. Análisis final de metales en lodos

El análisis final de los lodos tratados se lo realizó en el laboratorio de Ingeniería ambiental de la Universidad de Las Américas. Para ello se realizó una dilución 1:10 de la muestra, mediante la cual se realizaron análisis por medio de Kits de marca MACHEREY-NAGEL *NANOCOLOR* tube test, basados en normas internacionales como DIN-, EN-, ISO-, EPA- y APHA. El método de medición fue fotométrico. Las metodologías se pueden ver en el Anexo 1, Anexo 2, Anexo 3, Anexo 4, Anexo 5, Anexo 6, Anexo 7 y Anexo 8.

En los mismos se analizaron:

- Cadmio 2
- Cobre 7
- Hierro 3
- Zinc
- Cromo total 2
- Aluminio
- Plomo 5
- Plata

2.5. Construcción reactor de compostaje

En la fabricación del reactor de compostaje se tomó en cuenta un reuso a nivel académico, con lo que la invención y el armado debieron ser diseñados de forma didáctica. El reactor de compostaje se construyó en base a las medidas del reactor de adsorción y de la base giratoria. Para la elaboración de este reactor se usaron los siguientes materiales:

- Acrílico
- Remaches y tornillos
- Silicona

Al acrílico se le dio una forma cilíndrica y se realizó el proceso de remachado, donde colocando remaches en el sentido longitudinal del cilindro se logró acoplar y mantenerlo con esa forma. Siguiendo a ello se realizaron las perforaciones para la colocación de los tornillos que servirán para acoplarse a la base giratoria. Se utilizó silicona para cubrir un costado del cilindro. Se construyó una tapa del mismo material para así sellarlo del otro costado, controlando así las condiciones dentro del reactor. Además la tapa incluye aberturas para la aireación durante el proceso, ya que el mismo es de tipo aerobio y necesita la presencia de aire para que se efectúen las debidas reacciones durante el compostaje. Las medidas de este reactor se las puede analizar en la figura 9.

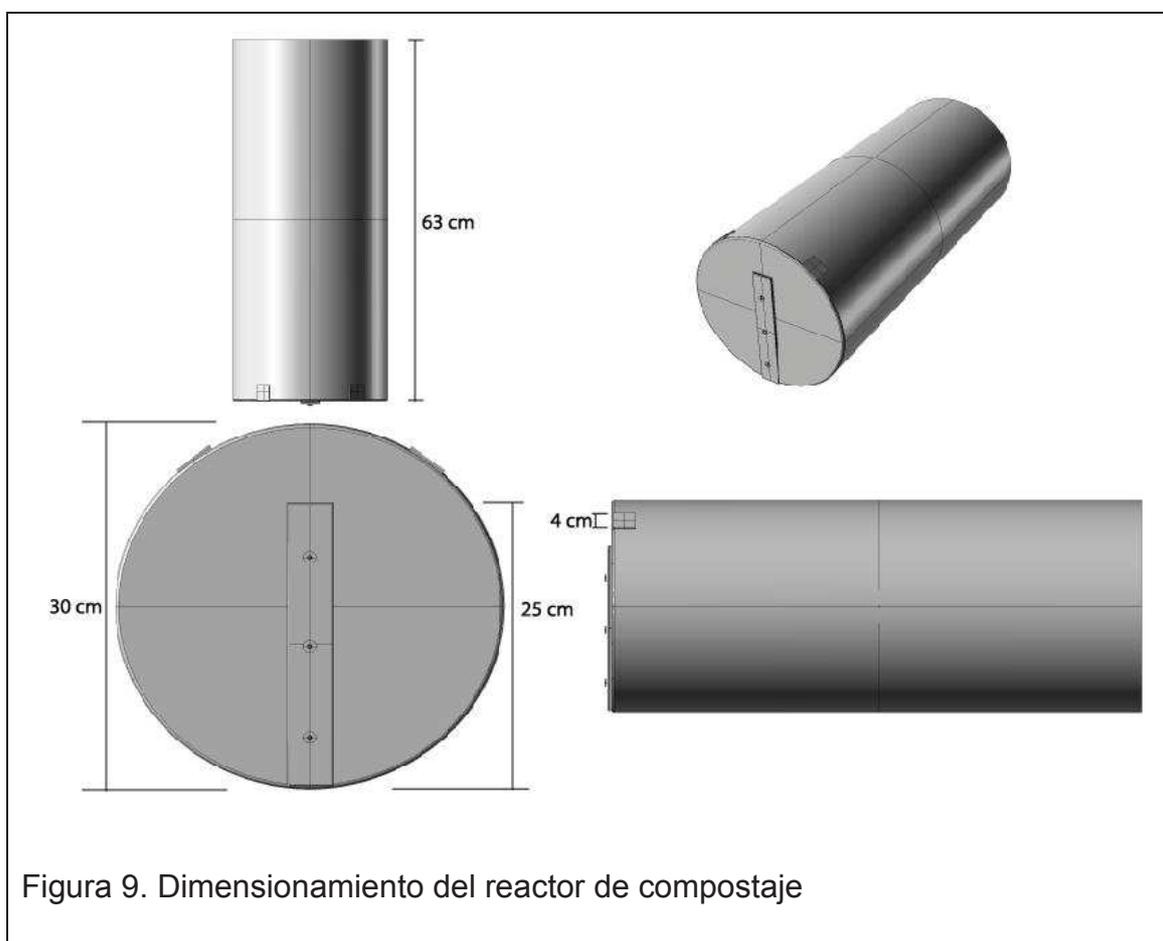


Figura 9. Dimensionamiento del reactor de compostaje

2.5.1. Compostaje

Para el compostaje fue imprescindible determinar los materiales necesarios para la elaboración de este abono de alta calidad. Para ello los materiales a usarse durante este proceso fueron:

- Reactor de compostaje
- Fundas de cierre hermético
- Lodo tratado (LT)
- Materiales estructurantes (ME)
- Materiales húmedos (MH)
- Materiales secos (MS)
- Microorganismos
- Nutrientes

El reactor de compostaje es necesario para que se efectúen todas las reacciones físico-químicas, además de ayudar a ser un sistema controlado, al cual podemos adecuarlo según las condiciones físicas necesarias para que se efectúe el proceso de compostaje del lodo tratado. Dentro de este mecanismo fue realizada la mezcla de materiales y adaptación de microorganismos al medio, necesarios para la formación de la base inicial del compost (BIC).

Los materiales estructurantes (ME) son diversos: ramas superfluas de árboles, residuos de poda de césped, paja, cascarilla de arroz, fragmentos de neumáticos, astillas de madera, viruta. De estos se usaron viruta, poda de césped y cascarilla de arroz.

Entre los materiales húmedos (MH) están: residuos orgánicos municipales, bagazo, cachaza de caña, melaza de caña, residuos de la industria azucarera, tallos de maíz, pulpa de remolacha y desechos agrícolas.

Los materiales secos (MS) son: Aserrín, viruta, paja, gallinaza que provee de microorganismos.

Los microorganismos se encuentran en la gallinaza y cachaza, donde por medio de los nutrientes se logró una descomposición del material orgánico

mediante la alimentación y reproducción de estos microorganismos tanto mesófilos como termófilos.

Después de conocer los materiales para el compostaje se procedió a la selección del material estructurante, material húmedo, material seco y nutrientes. Para la formación de esta base inicial de compost (BIC), se utilizó 1000 g de cascarilla de arroz, 200 g de poda de césped, 300 g de residuos orgánicos municipales, 200 ml de cachaza, 1000 ml de lodo diluido tratado, 1300 g de gallinaza. Estos materiales se depositaron dentro del reactor mediante la combinación de LT:MH:ME:MS en una proporción de 25:12,5:30:32,5. Se cerró el reactor y se realizó la mezcla para tener una base inicial de compost (BIC) homogénea.

Esta base inicial de compost (BIC) sirvió como punto de partida en el diseño experimental desarrollado en 4 bolsas con cierre hermético, donde se adicionaron variables para determinar la eficiencia del compostaje, relativo al factor de mayor consideración dentro de la experimentación. En la tabla 12 se pueden observar las variables a las que fueron sometidos los 4 experimentos.

Tabla 12. Variables del diseño experimental del compostaje

$2^2 = 4$	-1	1
X1 = BIC	300 g	800 g
X2 = Complemento	200 g Gallinaza	100 ml Melaza

Nota: Base inicial de compost (BIC)= Formada por Cachaza 200ml, Cascarilla de arroz 1000g, Gallinaza 1300g, Poda 200g, Lodo diluido 1000ml, Materia orgánica (residuos vegetales) 300g.

Durante esta fase experimental se efectuaron análisis de temperatura, pH, humedad y sólidos volátiles, los mismos se pueden examinar en la tabla 13.

Tabla 13. Variables del seguimiento del proceso de compostaje

Parámetro	Frecuencia
Temperatura	Diaria
pH	Diaria
Humedad y S/V	3 veces por semana
Volteo y aireación	2 veces por semana (depende la evolución del proceso)
Riego	Durante el volteo si la humedad es menor a 45%

Adaptado de (FAO, s.f)

La temperatura se la midió con el termómetro 4371 Traceable® Lollipop™, el cual mide en un rango de -50° a 300°C. El pH se lo obtuvo por medio del instrumento HI 99121 Soil pH meter de "HANNA instruments" el cual es una sonda que determina la acidez o alcalinidad y muestra su resultado de forma digital.

La humedad se la determinó mediante la ecuación 3, según el método NCh 1515 Of. 79. El equipo necesario fue un horno de secado o mufla, capaz de regular su temperatura y mantenerla en 105 °C, balanza y recipiente de porcelana. Para su procedimiento se toma una muestra compuesta de compost, se coloca la muestra húmeda en la cápsula de porcelana. Luego se coloca el conjunto dentro del horno durante 24 horas, a una temperatura de 105 °C. Transcurrido dicho tiempo, se determina el peso del recipiente con la muestra seca. Luego de ello se coloca la cápsula con su contenido dentro de la mufla por un periodo de 2 horas a 520 °C. Al cabo de este tiempo retiramos la cápsula, la dejamos desecar hasta estabilizarla a temperatura ambiente y pesamos para hacer los cálculos presentados en la ecuación 4 para obtener el valor de sólidos volátiles (s/v).

$$w = \left(\frac{W_w}{W_s} \right) \times 100 \quad (\%) \quad (\text{Ecuación 3})$$

Donde:

w = contenido de humedad expresado en %

Ww = peso del agua existente en la masa del compost

Ws = peso de las partículas sólidas.

$$\text{mg sólidos volátiles/L} = \frac{[(B-C) \times 1000]}{\text{volumen muestra (mL)}} \quad (\text{Ecuación 4})$$

Donde:

B = Peso de la cápsula + residuo seco, antes de ignición (en mg)

C = Peso de la cápsula + residuo seco, después de ignición (en g)

El volteo y aireación se los realizó de forma manual. El riego se lo efectuó a través de la adición de una solución con nutrientes N/P/K al 0,5%. Mediante el riego se mantiene la humedad de todo el compost.

2.5.1.1. Análisis del compost

Los análisis del compost se realizaron en el transcurso del proceso de compostaje. Así como también al inicio y final del procedimiento se pudo analizar los siguientes parámetros:

- Temperatura
- pH
- Humedad
- Sólidos volátiles
- Relación C/N
- Carbono orgánico
- Nitrógeno total

La temperatura se la midió con el termómetro 4371 Traceable® Lollipop™, el cual mide en un rango de -50° a 300°C. El pH se lo obtuvo por medio del instrumento HI 99121 Soil pH meter de "HANNA instruments" el cual es una sonda que determina la acidez o alcalinidad y muestra su resultado de forma

digital. La humedad se la determinó mediante la ecuación 3, según el método NCh 1515 Of. 79. El equipo necesario fue un horno de secado o mufla, capaz de regular su temperatura y mantenerla en 105 °C, balanza y recipiente de porcelana. Para su procedimiento se toma una muestra representativa de compost, se coloca la muestra húmeda en el recipiente de porcelana. Luego se coloca el conjunto dentro del horno durante 24 horas, a una temperatura de 105 °C. Transcurrido dicho tiempo, se determina el peso del recipiente con la muestra seca.

Para la medición de los sólidos volátiles y sólidos fijos se utilizó una cápsula de porcelana, mufla con temperatura graduable, desecador y balanza. Se calcularon mediante las ecuaciones 4 y 5. Se necesitó el peso de la cápsula vacía, luego se pesó la cápsula con residuo seco antes de ignición, después de ello el peso de la cápsula con residuo seco posterior a una ignición por 2 horas a 520 °C.

$$\text{mg sólidos fijos/L} = \frac{[(C-A) \times 1000]}{\text{volumen muestra (mL)}} \quad (\text{Ecuación 5})$$

Donde:

A = Peso de la cápsula vacía (en mg)

B = Peso de la cápsula + residuo seco, antes de ignición (en mg)

C = Peso de la cápsula + residuo seco, después de ignición (en g)

Nota: Resultados inferiores a 10 mg/L se reportarán con una cifra decimal, los restantes se redondearán a la unidad. Los resultados inferiores a 1 mg/L deben informarse como "< 1 mg/L".

La relación carbono nitrógeno (C/N) varía en función del material inicial y se obtiene la relación numérica al dividir el contenido de C (%C total) sobre el contenido de N total (%N total) de los materiales que se van a compostar. El nitrógeno total se obtuvo tras el análisis mediante los Kits de marca MACHEREY-NAGEL *NANOCOLOR* tube test, basados en normas

internacionales como DIN-, EN-, ISO-, EPA- y APHA. El método de medición fue fotométrico. La metodología se puede ver en el Anexo 9.

El procedimiento para el cálculo de carbono orgánico es el siguiente: Pesar 0.1 -0.5 g de suelo por muestra. Se pesa 0.1 g cuando existe mucha materia orgánica y 0.5 g cuando existe poca materia orgánica. La muestra de suelo debe ser molida (mortero) y tamizada (tamiz de 0.25 mm). Usar papel blanco (encerado, no se adhiere al suelo). Se debe limpiar el suelo de raicillas y restos de materia orgánica (extraer las grandes), y colocar en un erlenmeyer. Agregar 5 ml de dicromato de potasio 1 normal por muestra. Añadir 10 ml de ácido sulfúrico concentrado al 97% por muestra, agitar muy suavemente durante un minuto a fin de homogeneizar, evitando que la muestra se adhiera a las paredes. Dejar en reposo durante 30 minutos. Luego de este tiempo agregar en el siguiente orden 100 ml de agua destilada, 5 ml de ácido fosfórico al 85% y 10 o 15 gotas de difenilamina.

Titular el exceso de dicromato por medio de la solución de sal de morh (sulfato de hierro) de concentración 0.5 normal. El viraje de color se hace del azul hasta una coloración verde, anotar el volumen consumido. Para el análisis se debe hacer un blanco con la solución de dicromato de potasio la cual debe cumplir los mismos pasos a la que es sometida la muestra. Esto servirá para conocer el volumen inicial de titulación y utilizarla en los cálculos. La ecuación 4 es la necesaria para el cálculo de carbono orgánico.

$$CO = \frac{((V_o \times F - V_F) \times N \times 0.335 \times 1.72 \times 1.1)}{1.72} \quad (\text{Ecuación 6})$$

PM

Donde:

V_o = Volumen gastado en la titulación del blanco.

V = Volumen de la titulación de la muestra.

N = Normalidad del sulfato del hierro (0.5 normal).

0.335 = mg de peso químico equivalente de C en g.

1.72 = Constante de conversión de C a MO sobre la hipótesis de que la materia orgánica contiene 58% de C en la generalidad de suelos encontrados en el país.

1.1 = Error de conversión (10%)

PM = Cantidad de suelo pesado

F = Factor de corrección de la sal de Morh

Para el análisis de nitrógeno total se utilizó el Kit de marca MACHEREY-NAGEL *NANOCOLOR* tube test, basado en normas internacionales como DIN-, EN-, ISO-, EPA- y APHA. El método de medición fue fotométrico. La metodología se puede ver en el Anexo 9.

3. CAPITULO III. RESULTADOS

3.1. Resultados de las pruebas de resistencia mecánica

Entre los resultados de las pruebas de resistencia mecánica se realizaron los análisis con tres tipos de variables que fueron: X1 representa al medio y pH, donde los niveles fueron el agua ácida (-1) y el lodo básico (1). X2 simboliza dos velocidades, que fueron 100 rpm (-1) y 250 rpm (1). X3 que figura la variable tiempo, con el nivel (-1) de 10 minutos y (1) de 120 minutos. En los resultados mostrados en la tabla 14, se observa la masa inicial, masa final y la pérdida de masa dada en porcentaje.

Tabla 14. Diseño experimental del comportamiento de pellets

Experimento	X1	X2	X3	Variación de la masa del Pellet (g)		
				Masa inicial	Masa final	Pérdida de masa (%)
1	-1	-1	-1	6,35	5,68	10,55
2	-1	-1	-1	4,49	4,45	0,89
3	-1	-1	-1	4,15	4,06	2,17
4	-1	-1	1	8,06	7,37	8,56
5	-1	-1	1	4,11	4,09	0,49
6	-1	-1	1	5,09	2,55	49,90
7	-1	1	-1	6,14	5,85	4,72
8	-1	1	-1	4,51	4,41	2,22
9	-1	1	-1	5,26	5,25	0,19
10	-1	1	1	8,42	7,55	10,33
11	-1	1	1	7,45	7,12	4,43
12	-1	1	1	5,48	5,31	3,10
13	1	-1	-1	7,59	7,3	3,82
14	1	-1	-1	4,83	4,05	16,15
15	1	-1	-1	5,61	5,5	1,96
16	1	-1	1	7,61	6,88	9,59
17	1	-1	1	5,02	4,21	16,14
18	1	-1	1	4,77	4,56	4,40

19	1	1	-1	6,11	5,94	2,78
20	1	1	-1	4,87	3,42	29,77
21	1	1	-1	4,49	4,47	0,45
22	1	1	1	7,16	5,97	16,62
23	1	1	1	4,67	4,05	13,28
24	1	1	1	6,66	5,34	19,82

Nota: Agua ácida, con pH 1 y compuesta por 500ml de agua destilada + 1ml de H₂SO₄. Lodo básico, con pH 10 y compuesto por 450ml de agua destilada + 50g de tierra + 4g Na(OH) al 0,1%

3.2. Resultados del diseño experimental de adsorción inorgánica

La adsorción de metales se realizó mediante la adición de dos compuestos formados por elementos como metales pesados, en este caso el hierro y el aluminio en FeSO₄ y PCA, respectivamente.

Donde existieron tres tipos de variables que fueron: Tiempo con nivel (-1) 3 horas y nivel (1) 15 horas. Velocidades de 100 rpm (-1) y 200 rpm (1). Y los metales aluminio (-1) y hierro (1). Obteniendo resultados visuales de la adsorción por parte del pellet, por medio de la variación del color. Además de resultados físico-químicos como el valor del pH inicial y final que se pueden analizar en la tabla 15.

Tabla 15. Diseño experimental de la adsorción de metales

Experimento	X1	X2	X3	Adsorción por Pellets		Variación del Color		Aptitud de pH	
				Si	No	Si	No	pH inicial	pH final
1	-1	-1	-1	x			x	4,5	4
2	-1	-1	-1	x			x	4,5	4
3	-1	-1	-1	x			x	4,5	4
4	-1	-1	1	x			x	5	6
5	-1	-1	1	x		x		5	6
6	-1	-1	1	x			x	5	6
7	-1	1	-1	x			x	4,5	6
8	-1	1	-1	x		x		4,5	7
9	-1	1	-1	x		x		4,5	7
10	-1	1	1		x		x	5	6
11	-1	1	1	x			x	5	6
12	-1	1	1		x		x	5	6
13	1	-1	-1		x		x	4,5	8
14	1	-1	-1	x			x	4,5	7
15	1	-1	-1	x			x	4,5	7
16	1	-1	1	x			x	5	5
17	1	-1	1	x			x	5	5
18	1	-1	1		x		x	5	5
19	1	1	-1		x		x	4,5	8
20	1	1	-1		x		x	4,5	8
21	1	1	-1	x			x	4,5	8
22	1	1	1		x		x	5	6
23	1	1	1		x		x	5	6
24	1	1	1		x		x	5	6

Nota: Aluminio (PCA), compuesto por 300ml de agua destilada + 2ml de PCA. Hierro (FeSO₄), compuesto por 300ml de agua destilada + 15g de FeSO₄ al 5%. Adsorción por pellets, visualmente si se forma una capa en la superficie del pellet o no. Variación del color, visualmente si hay remoción en el color del compuesto del metal o no.

3.3. Resultados de la adsorción de aluminio

En la adsorción de aluminio se obtuvieron los siguientes resultados mostrados en la tabla 16.

Tabla 16. Resultados de la adsorción de aluminio a nivel de laboratorio

Parámetros y Variables	Blanco	Muestra 1	Muestra 2
	300ml de Agua destilada + 2ml de PCA	300ml de Agua destilada + 2ml de PCA	500ml de Agua destilada + 5ml de PCA
Concentración de Aluminio Inicial (mg/L)	0,03	0,03	0,03
pH inicial	4	4	4
Tiempo (horas)	20	20	20
Velocidad (rpm)	200	200	200
pH final	4	11	7
Concentración de Aluminio Final (mg/L)	0,03	< 0,02	0,03

Nota: Pruebas realizadas con aluminio mediante el compuesto PCA.

3.4. Resultados del tratamiento de lodos en unidad experimental a escala de laboratorio

En los resultados mostrados en la tabla 17, los cuales fueron determinados mediante análisis fotométricos, se pueden divisar los tipos de metales presentes en el lodo inicial y sus variaciones al final del proceso.

Tabla 17. Caracterización de concentraciones de elementos en lodo diluido y en pellets

Análisis Químicos	Iniciales (mg/L)	Finales (mg/L)	Normativa (mg/L)	Retención en pellets (mg/L)
Aluminio	0,24	0,12	0,25	0,7
Cadmio	0,07	0,05	1	1,17
Cobre	3,64	1,51	2	2,01
Cromo	1,253	0,4	5	0,82
Nitrógeno	1,1	1,1	2	2,4
pH	8	13	8	8

Nota: Los análisis se realizaron mediante medición fotométrica, con lo cual no se obtuvieron resultados notables con metales como Ni, Pb, Zn y Fe.

3.5. Resultados del compostaje

Los resultados del compostaje completaron cuatro tablas, encontradas en los anexos 10, 11, 12 y 13. En las mismas se encuentran especificados los datos de temperatura, pH, humedad y sólidos volátiles (s/v), que fueron tomados durante el desarrollo del compostaje. Como obstante se puede observar la tabla 18, donde se presentan las variables usadas dentro del diseño experimental del compostaje, y sus valores más relevantes para determinar la composición de mayor eficiencia durante todo el proceso.

Tabla 18. Datos preponderantes del diseño experimental del compostaje

Experi- mento	X1 (BIC)	X2 (comple- mento)	pH inicial	Temperatura inicial (°C)	Humedad inicial (%)	S/V inicial (%)	Relación C/N Inicial
1	1	1	8,2	23,6	91,30	40,51	30
2	1	-1	8,2	23,6	91,30	40,51	30
3	-1	1	8,2	23,6	91,30	40,51	30
4	-1	-1	8,2	23,6	91,30	40,51	30
Experi- mento	X1 (BIC)	X2 (comple- mento)	pH final	Temperatura final (oC)	Humedad final (%)	S/V final (%)	Relación C/N Final
1	1	1	4,38	27,5	63,40	30,34	35
2	1	-1	8,16	32,1	49,45	5,84	25
3	-1	1	7,78	33	68,16	35,72	40
4	-1	-1	8,05	31,1	44,13	16,25	15
Experi- mento	X1 (BIC)	X2 (comple- mento)	Temperatura máxima (°C)	Temperatura mínima (°C)	pH máximo	pH mínimo	
1	1	1	34,7	22,2	9,31	4,38	
2	1	-1	45,3	22,3	9,61	7,28	
3	-1	1	37,7	21,8	9,2	5,54	
4	-1	-1	41,1	22,3	9,36	7,64	

Nota: Base inicial de compost (BIC)= Formada por Cachaza 200ml, Cascarilla de arroz 1000g, Gallinaza 1300g, Poda 200g, Lodo diluido 1000ml, Materia orgánica (residuos vegetales) 300g. (-1) 300g de mezcla o (1) 800g de mezcla. Complemento= (-1) 200g Gallinaza o (1) 100 ml de Melaza.

4. CAPITULO IV. ANÁLISIS DE RESULTADOS

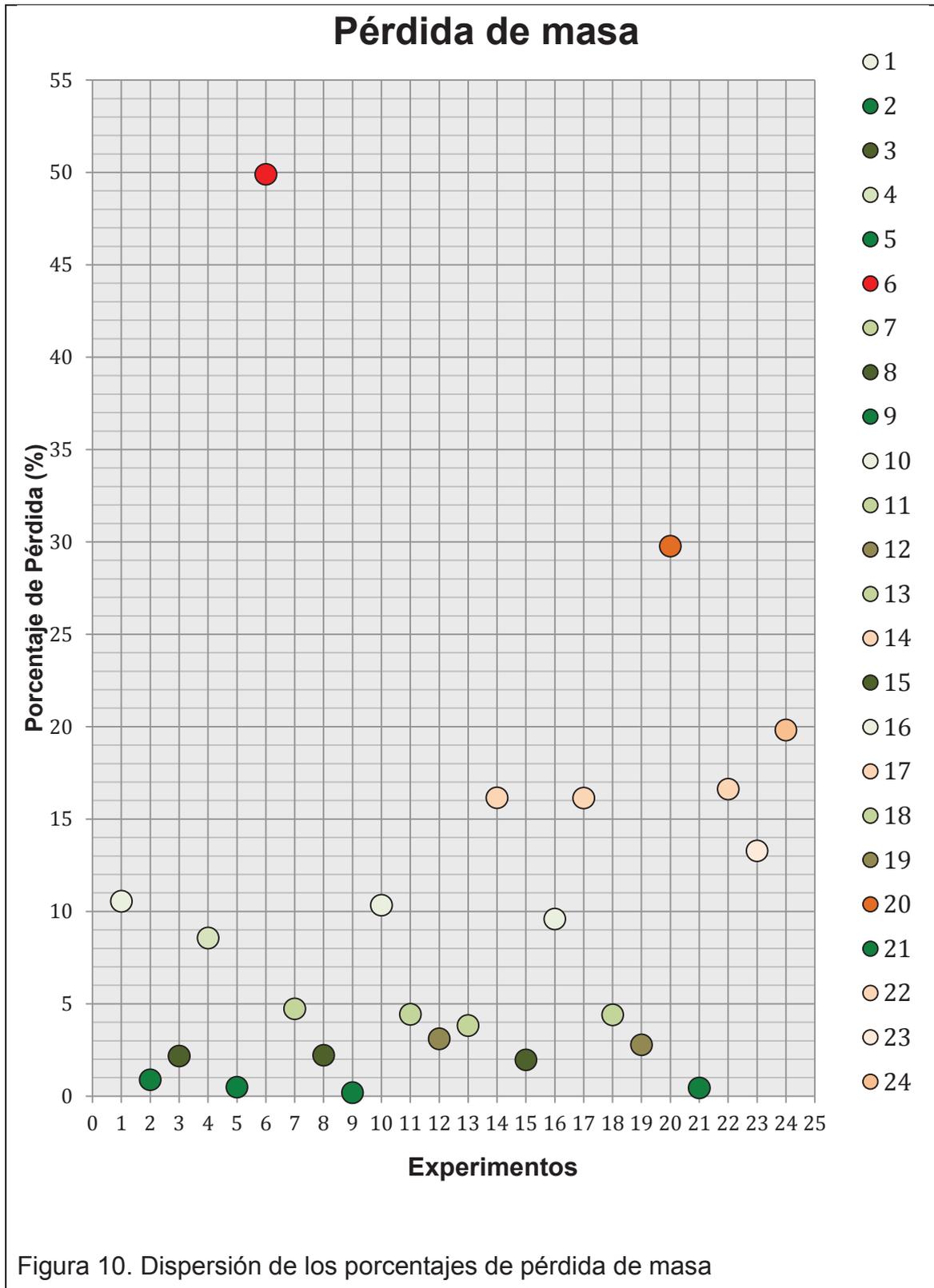
4.1 Análisis de las pruebas de resistencia mecánica

Se realizaron 24 experimentos para evaluar la resistencia mecánica de los pellets, dependiendo de las condiciones sometidas, es decir de 3 variables y dos niveles. Esto se analiza detalladamente mediante la figura 10, figura 11 y figura 12.

En la figura 10, se pueden observar puntos de dispersión, los mismos que muestran el porcentaje de pérdida de masa consecuentemente con un gradiente de colores que va a permitir diferenciar las escalas de pérdida de masa calculado en los pellets a condiciones extremas.

Se pueden observar en esta figura que los colores verdes ubicados en la parte inferior del eje "Y", y más cercanos al valor de 0, son las condiciones óptimas de trabajo de los pellets, donde estos se pueden desenvolver correctamente sin que exista una pérdida significativa de su formulación. El porcentaje de pérdida admisible dentro de estos experimentos se encuentra entre el 0% y 5%, que es donde se encuentran la mayoría de experimentos, específicamente el 2, 3, 5, 7, 8, 9, 11, 12, 13, 15, 18, 19, y 21; de los cuales el 2, 9, 5 y 21 son los de mayor eficiencia al existir un porcentaje de disgregación menor al 1%.

Los puntos de colores verde limón, crema y naranja clara, ubicados en el rango entre $> 5\%$ y 20% son aquellos de eficiencia regular, que si podrían resistir a las condiciones asignadas para sus experimentos, pero que necesitan de una disminución en las mismas. Donde se encuentran los experimentos 1, 4, 10, 14, 16, 17, 22, 23 y 24. Para la mejora de eficiencia en estos experimentos se recomienda el aumento del pH mediante la disminución de acidez en el medio. Además se recomienda disminuir el tiempo de permanencia en el medio, ya que la mayoría de estos resultados se disgregan al mantenerse en un período más prolongado.



Como tercera parte, y calificándola como zona de mala eficiencia que parte desde los mayores del 20%, donde se encuentran los puntos de color rojo y naranja con el número de experimento 6 y 20 respectivamente, el primero resultó totalmente disgregado, con lo cual no mantuvo su forma y consistencia física como pellet, y por ende es el de menor resistencia mecánica de todos los experimentos, seguido del punto con aproximadamente el 30% de pérdida de masa.

Se puede estipular que en estos dos experimentos ocurrió un error, que puede ser atribuido a la producción de los pellets, ya que a partir de la mezcla inicial se debe homogeneizar la masa con agua constantemente para que no existan zonas del pellet con déficit de agua, la misma necesaria para la activación de la cal y endurecimiento del pellet en conjunto con la acción del CMC. Realizando un análisis conjunto se resolvería que los niveles de estos dos puntos se relacionan directamente en función de sus variables, ya que al ser indirectamente proporcional en sus medios, velocidades y tiempos de exposición, estos encontrarán un equilibrio al localizarse en una experimentación con niveles promedio entre ellos, es decir no en extremos.

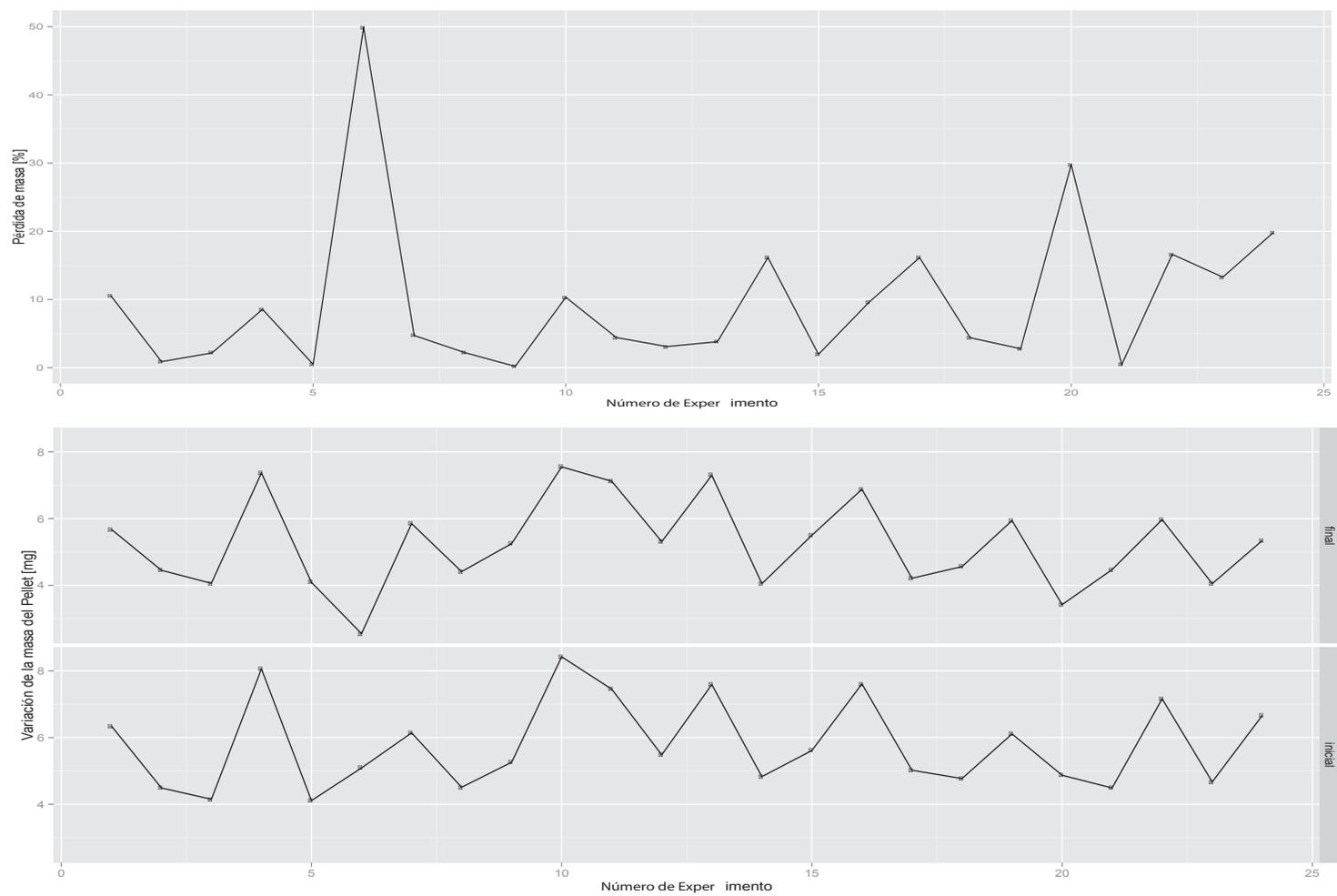


Figura 11. Promedios y variaciones de masa inicial y final

En la figura 11, se puede analizar mediante la gráfica superior, el promedio de la pérdida de masa de cada punto. En la misma podemos asociar en grupos de 3 puntos seguidos, ya que son las réplicas del mismo experimento. Cuando las líneas tiendan a ser más constantes entre las réplicas de un mismo experimento es cuando el error se reduce y donde los pellets son más estables físicamente.

En el primer conjunto que abarca el experimento 1, 2 y 3 se puede estipular que es una pérdida de masa normal y que no tiene una gran significancia en la pérdida de masa por disgregación. Además en esta asociación se deduce que en un medio extremo de agua ácida a un pH 1, a una velocidad de 100 rpm o menor y en un tiempo menor o igual a 10 minutos, los pellets mantienen una resistencia mecánica muy equilibrada, al haber obtenido un promedio de 5% de pérdida que es uno de los mejores resultados de operación necesarios previos a la adsorción de metales.

Como segundo conjunto tenemos al experimento 4, 5 y 6. Donde la pérdida de masa del tercer experimento fue muy alta y por ello se planteó mantener el resultado ya que a pesar del margen de error en comparación con los dos primeros puntos es muy elevado, pero al ser pruebas de experimentación aleatoria mantiene su significado y su importancia al momento de su evaluación individual del desempeño cinético y su cambio estructural físico dentro del experimento. Asimismo, se puede determinar que en las dos replicas iniciales de este segundo experimento, es decir en los ensayos 4 y 5, se observa una proporción de pérdida menor al 10%, que indica un buen desempeño por parte de los pellets en condiciones de un medio ácido, a una velocidad de 100 rpm o menor, y con una duración de 120 minutos o menor. Objetivamente el experimento 6 presentó un alto grado de disgregación en sus estructuras sólidas como pellets, hasta mezclarse con el agua ácida a una velocidad de 100 rpm, dejando así un porcentaje cercano al 50% de pérdida de masa. Esta gran pérdida concebida en este sexto ensayo se debe a la forma de los pellets referente al roce parcial o total del área superficial con el medio ácido, durante el movimiento, o a su vez se debe a la distribución de

carboximetilcelulosa dentro de la formación del pellet, ya que a partir de la misma se ejerce la acción adhesiva con la cal viva.

Como siguiente agrupación tenemos a los experimentos 7, 8 y 9. Donde se observa que es la menor pérdida promedio establecida entre las tres repeticiones, y referente a todos los experimentos de este diseño estadístico. Estas tres repeticiones se encuentran por debajo del 5% de pérdida de masa y su promedio de pérdida es cercano al 2%, con lo cual se puede expresar que los pellets se mantienen en equilibrio con las condiciones de un medio extremadamente ácido hasta pH 1, a una alta velocidad de 250 rpm y durante un tiempo de 10 minutos. Estas son las mejores condiciones extremas en donde pueden trabajar normalmente los pellets en su adsorción, sin que presenten mayores problemas en cambios físicos de su estructura o forma, es decir evitando la disgregación mayoritaria del pellet y prolongando su resistencia mecánica.

El siguiente conjunto está formado por los experimentos 10, 11 y 12. Estos se encuentran dentro del parámetro de pérdida de masa menor al 10%. En este conjunto se encuentra el experimento con menor cantidad de masa disgregada, equivalente al 0,19%, lo cual es un rango menor al 1% y se puede despreciar debido a la comparación con todos los resultados de este diseño experimental. Estos resultados muestran que la resistencia mecánica de los pellets es favorable cuando el medio es ácido con un pH 1, a una velocidad de 250 rpm y en un tiempo menor o igual a 120 minutos.

Para el grupo de los ensayos 13, 14 y 15 se registró un promedio cercano al 7% que traduce una buena eficiencia de resistencia mecánica por parte de los pellets, ya que dos de ellos se encuentran por debajo del 5% de pérdida de masa, y el restante cercano al 15%. Este ensayo se encuentra entre los grupos de condiciones favorables para que se dé la experimentación de adsorción de metales pesados, estas circunstancias fueron en un medio de lodo básico, a una velocidad menor a 100 rpm y en un tiempo de permanencia de 10 minutos o menos.

En la asociación de los experimentos 16, 17 y 18 se mantiene un promedio del 10% de pérdida de masa. En el análisis de estos puntos se puede observar que la pérdida de masa fluctúa entre el 15 y 5%, lo que nos manifiesta que en estas condiciones es indiferente la eficiencia de la conservación de la masa. Las variables y niveles para este conjunto de experimentos fueron en un medio de lodo básico, a una velocidad menor o igual a 100 rpm y durante un tiempo de 120 minutos.

Para la agrupación de los experimentos 19, 20 y 21 se calcula un promedio del 11% de pérdida de masa y es aquí donde se presenta un evento del ensayo 20 similar al del experimento 6. En dicho experimento se puede divisar una pérdida de masa excesiva, donde se puede expresar que obstantemente surge por la ausencia parcial de CMC en la distribución dentro de la estructura de los pellets. Además se puede observar que los otros dos resultados en este apartado se encuentran por debajo del 5% de pérdida de masa y que indica que es muy funcional el pellet a condiciones experimentales en lodo básico con pH 10 a 250 rpm por un tiempo menor o igual a 10 minutos.

La última sociedad representada por los experimentos 22, 23 y 24 exponen un promedio de pérdida de masa cercano al 15%. Esto refleja la mayor pérdida de masa referente a los conjuntos de experimentos tratados anteriormente. Se puede observar que además no existe un gran error entre los tres ensayos finales y es por ello que afirma esa pérdida, la misma que nos advierte que el riesgo de separación de partículas por parte de los pellets es muy alto en condiciones de lodo básico de pH 10, a una velocidad de 250 rpm y durante un tiempo de 120 minutos.

En la misma figura b, mediante la parte inferior se puede diferenciar la masa inicial y la masa final, donde se puede distinguir que la mayoría de las líneas mantienen la misma dirección y por ello se mantiene la forma de la gráfica de la masa final. Se pueden divisar las alturas de los puntos con cierta variación a excepción del experimento 6 y del 21, cuyos valores de disgregación se exceden aproximándose al 50% de pérdida y haciendo que la figura vaya cambiando de forma.

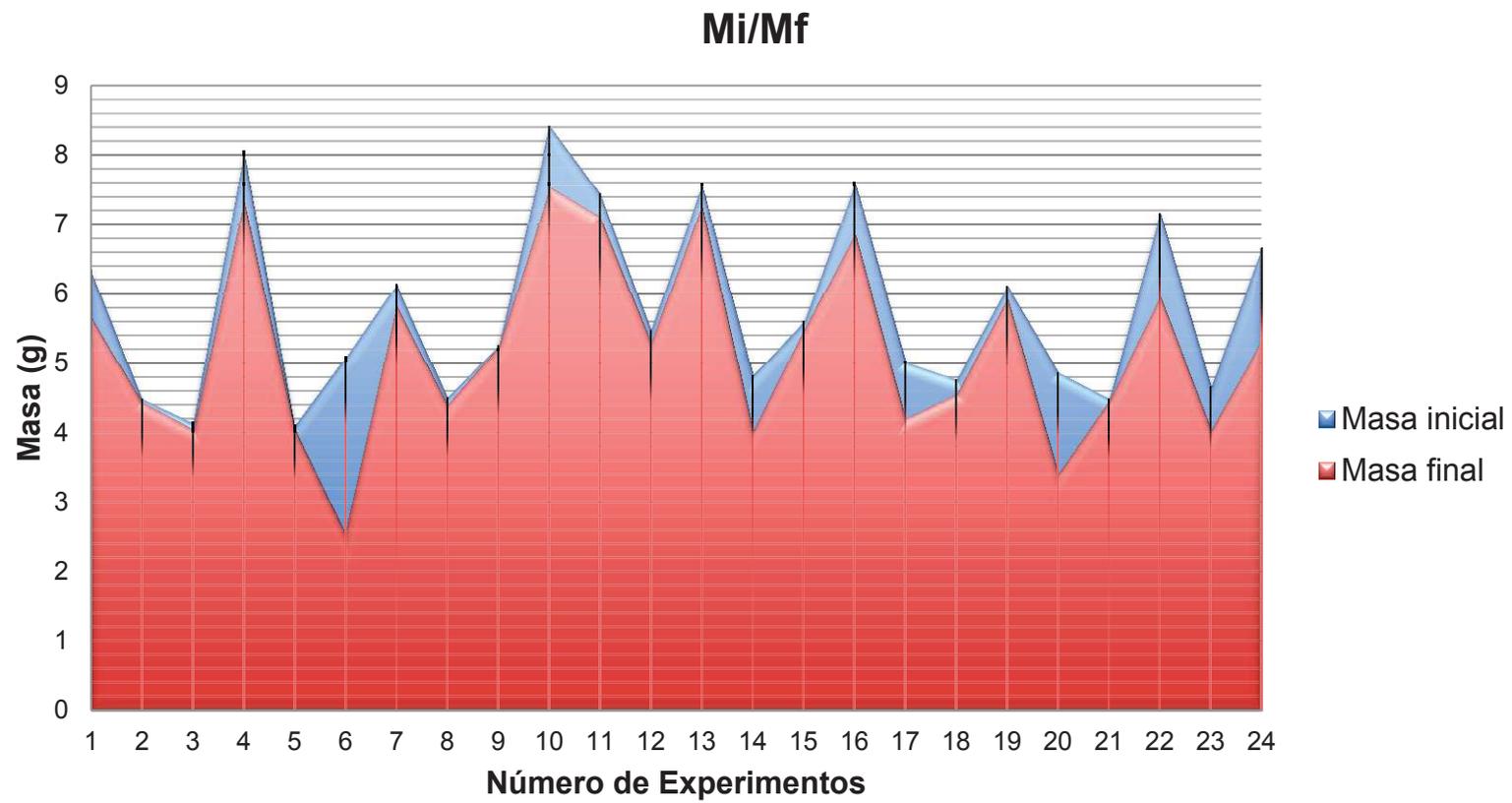


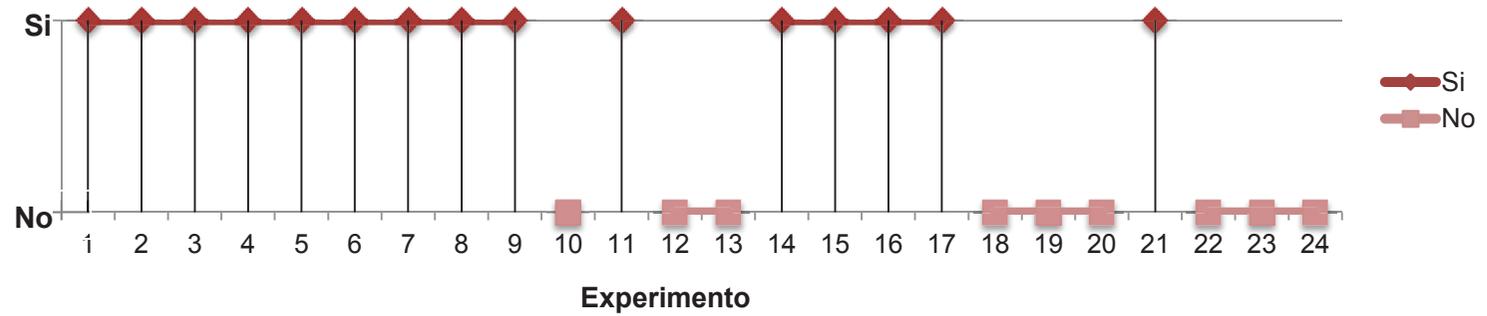
Figura 12. Comparación de área de masa inicial vs masa final

Mediante la comparación observada en la figura 12, se puede observar directamente entre áreas de masa inicial y masa final, que las zonas azules son regiones en las cuales se encuentran los pellets con menor cantidad de masa, ya que la pérdida de la misma es su diferencia. Para cada experimento se puede observar un trazo vertical de color negro difuminado, el mismo tiende al valor 0 del eje "Y" y muestra la relación de pérdida de masa por disgregación del pellet debido a las condiciones expuestas anteriormente. Aquí se puede observar de forma más ágil que los experimentos de mayor eficiencia, donde no existió mayor pérdida de masa fueron el 2, 3, 5, 8, 9, 12, 15, 19 y 21. Además se puede divisar plenamente las zonas con gran pérdida de masa como el experimento 1, 10, 14, 16, 17, 22, 23 y 24. Considerando los dos sitios de mayor pérdida de masa como el experimento 6 y 20.

4.2. Análisis del diseño experimental de adsorción inorgánica

La evaluación de la adsorción inorgánica por medio de pellets se realizó de forma óptica. Como consecuencia de la adsorción se forma una capa en la superficie del pellet. De lo contrario la adsorción solo se la capta por medio de un análisis químico, donde se puede prever la concentración del contaminante. En la figura 13, se distinguen los experimentos que tuvieron efectos visualmente notables, donde según la gráfica superior de adsorción por pellets, los ensayos 1,2,3,4,5,6,7,8,9,11,14,15,16,17 y 21 si formaron la capa de adsorción, la misma que es una capa de precipitados creados por la hidrólisis del agua en el medio y los efectos de los pellets con el metal pesado. En los resultados donde no se manifestó dicha capa fueron los ensayos 10, 12, 13, 18, 19, 20, 22, 23 y 24.

Adsorción por Pellets



Variación del Color

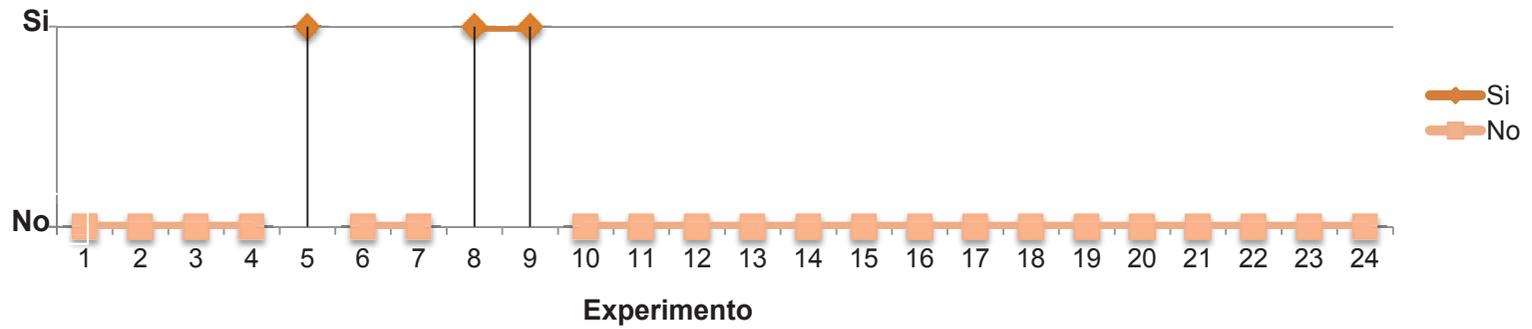


Figura 13. Adsorción de metales y variación del color por uso de pellets

En la parte inferior de la figura 13, se puede evaluar la variación del color, de forma visual, en donde si hay remoción del compuesto del metal, va a existir una colorimetría diferente en el tono del gradiente de color, sea azul en los ensayos con hierro y amarillo en compuestos con aluminio. La consecuencia de la variación en el color del compuesto con metal pesado expresa que existe o no un efecto considerable por parte de los pellets en el medio contaminado. Los experimentos que no presentaron efectos notables en la variación del color fueron los ensayos 1, 2, 3, 4, 6, 7, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23 y 24. Entre las pruebas realizadas que sí tuvieron una variación considerable fueron los experimentos 5, 8 y 9.

Al analizar la figura 14, se puede determinar que la variación del pH en los experimentos es importante debido al grado de interacción de los pellets en la muestra, ya que al existir un efecto considerable en el ensayo, este empieza a incrementar el nivel de alcalinidad, lo que se puede divisar en los ensayos donde el pH se incrementa para entrar en el rango de 6 a 7 que es el más efectivo, al mantener en este parámetro a las pruebas, se obtuvo una gran adsorción del metal pesado, formando así la capa moldeada en la superficie de cada pellet al reaccionar químicamente, además de su consecuente variación de color, sea este azul o amarillo hasta transformarse al tono transparente libre de metales pesados presentados en los experimentos 5, 8 y 9.

Los niveles de pH menores al inicial determinan un mal funcionamiento por parte de los pellets en ese medio, donde además se puede definir que los valores mayores a un pH 6 son las que mayor exhiben una adsorción de metales pesados por parte de pellets.

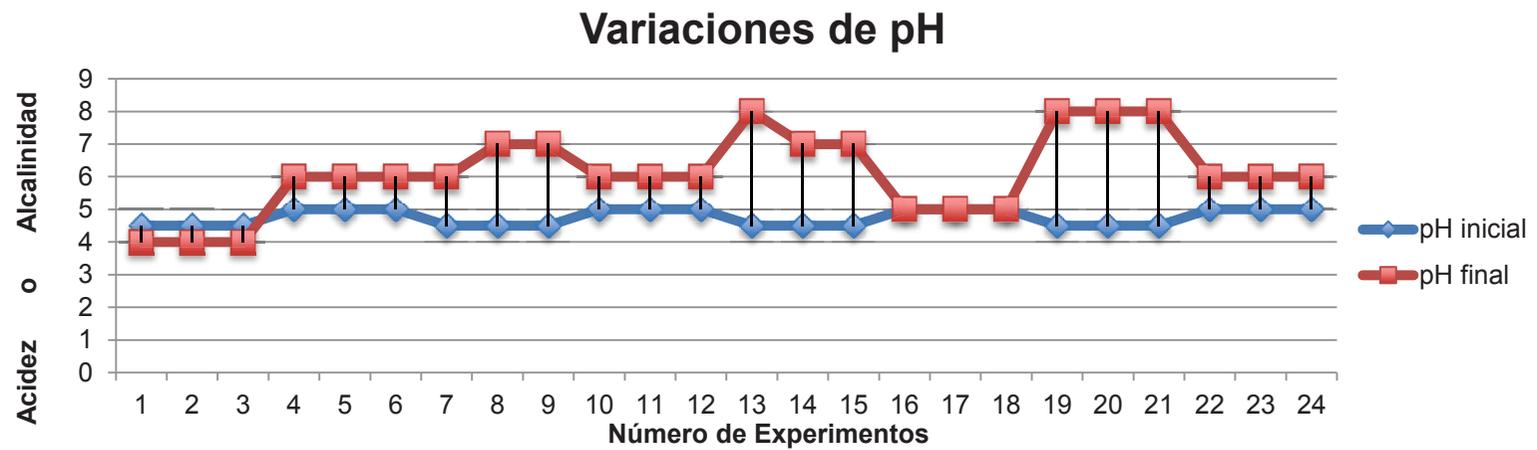
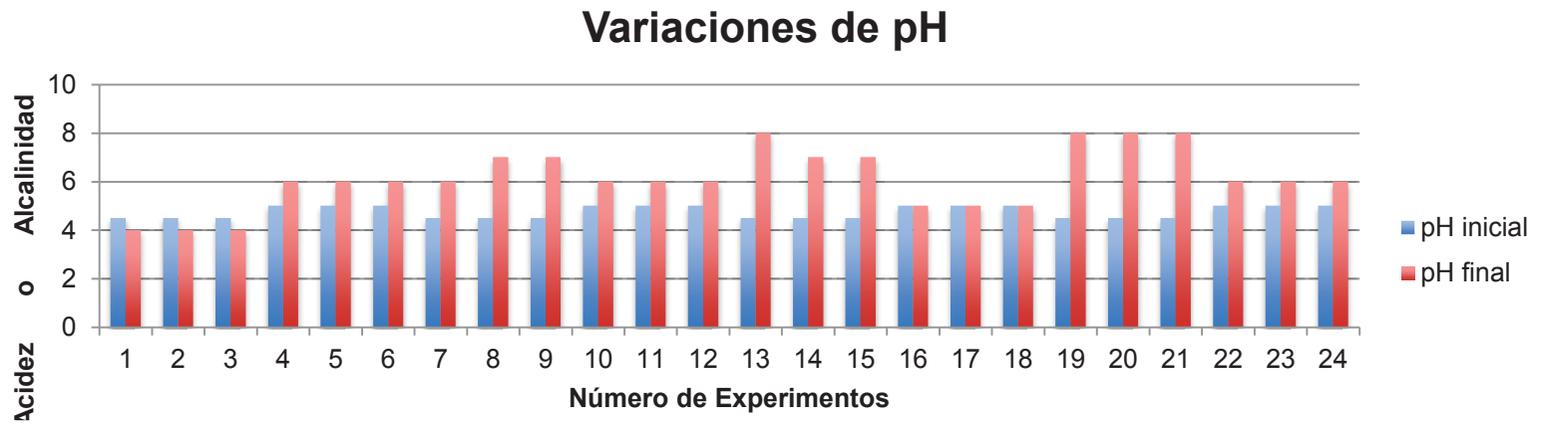


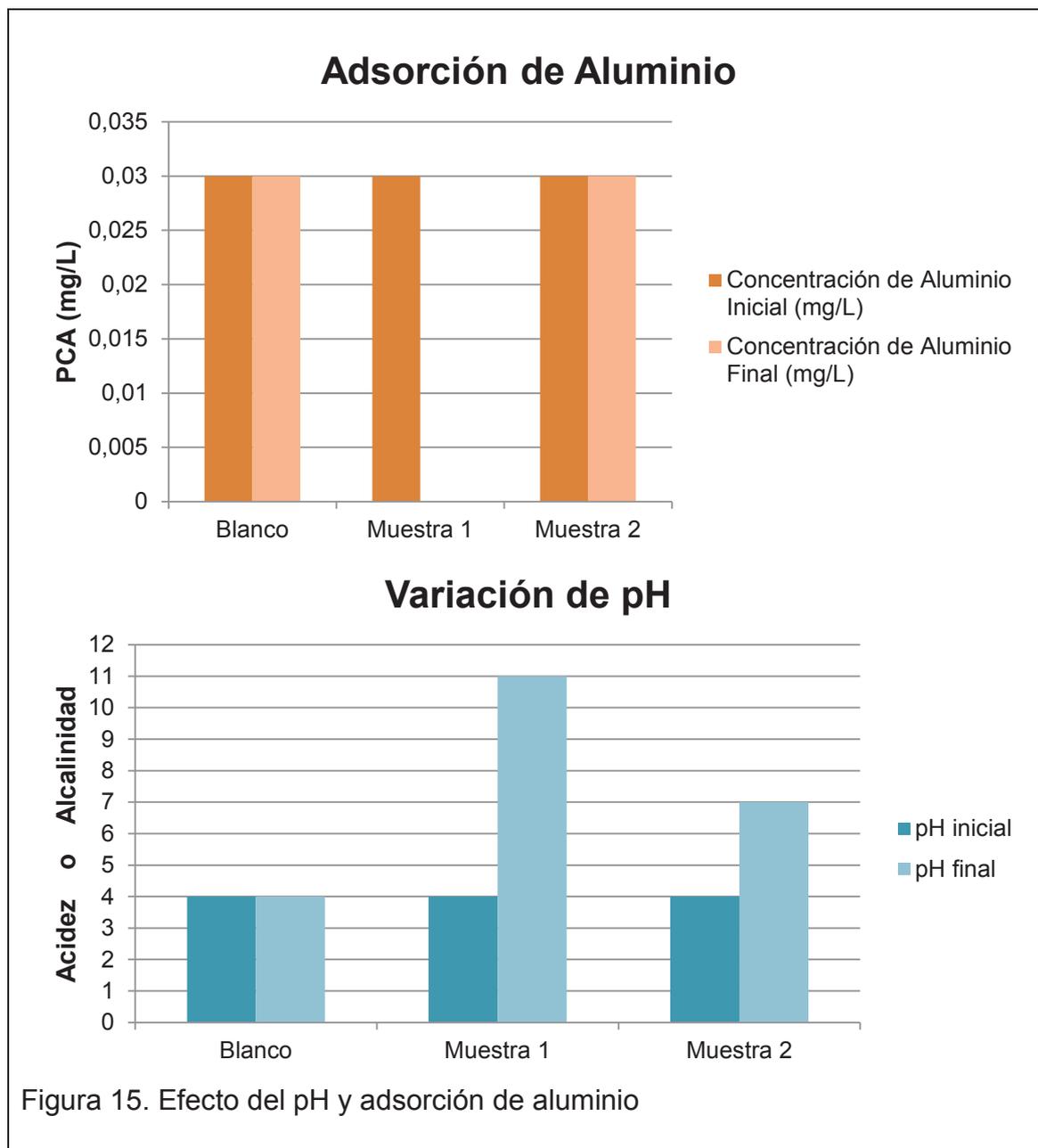
Figura 14. Variaciones de acidez y alcalinidad según el pH

4.3. Efectos de la adsorción de aluminio

El aluminio es un elemento cuya toxicidad hace que lo incluyan como metal pesado (Aho & Agunwamba, 2014; Alo, et al., 2012; Pallavi & Mahesh, 2013). Es por ello que la necesidad de mitigar la concentración de este agente químico para el ambiente es imprescindible. Para ello se realizaron dos pruebas piloto, las cuales se pueden examinar en la figura 15, donde a partir de un blanco de pH 4, a una velocidad de 200 rpm y durante 20 horas no se registraron cambios físico-químicos en el mismo.

Para la muestra 1 se agregó la misma concentración y el resultado fue muy favorable al generarse la capa de adsorción por saturación del área superficial de cada pellet. Al envolver de precipitados formados por la hidrólisis como efecto de la adsorción y la mezcla del pellet con el medio. En el cual se puede observar que en las mismas condiciones de velocidad y tiempo que el blanco, el pH inicial se incrementa hasta un pH 11 que es muy básico, lo cual es producido por el efecto de los grupos hidroxilos en el medio al formar esa película de precipitados mediante la adsorción de aluminio por parte de la mezcla de materiales adsorbentes. Además de que la concentración disminuya drásticamente.

Para la muestra 2 se incrementó la concentración del medio, donde no se logró una disminución del contaminante. Se obtuvo una elevación de pH pero no tan alto como la muestra anterior, ya que el pH asciende de 4 a 7, en las mismas condiciones que el blanco, en cuanto a velocidad y tiempo del tratamiento. Para que se de una mayor retención del contaminante se requiere un superior número de pellets para conseguir una mayor área superficial, capaz de atrapar la cantidad de iones metálicos presentes en la muestra a tratar. Es por ello que la hidrólisis no abarca todo el sistema y el pH no se incrementa igual o mayor al valor de la muestra 1.



4.4. Análisis del tratamiento de lodos en unidad experimental a escala de laboratorio

Mediante la figura 16, se pueden observar los análisis iniciales y finales de la concentración de metales en la muestra de lodo de PTAR de industria textil, además de la normativa que rige las concentraciones máximas permisibles para estos biosólidos y sin olvidar la concentración de contaminante encontrada dentro de los pellets.

En donde el aluminio se encuentra presente en bajas concentraciones, menores al 1 mg/L y donde efectivamente se logró una reducción importante de la concentración del contaminante. En este parámetro si se cumple con la norma. Aquí se presenta la primera determinación de una mayor concentración en pellets que la inicial, la misma que se debe a una distribución no equitativa y agrupada en un solo sitio de la zona de análisis.

El segundo metal analizado fue el cadmio, cuya concentración inicial fue muy baja a comparación de la normativa, y en donde la distribución como se podría afirmar, es aquella que hace que en el análisis de los pellets se muestre una mayor concentración.

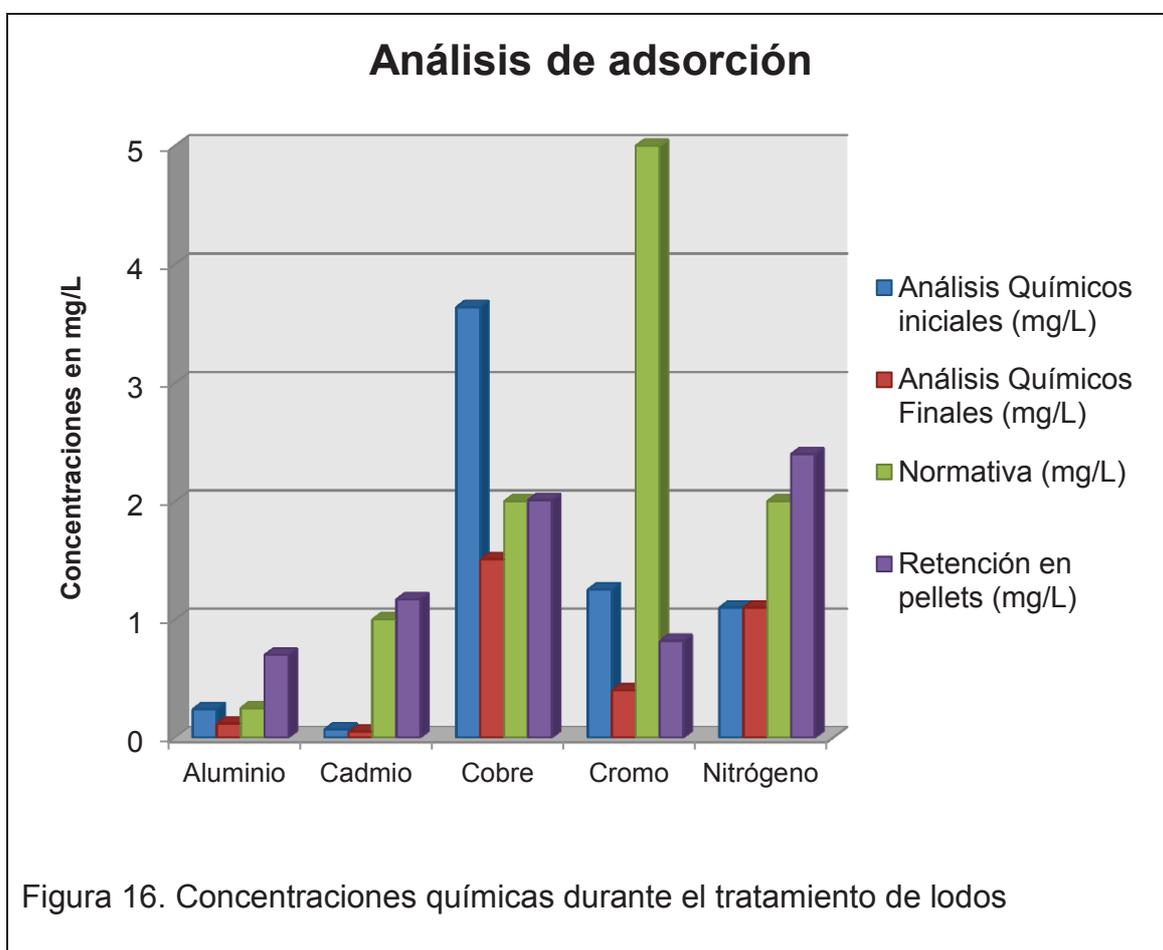
Como tercer metal examinado está el cobre que mantuvo una concentración inicial alta de aproximadamente mayor a 3,5 mg/L, lo que lo hace el metal con mayor proporción dentro del lodo de PTAR de esta industria textil. La minimización del contaminante por medio de la adsorción de metales mediante pellets se realizó obteniendo un resultado de una simplificación mayor al 50% del elemento dañino para el ambiente. Este elemento cumple con los límites permisibles de la normativa. El análisis dentro de la estructura de los pellets otorgó un resultado muy admisible ya que se mantuvo aproximadamente toda la concentración de contaminante removido en el área superficial de los pellets sin que exista una redistribución de las moléculas en las superficies de cada pellet.

Como cuarto metal evaluado está el cromo, donde se encontró más de 1 mg/L en el análisis inicial. En el análisis final se halló una concentración menor a 0,5 mg/L, lo que manifiesta una reducción mayor al 50% lo que nos dice que es muy eficiente la remoción referente al cromo. La normativa en Ecuador para este metal pesado es muy ligera al aceptar niveles de hasta 5 mg/L, es por ello que se cumple ampliamente con el límite máximo permisible para el cromo.

Como quinto elemento pero diferente a los metales pesados, se analizó la concentración de nitrógeno, donde su nivel inicial y final fue 1,1 mg/L, y se encuentra cumpliendo la normativa. Por otro lado podría haber ocurrido una

distribución en la estructura de análisis del lodo, donde se presenta una concentración mayor en el análisis de los pellets, superando los 2 mg/L.

Al existir un incremento de alcalinidad se puede dar a conocer que el proceso de adsorción se está dando con gran eficacia, al producir efectos oxidativos y de hidrólisis necesarios para la adsorción de metales y para la formación de precipitados con la ayuda de grupos hidroxilos. Efectivamente se observa un crecimiento exponencial elevado del pH hasta 13 y con ello alcanzar un nivel muy alto del potencial de hidrógeno como el ya especificado.



4.5. Análisis del diseño experimental del compostaje

El diseño experimental usado en el proceso de compostaje otorgó varios resultados como son: temperatura, pH, humedad, sólidos volátiles y relación carbono-nitrógeno.

Mediante la figura 17, se puede evaluar la temperatura y sus resultados mediante las mediciones realizadas durante todo el proceso de compostaje, el cual es el mayor indicador de eficiencia dentro de este procedimiento.

Donde se puede expresar que a partir del día 1 hasta los días 10 y 11, en los cuatro experimentos, se da una adaptación de los microorganismos presentes en los diferentes materiales depositados, principalmente a partir de la gallinaza y cachaza, los cuales son una gran fuente de microorganismos (Flores & Núñez, 2006). Seguido de este punto se puede divisar que tanto el experimento 2 como el 4 inician y desarrollan de forma más acelerada la etapa mesófila y con ello el origen de bacterias y hongos que van a generar un incremento de la temperatura debido a su metabolismo y crecimiento poblacional.

A comparación de los experimentos 1 y 3, que aproximadamente en el día 20 inician los cambios físico-químicos y reacciones de proceso como es la alimentación de microorganismos por medio de materia orgánica, o cual es necesario para que ocurran reproducciones de los mismos y así exista una mayor generación de CO₂ debido a la respiración producida por la humedad que mantiene el compost vertidas inicialmente a través de vegetales y frutas, las mismas que proporcionan agua necesaria para que se produzca el calentamiento e incremento de temperatura. Es por ello que es ineludible el control de la temperatura además del manejo de la humedad de la muestra que se está estudiando, para fijar los parámetros esenciales para un buen proceso de compostaje.

Además se puede observar que independientemente el ensayo 2, incrementa su temperatura de manera exponencial a partir del día 23, y desde el día 24 ya indica un cambio de nivel, es decir a la etapa termófila. En esta etapa

termofílica cuyo punto máximo supera los 45 °C, ocurre una disminución de microorganismos por medio de la muerte de bacterias y hongos y todo tipo de patógenos existentes. Al acercarse hacia el final de los procesos referentes a la temperatura, se puede observar que a pesar de alcanzar esta variable, el pico máximo de la figura, se puede analizar que se acelera negativamente y se presenta la etapa de enfriamiento, donde no se dan mayores reacciones químicas y como se puede apreciar, la temperatura otorga un resultado confiable de la ocurrencia mas importante en el compost.

Para los otros resultados como son en los experimentos 1, 3 y 4 en su totalidad se rigen a la misma gráfica en forma de campana con los costados mas horizontales y cercanos a la constante. Esto se debe a la base utilizada para todas las muestras, al poseer una gran fuente de nutrientes. Sin embargo los ensayos que cumplen con el proceso de compostaje ampliamente como lo son el 2 y 4 sirven para observar el rendimiento progresivo casi obligatorio que toman los otros ensayos, esto ocurre principalmente al mantener en su formación la variable que le da una mayor humedad y retarda al proceso en lugar de acelerarlo , que es la adición de 200 ml de melaza, lo contrario de los experimentos 2 y 4 donde la variable ponderada es la adición de 200 g de gallinaza en cada muestra.

En los experimentos 1 y 3, que son pruebas donde sus temperaturas máximas fueron 34.7 °C y 37.7 °C respectivamente. En estos ensayos se usaron 200 ml de melaza como complemento, para el análisis de variable dentro de este diseño experimental. Evidentemente se pudo demostrar un compostaje de forma mesófila, el mismo que solo aporta con una buena descomposición y mineralización de la materia orgánica. Con ello se pudo formar un compost joven con muchos minerales fáciles de asimilar por las plantas.

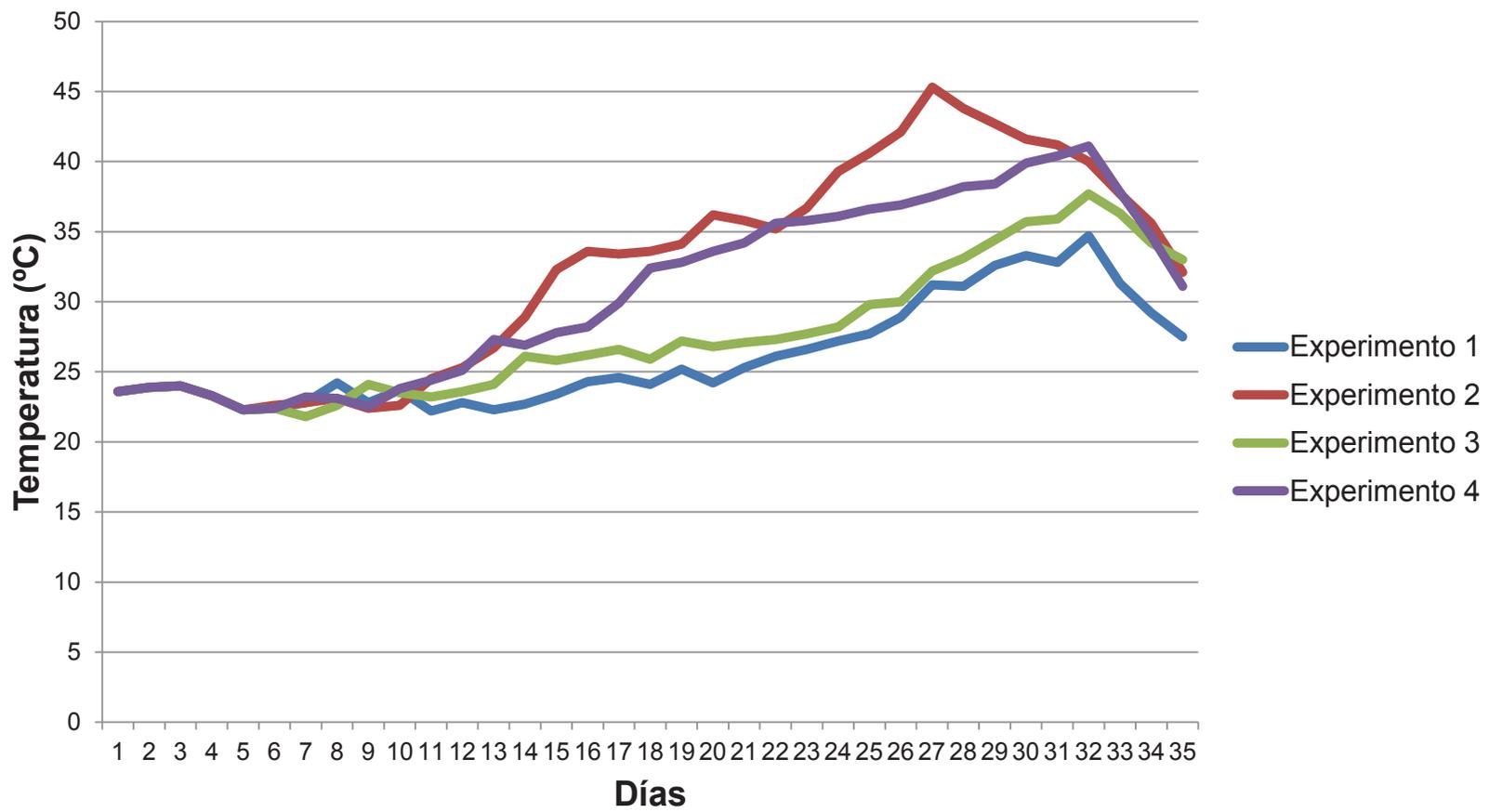


Figura 17. Variación de la temperatura en función del tiempo

Mediante la figura 18, se puede constatar un pH al inicio del proceso experimental que no tiene mayor variación, esto se da porque no existen cambios descolantes en las propiedades físico-químicas del compost en el parámetro de los 5 primeros días. El pH se mantiene cercano al neutro en la mayoría de desechos orgánicos, el mismo que se encuentra en gran cantidad dentro de los cuatro ensayos (sztern & pravia, 1999). Por medio de esta gráfica se evaluará a continuación en dos grupos, al observar un gran parentesco de resultados al momento de emparejar a los experimentos.

En el primer grupo conformado por las pruebas 1 y 3, se puede observar que el pH empieza a variar a partir del día 6 y 7, donde las reacciones físico-químicas se activan debido a la mezcla complementaria que induce la aceleración en el comportamiento del compost. Una de las reacciones es producir ácidos orgánicos, los mismos que producen una disminución en el pH (Boulter-Bitzer et al., 2006). Esta acidificación en el pH se presenta de forma constante, con mucha igualdad entre los dos experimentos durante casi todo el procedimiento.

A excepción del día 27, que es cuando el pH se acelera y en lugar de iniciar la oxidación para su incremento, este se mantiene ácido lo cual se debe a que la melaza se mantiene húmeda produciendo ácidos húmicos y fúlvicos. El parámetro final del día 28 fue un pH 6.92, seguido del día 33 a pH 5.54, hasta el 35 a un pH 5.78, donde el experimento 3 sube su pH y empieza su oxidación y estabilización de compuestos que van a incrementar la alcalinidad en los exámenes realizados. Por otro lado, se encuentra el experimento 1, que continúa su acidificación hasta un pH 4.38, la cual se produce al no tener una buena proporción en los materiales de mezcla dentro del desarrollo de la investigación, sin olvidar que es un buen resultado al momento de analizar sobre los efectos de cada fórmula empleada.

En el segundo grupo constituido por los experimentos 2 y 4, se observa el efecto del complemento en la mezcla, donde se adicionaron previamente 200 g de gallinaza a cada una de estas muestras. Se puede observar que existe una gran similitud en varios puntos de mediciones entre estas dos muestras. Aquí se observa que hasta el día 26 muestran exactamente su pH más bajo.

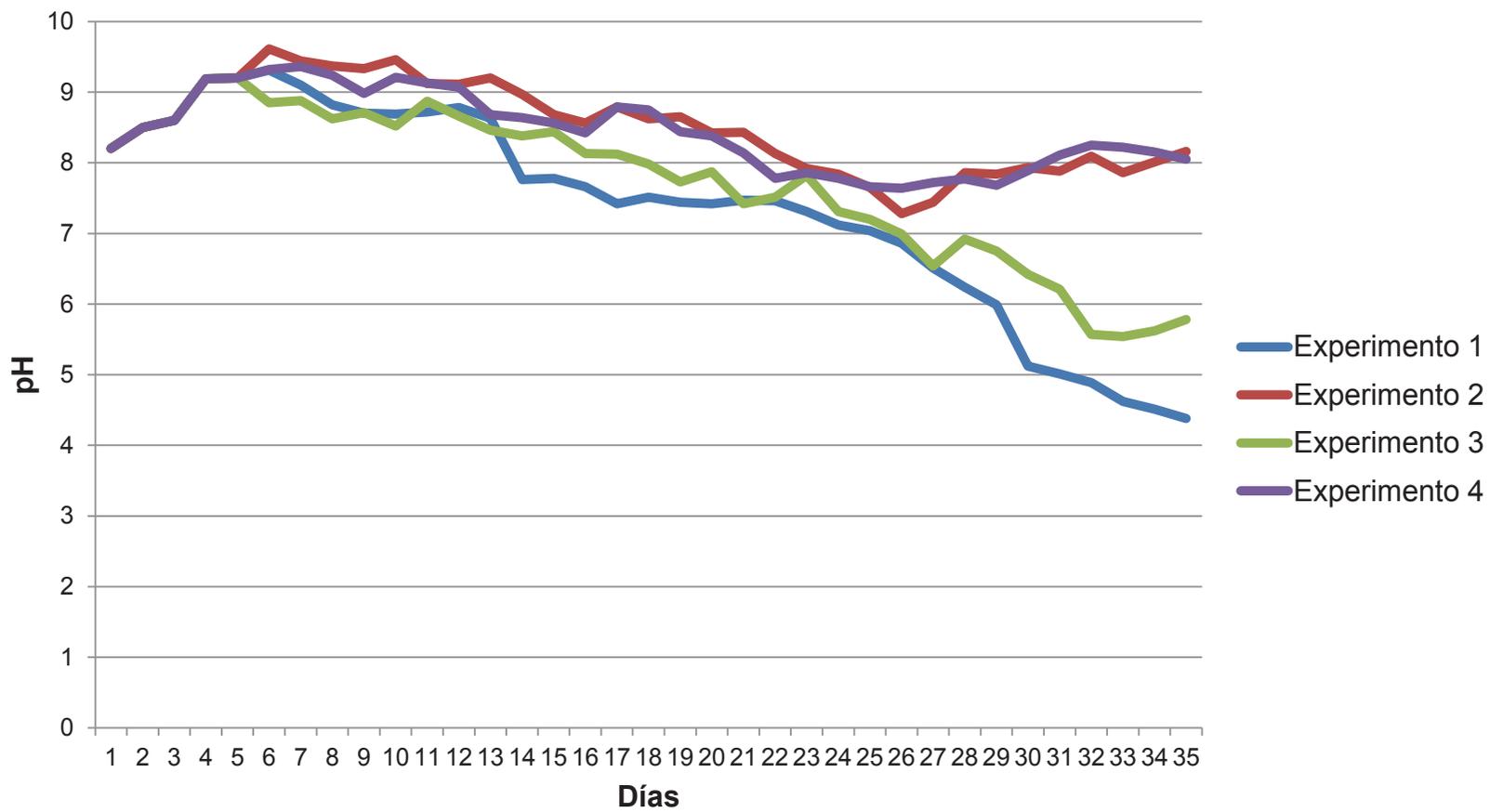


Figura 18. Variación del pH en función del tiempo

A partir de ese momento el segundo tramo sufre un incremento en el pH, es decir a partir del día 27 con pH 7.72 en la prueba 4, y pH 7.44 en la prueba 2, se efectúa el ascenso de pH debido que el experimento 2 encuentre su punto máximo en la etapa termófila y el experimento 4 se encuentra a punto de llegar a la fase termófila con altas temperaturas. En estos puntos las reacciones que se están generando son de oxidación y degradación de compuestos ácidos y aromáticos provocados por microorganismos, los mismos que incitan el incremento de la temperatura y el pH empieza a elevarse hasta 8 ó 8.5 para el remanente del proceso aerobio (Maystre and Duflon, 1994) citados por (Som et al., 2009; Cegarra, 1998; Tchobanoglous et al., 1994).

En la figura 19 se encuentra detallado el parámetro que juega uno de los papeles con mayor dominio sobre el procedimiento de compostaje. La humedad es un parámetro fundamental, por lo que proporciona la expansión de oxígeno en la matriz orgánica, debido a que un incremento permite la aparición de zonas anaerobias y malos olores, mientras que su déficit limita la actividad microbiana (Flores & Núñez, 2006).

Esta variable debe encontrarse entre el 45 y 60 % (FAO, 2013). Como se observa detalladamente los puntos donde van disminuyendo en general todos los experimentos, hallándose en mejor porcentaje las pruebas 2 y 4, debido al complemento adicional de gallinaza, la cual es un aporte de material seco, además del incremento de temperatura que favorece la aproximación de la humedad al 60% para mantener dentro del rango ideal a estos dos ensayos. Por otro lado el experimento 1 estuvo a punto de acercarse al rango ideal pero produjo una unión de moléculas que hicieron que el paso del aire se acortara hacia toda la muestra. En tanto al experimento 3 se observa una disminución ralentizada de la humedad en el proceso, aproximadamente del 70 %.

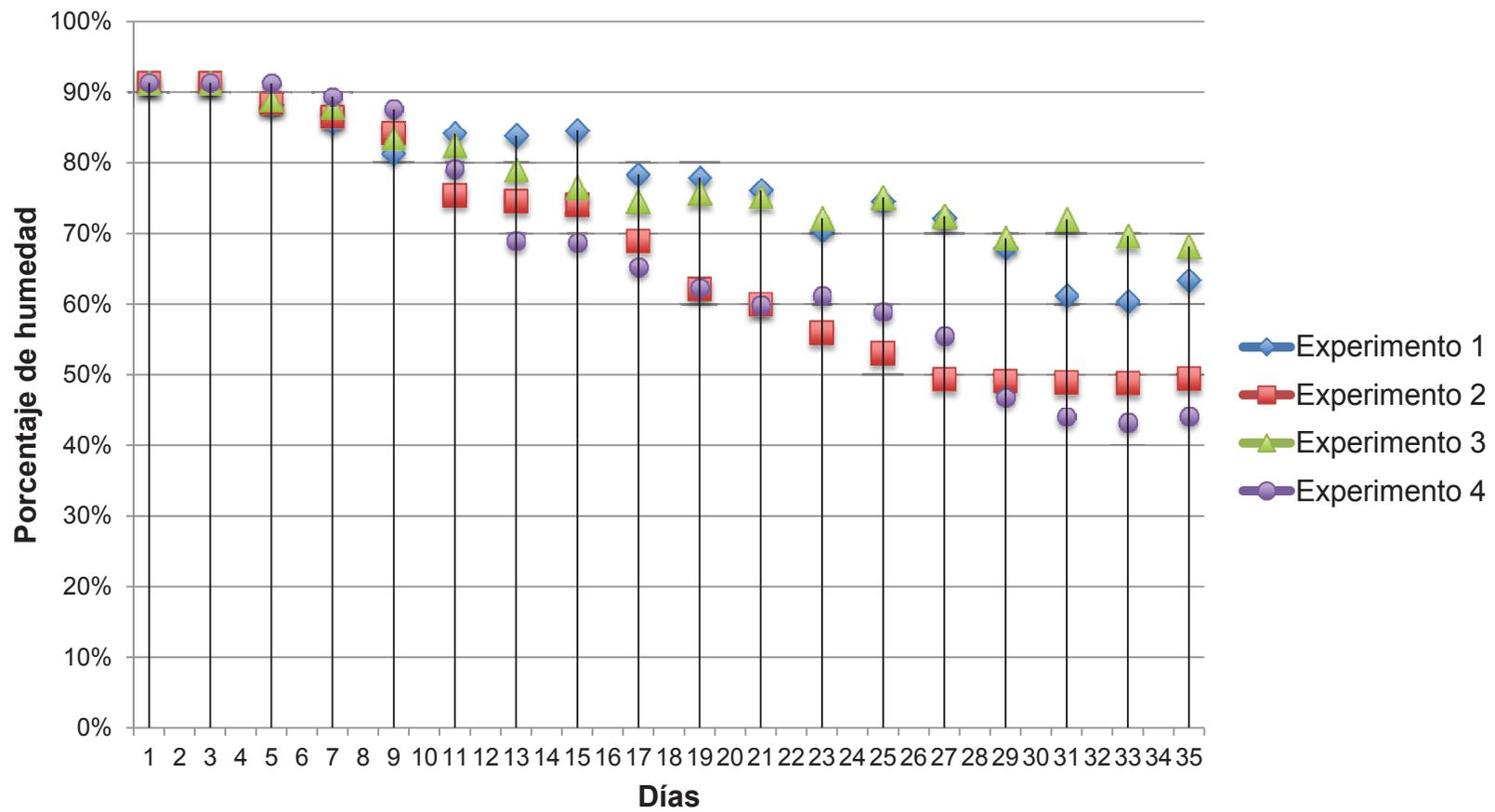
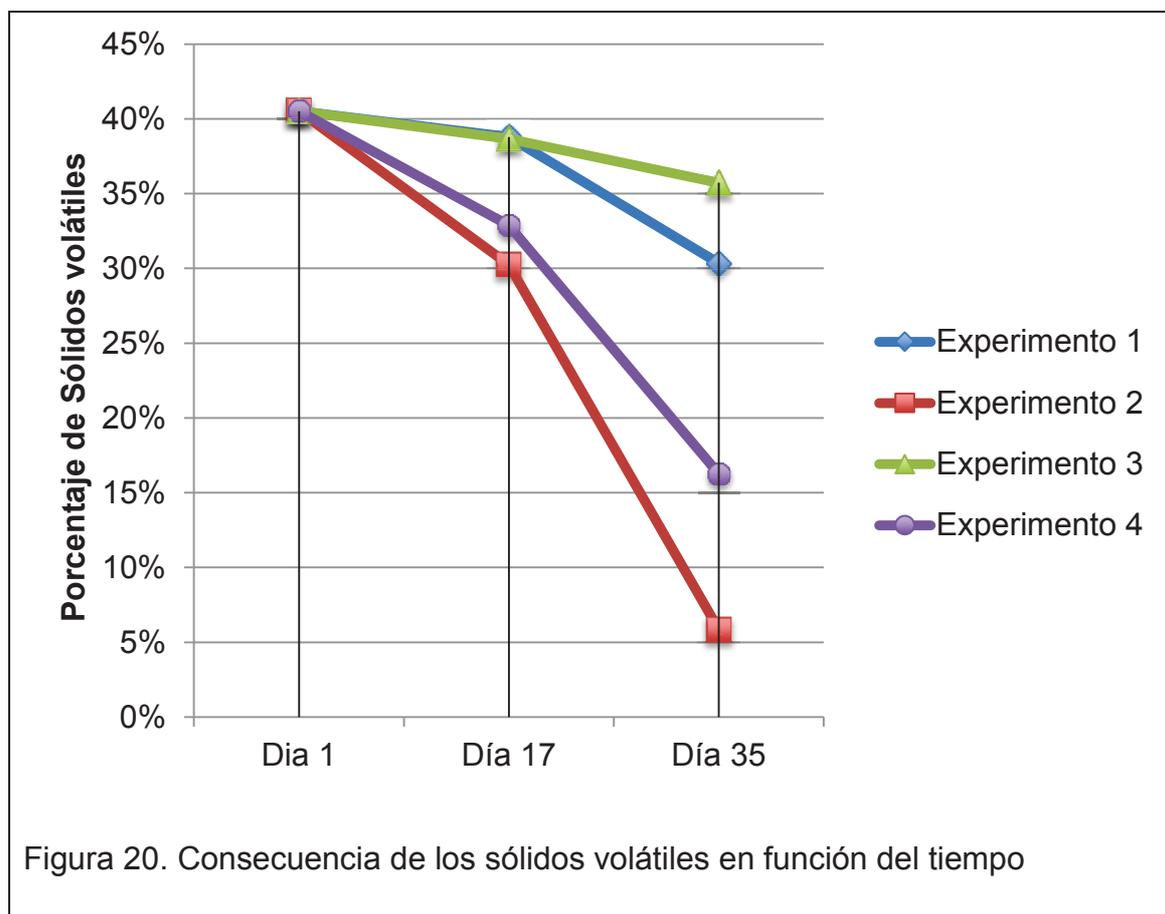


Figura 19. Efecto de la humedad en función del tiempo

Los sólidos volátiles fueron determinados 3 veces durante este proceso. Mediante la figura 20, se puede evaluar la transformación de las sustancias orgánicas a sólidos volátiles. Permiten conocer si hay un apropiado proceso de mineralización de la materia orgánica, lo que luego servirá para una fácil asimilación por parte de las plantas (Confesor et al., 2008). Donde el análisis de los porcentajes expresan que hay una gran proporción de minerales, debido a que este es inversamente proporcional al porcentaje mostrado en la figura de sólidos volátiles. Con lo cual garantiza una buena asimilación de nutrientes por parte de las plantas y plántulas. Con ello se evalúa que el experimento con mayor capacidad de otorgar minerales es el 2, seguido de los ensayos 4, 1 y 3.



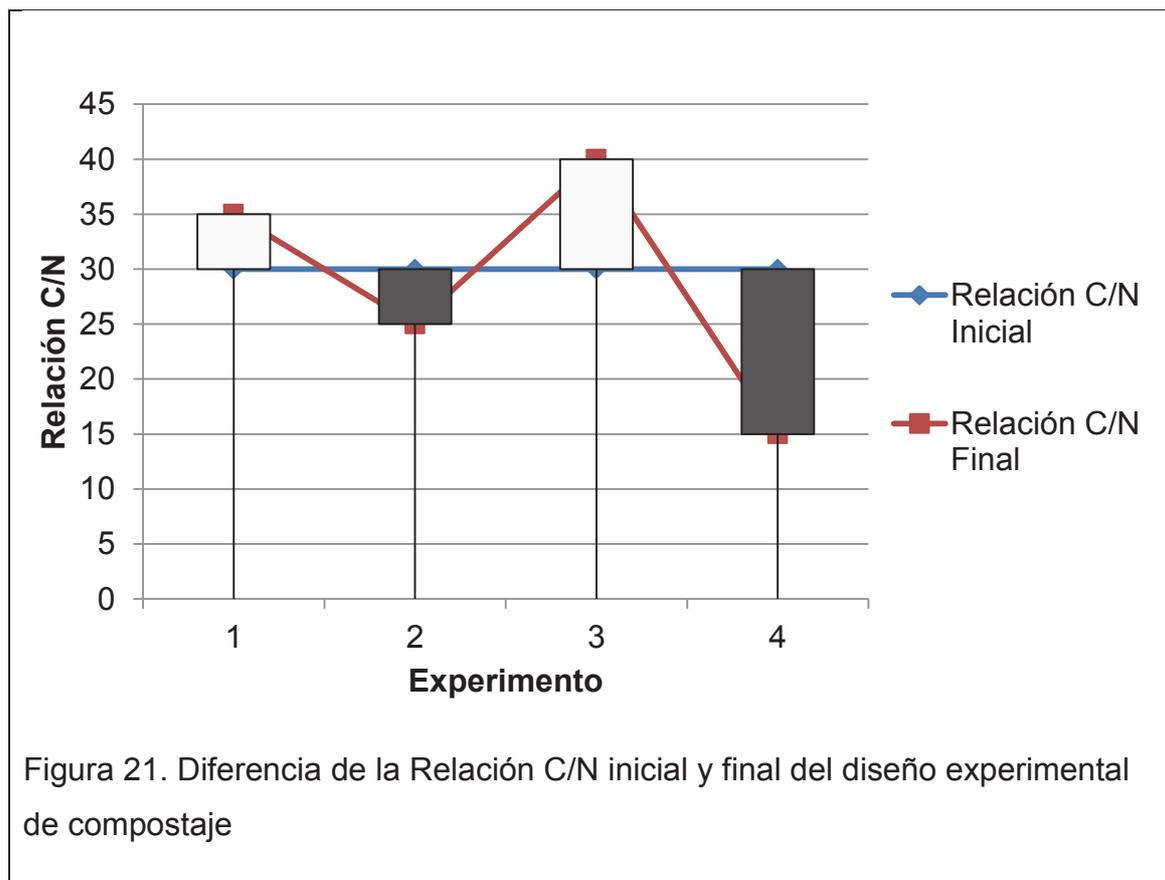
En la figura 21 se observa la relación carbono-nitrógeno. El carbono es usado dentro del procedimiento de compostaje tanto para tomar energía como para el crecimiento de microorganismos (GIEM, 2000). Se realizaron las mediciones iniciales y finales para encontrar la variación dentro del proceso de compostaje. Donde los cuatro experimentos inician con una relación C/N de 30, lo cual está dentro del parámetro de una buena contribución de contenido de nitrógeno y carbono (Benzing, 2001). Para llegar a este aporte preliminar se realizó un balance de nutrientes, en las mezclas previas para equilibrar este contenido inicial (Flores & Núñez, 2006).

Se puede observar en el experimento 1, que el valor asciende a 35, el cual manifiesta que el material tiene relativamente más carbono. Donde existe una escasez de microorganismos para la biodegradación. Este experimento tardará más tiempo en llegar a una relación C/N apropiada para un uso agronómico que se encuentra entre 12 y 15 (Haug, 1993).

En el ensayo 2, se puede observar que la relación C/N desciende 5 unidades durante el proceso hasta mantenerse en 25. Se encuentra en un valor aceptable dentro del proceso de compostaje, ya que el contenido de nitrógeno en los residuos orgánicos y la inmovilización de este, afectan la velocidad de mineralización (Adegbidi & Briggs, 2003; Levanon & Pluda, 2002).

En la prueba 3, se observa el mayor incremento con una relación C/N de 40. En este examen se puede evaluar la existencia de una gran cantidad de carbono. Al ocurrir esto, los microorganismos no tienen el N suficiente para generar enzimas y proteínas, y disminuyen o demoran su actividad, además de ralentizar el incremento de temperatura del sistema.

En la prueba 4, se puede evaluar sobre el decrecimiento que existe en la relación C/N hasta el valor 15. Al estar en este orden, se puede expresar que el material tiene relativamente más nitrógeno. Esta muestra de compost ha alcanzado un estatus ideal para el uso agronómico que está dentro del parámetro de la relación C/N de 12 - 15 (Haug, 1993).



4.6. Análisis Costo/Beneficio

Para la producción de pellets se necesitaron diversas cantidades de materiales que se pueden observar en la tabla x. Además de los valores unitarios debido a la adquisición de forma comercial de los componentes observados con sus costos en la tabla 19.

Tabla 19. Gramos necesarios para el tratamiento de 15 L y 1 m³ de lodo

Materiales	Gramos necesarios para 245 Pellets	Gramos necesarios para 16333 Pellets
CMC	20	1333,31
Zeolita	25	1666,63
Carbón	5	333,33
EDTA	10	666,65
Cal	40	2666,61

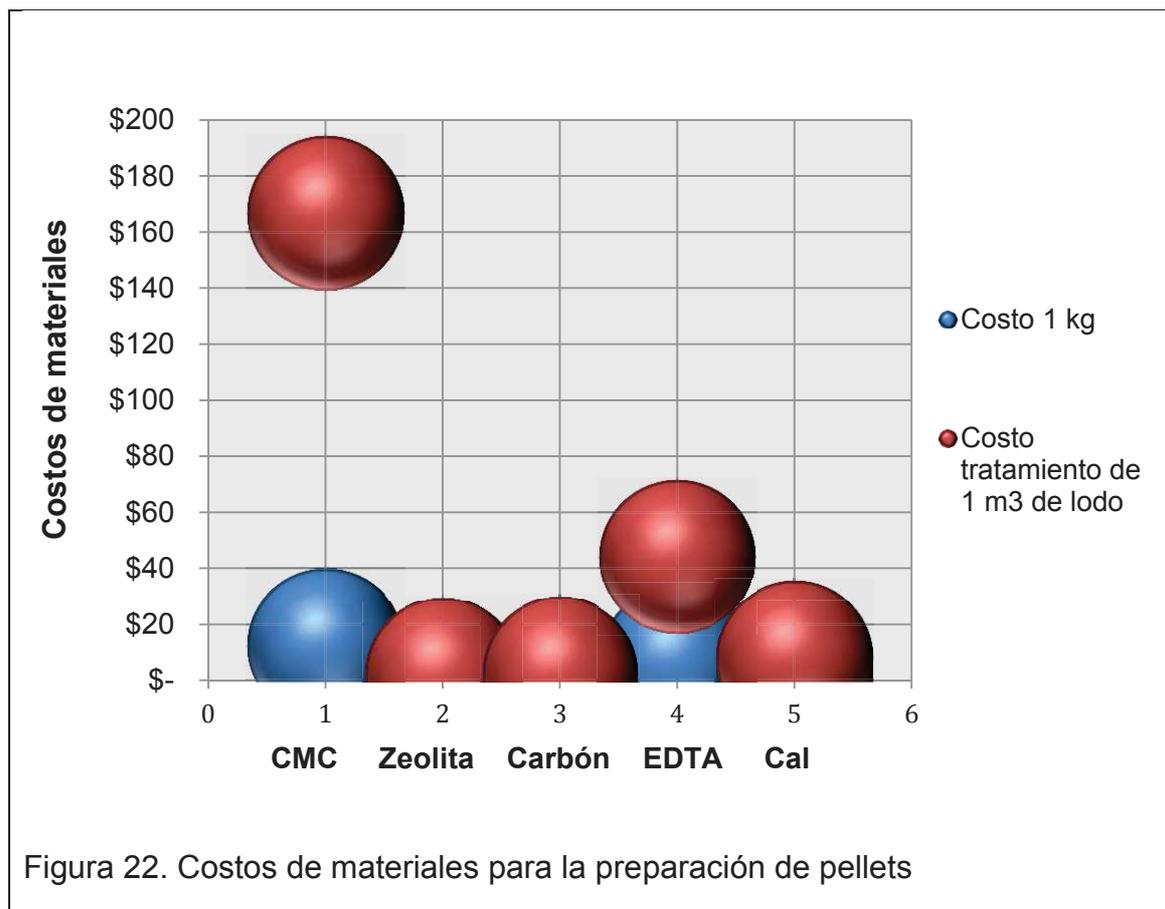
Nota: Tratamiento de 15 litros de lodo diluido se realiza con 245 pellets, y el tratamiento de 1m³ de lodo por cada 16333 pellets.

Tabla 20. Costos unitarios y valor estimado para el tratamiento de 15 L y 1 m³ de lodo con metales pesados.

Materiales	Costo 1 kg	Costo tratamiento de 15 L de lodo	Costo tratamiento de 1 m ³ de lodo
CMC	\$12,52	\$2,50	\$166,93
Zeolita	\$0,12	\$0,03	\$2,00
Carbón	\$0,75	\$0,04	\$2,50
EDTA	\$6,63	\$0,66	\$44,20
Cal	\$0,30	\$0,12	\$8,00
Costo tratamiento de 15 L de lodo		\$3,35	\$ 223,63
Costo del tratamiento de 1m ³ de lodo			

Mediante la figura 22, se puede diferenciar los costos en los materiales para la formación de pellets. Donde las burbujas azules muestran los costos de 1 kg de cada material. Las burbujas rojas indican los valores de cada material necesario para el tratamiento de 1 m³ de lodo con metales pesados.

Se distingue, que la mayor inversión en la formación de pellets se da por parte del CMC. El cual es un agente semipermeable que ayuda a la adherencia de los materiales como la zeolita, carbón, EDTA, cal. Además de proporcionar la maleabilidad al momento de la formación de la masa para dar forma a los pellets. Los materiales restantes se encuentran en un rango bajo de inversión, ya que su obtención es más factible y sus valores son más económicos.



El costo de inversión por cada mecanismo de tratamiento de lodos en el cual se da la adsorción de metales pesados, además del compostaje es de \$129.90. Para realizar el proceso de compostaje no es necesario la adición de otros materiales dentro del ensamblaje del mecanismo, ya que la biodegradación de los materiales a compostar y de residuos orgánicos puede realizarse dentro del reactor sin problemas, de forma aerobia o anaerobia, dependiendo si se deja o no aberturas para la entrada de aire. Debido a esto el costo de inversión puede ser menor, dependiendo del tipo de sistema que se quiera implementar, sea abierto o cerrado. Sin olvidar que se lo puede mantener de forma horizontal o vertical al momento de compostar todo el material. Todos los costos se los puede encontrar en la tabla 21.

Tabla 21. Materiales y costos para ensamblaje de mecanismo de tratamiento de lodos y compostaje.

Mecanismo	Material	Cantidad	Precio unitario	Precio Total
Base giratoria	Tubos y base de hierro	1	\$60,00	\$60,00
	Acrílico	1	\$17,00	\$17,00
Reactor de adsorción de metales pesados	Remaches	8	\$0,05	\$0,40
	Silicona	3	\$2,50	\$7,50
	Tornillos	2	\$0,15	\$0,30
	Tol	1 (1 m)	\$6,50	\$6,50
	Tubos PVC	1 (3 m)	\$3,50	\$3,50
	Masilla plástica mustang	1 (250 g)	\$3,00	\$3,00
	Malla	1 (1 m ²)	\$1,00	\$1,00
	Pintura automotriz	1 (1 L)	\$8,00	\$8,00
	Reactor de Compostaje	Acrílico	1	\$17,00
Remaches		8	\$0,05	\$0,40
Silicona		2	\$2,50	\$5,00
Tornillos		2	\$0,15	\$0,30
Costo de inversión para la construcción de Mecanismo de compostaje.				\$ 129,90

En la figura 23, se puede observar los costos de los materiales para la creación del mecanismo de compostaje. Donde todos los materiales necesarios para el ensamblaje de esta unidad experimental se encuentran por debajo de los \$17.00, a excepción de los tubos y base de hierro cuyo costo es de aproximadamente \$60.00. Cabe destacar que esta inversión se da una sola vez. Y los costos de repuestos no son significativos.

Sin olvidar que muchos de estos accesorios pueden cambiarse por materiales inoxidables, con mayor resistencia mecánica a los giros debido a la fuerza implementada para la adsorción de metales pesados y aireación durante el proceso de compostaje.

Mediante la evaluación de las gráficas expuestas en el inciso de costo-beneficio, se puede destacar que el valor a costear una sola vez, para el proceso de adsorción de metales pesados y de compostaje es de \$129.90. El cual incrementa su valor al momento de necesitar mayores dimensiones del dispositivo de tratamiento de lodos y composta.

Los materiales necesarios para el compostaje se los puede adquirir de forma comercial a bajo coste. Por otro lado se puede realizar un acuerdo con industrias y mercados municipales para recolectar estos residuos orgánicos, sin necesidad de realizar una compra de los mismos.

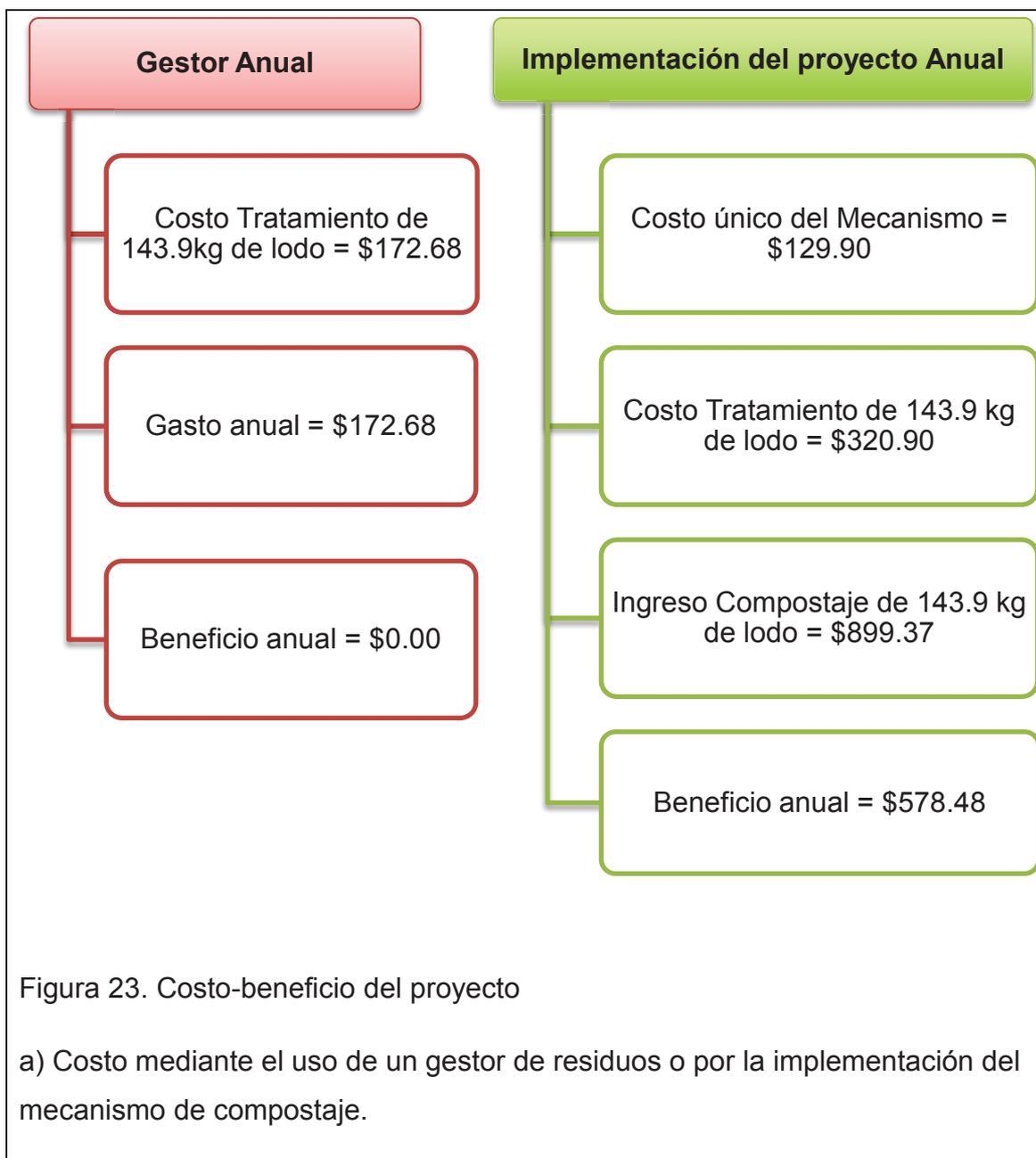
Al contener 1 litro de lodo diluido, 100 gramos de lodo sólido, en 15 litros se encuentran 1500 gramos. El costo del tratamiento de 1.5 kg de lodo residual con metales pesados es de \$3.35. Asimismo el valor del tratamiento de 1 kg de lodo es de \$2.23.

Según el Acuerdo Ministerial 0-26, una empresa se debe calificar como generador de residuos, al producir lodos activados, el cual es considerado como residuo peligroso. El ente regulatorio en el Ecuador es el MAE, el mismo que dará una multa referente a la cantidad de lodo emitido, y de acuerdo a los tipos de agentes químicos, o sustancias tóxicas que contenga este residuo. Es por ello que como referencia se mantiene el valor de la entrega de estos desechos al gestor de residuos peligrosos, para su debido tratamiento y disposición final, siendo el costo de \$1.20 por 1 kilogramo.

No se debe olvidar la ganancia que va a generarse por la venta de compost con materia prima como lodo tratado. Donde mediante el empleo del mejor experimento, se usaría inicialmente un volumen de base inicial de compost (BIC) de 4000 g, en el mismo que se encuentra el equivalente de 100 gramos de lodo sólido tratado, y donde más el complemento de 1000 g de Gallinaza, se forma una mezcla de 5000 g. Se debe tener en cuenta que durante el proceso de compostaje, la pila disminuye de tamaño (hasta un 50% en volumen) debido a la compactación y a la pérdida de carbono en forma de CO₂ (FAO, 2013). Es por ello que se espera un compost de aproximadamente 2,5 kg como resultado

final en el peor de los casos teniendo un error de pérdida de masa del 50%. Así se puede otorgar un costo estándar de \$1.00 por 4 kg de compost. No obstante esto se obtendría al compostar 8 kg y previamente al tratar 1600 g de lodo. Por ello el ingreso por el compostaje de 1 kg de lodo es \$6.25.

Con estas especificaciones se puede observar la figura 23, la cual detalla el costo-beneficio final de la implantación de este proyecto en la industria, según la pérdida y ganancia a nivel económico.



Cabe señalar que después de la adquisición del mecanismo de tratamiento de lodos el coste no se repite. Solamente el valor necesario para la adquisición de materiales para la formación de pellets. De igual manera el costo del mecanismo quedará totalmente devengado al compostar 32.31 kg de lodo tratado.

En una industria textil ecuatoriana se genera un promedio de 143.904 kg de biosólidos anuales. En los cuales por medio de la implementación del mecanismo de tratamiento de lodos y compostaje, añade un beneficio anual de \$578.48, de lo cual al realizar el pago del mecanismo se reduce el ingreso del primer año a \$448.58.

Además de esto se puede especificar los beneficios a nivel ambiental, por parte del compost, que son:

- Mejorar las propiedades físicas del suelo aumentando su porosidad.
- Mejora las propiedades químicas del suelo en nutrientes como N, P, K.
- Aumenta la fertilidad del suelo mediante el incremento de la población microbiana.
- Evita el uso de fertilizantes químicos.
- Evita la generación de metano en botaderos y rellenos sanitarios.
- Evita enfermedades cancerígenas al mitigar un contaminante nocivo para el ambiente e impedir la biomagnificación en cuerpos de agua, plantas y animales.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- Se logró determinar el tipo de tratamiento a usar para la remoción de contaminación inorgánica en un lodo proveniente de una PTAR de una industria textil, el cual fue a través de adsorción iónica de metales pesados. Donde se elaboraron pellets, los cuales son una manufactura creada manualmente, constituidos por materiales con gran afinidad de atracción con metales pesados, en los que se encuentran el carbón activado, zeolita activada, cal viva, EDTA y CMC, este último usado como sustancia adherente. Por medio de la atracción molecular entre cargas negativas y positivas, además de la formación de una capa formada por precipitados de grupos hidroxilos, fueron capturados los metales pesados, e hicieron que se produzca la descontaminación del lodo diluido. Llevando a niveles de metales por debajo de los límites máximos permisibles de descarga.
- Se implementó un proceso de compostaje a partir del lodo tratado previamente, mediante adsorción inorgánica a escala piloto. Se pudo analizar que un factor importante en el proceso de compostaje, es el sol, ya que además de aportar con luz para que se den ciertos procesos de oxidoreducción, ayuda a la eliminación de patógenos debido a la presencia de rayos UV. Además de ayudar al compost a incrementar sus temperaturas de forma más acelerada. Otra variable operacional significativa es la presencia de nitrógeno, que provee proteína para que los microorganismos descompongan el carbono, necesario para su generación de energía, que es indispensable para mantener estimulada su actividad biológica.
- El lodo proveniente de PTAR de industria textil fue caracterizado por medio de exámenes físico-químicos, donde se realizaron análisis fotométricos de metales pesados, nitrógeno, asimismo de pH. Donde las siguientes concentraciones (mg/L) fueron las iniciales: Al 0.24, Cd 0.07, Cu 3.64, Cr 1.253, N 1.1 y pH 8. Y los valores finales fueron: Al <0.12, Cd 0.05, Cu 1.51, Cr 0.4, N 1.1 y pH 13, lo que revela un alto aporte de nitrógeno por parte del biosólido, lo mismo que va a ayudar en la fijación de nitrógeno y

formación de nitratos y amonio que van a tomar las plantas para usarlo en su metabolismo, donde se usan estos átomos de nitrógeno en la síntesis de proteínas y ácidos nucleicos, luego los animales obtienen este elemento al alimentarse de estas plantas y finalmente el ser humano al ingerir dichas plantas o animales. Por otro lado el compost fue analizado durante todo su proceso de formación, donde se realizaron cuatro experimentos y la fórmula de mayor eficiencia que nos entregó el diseño experimental fue de 800 g de base inicial de compostaje y 200 g de gallinaza, específicamente la base inicial de compost (BIC) está formada por cachaza 200ml, cascarilla de arroz 1000g, gallinaza 1300g, poda 200g, lodo diluido tratado 1000ml, materia orgánica (residuos vegetales) 300g.

- Se desarrolló el análisis costo/beneficio de este mecanismo de adsorción de metales pesados y de compostaje. Donde además de aportar con ingresos a la empresa, este tratamiento de lodos y compostaje, ayuda a crear una conciencia ambiental a partir de trabajadores de la industria al incorporar ese mecanismo, sin olvidar cumplir con el reglamento estipulado para la generación de desechos peligrosos, como se cataloga a este residuo contenedor de metales pesados. El costo único del mecanismo es de \$129.90, el costo de tratamiento de 1kg de lodo es de \$2.23. Por otra parte el ingreso de la venta del compostaje de 1kg de lodo es de \$6.25. Cuyo beneficio final es de \$4.02 por cada kilogramo tratado.

Recomendaciones

- Dentro del proceso de tratamiento de lodos de PTAR de industria textil, se podría usar como adsorbente no convencional, de gran porosidad en su estructura interna y amplia área superficial, a las cáscaras de frutas como la naranja o el plátano, este último de mejor manera al existir una gran generación como residuos sólidos. De igual forma al ser un material con gran capacidad de adsorción de metales que necesita una mayor investigación dentro del campo de la descontaminación inorgánica.
- Los pellets usados como adsorbentes de metales pesados pueden aumentar o mantener su eficiencia, pero respecto al costo del material adherente, existe una gran posibilidad de encontrar un material semipermeable similar al CMC, ya que este incrementa el costo de forma excesiva respecto a los valores de los otros materiales usados en la adsorción.
- Respecto al mecanismo de adsorción y compostaje se recomienda el cambio de material del reactor, de acrílico a un material aislante que conserve el calor, y que junto al sol y al movimiento de volteo generado de forma manual, pueda crearse un microambiente donde sea más factible un metabolismo bacteriano, tanto de microorganismos mesófilos como de termófilos.

REFERENCIAS

- Abdel Salam, O. E., Reiad, N. A., & ElShafei, M. M. (2011). A study of the removal characteristics of heavy metals from wastewater by low-cost adsorbents. *Journal of Advanced Research*, 2(4), 297–303. <http://doi.org/10.1016/j.jare.2011.01.008>
- Addy, K., Green, L., & Herron, E. (2004). pH and Alkalinity. *Kingston: University of Rhode Island*. Recuperado el 10 de octubre de 2014 de <http://www.uri.edu/ce/wq/ww/Publications/pH%26alkalinity.pdf>
- Agudelo, L. M., Macías, K. I., & Suárez, A. J. (2012). Fitorremediación: la alternativa para absorber metales pesados de los biosólidos. Recuperado el 12 de septiembre de 2014 de <http://repository.lasallista.edu.co/dspace/handle/10567/332>
- Alsewailam, F. D., Aljlil, S. A., & others. (2013). Recycled Polymer/Clay Composites for Heavy-Metals Adsorption. *Materials Technology*, 47, 525–529.
- Amir, S., Hafidi, M., Merlina, G., & Revel, J.-C. (2005). Sequential extraction of heavy metals during composting of sewage sludge. *Chemosphere*, 59(6), 801–810. Recuperado el 8 de octubre de 2014 de <http://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2004.11.016>
- Awan, M. A., Qazi, I. A., & Khalid, I. (2003). Removal of heavy metals through adsorption using sand. *Journal of Environmental Sciences*, 15(3), 413–416.
- Becerril, J. M., Barrutia, O., Plazaola, J. I. G., Hernández, A., Olano, J. M., & Garbisu, C. (2007). Especies nativas de suelos contaminados por metales: aspectos ecofisiológicos y su uso en fitorremediación. Recuperado 16 de octubre de 2014 de <http://doi.org/10.7818/re.2014.16-2.00>
- Bohórquez, A., Puentes, Y. J., & Menjivar, J. C. (2014). Quality evaluation of compost produced from agro-industrial byproducts of sugar cane. *Corpoica Ciencia Y Tecnología Agropecuaria*, 15(1), 73–81.

- Calahorrano, V., & Javier, R. (2013). Validación del método analítico para la determinación de arsénico, mercurio y selenio por espectroscopía de absorción atómica con un sistema de generación de hidruros, en lixiviados con fines de acreditación en el laboratorio de Química Ambiental del OSP. Recuperado el 12 de septiembre de 2014 de <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/1867>
- Castillo, A. E., Quarín, S. H., & Iglesias, M. C. (2000). CARACTERIZACIÓN QUÍMICA Y FÍSICA DE COMPOST DE LOMBRICES ELABORADOS A PARTIR DE RESIDUOS ORGÁNICOS PUROS Y COMBINADOS. *Agricultura Técnica*, 60(1), 74–79. Recuperado el 12 de septiembre de 2014 de <http://doi.org/10.4067/S0365-28072000000100008>
- Dube, A., Zbytniewski, R., Kowalkowski, T., Cukrowska, E., & Buszewski, B. (2001). Adsorption and migration of heavy metals in soil. *Polish Journal of Environmental Studies*, 10(1), 1–10.
- Erdem, E., Karapinar, N., & Donat, R. (2004). The removal of heavy metal cations by natural zeolites. *Journal of Colloid and Interface Science*, 280(2), 309–314. Recuperado el 8 de noviembre de 2014 de <http://doi.org/10.1016/j.jcis.2004.08.028>
- Flores Flor, J. E., & Núñez Silva, I. A. (2006). Análisis del proceso de elaboración de compost con cuatro fuentes de materia orgánica animal (Bos taurus, Gallus gallus, Cavia porcellus, Ovis aries) en la hacienda El Prado 2005. Recuperado el 18 de septiembre de 2014 de <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/2561>
- García, O. N. (2006). Lodos residuales: estabilización y manejo. *Caos Conciencia*, 1, 51–58.
- Hegazi, H. A. (2013). Removal of heavy metals from wastewater using agricultural and industrial wastes as adsorbents. *HBRC Journal*, 9(3), 276–282. Recuperado el 10 de octubre de 2014 de <http://doi.org/10.1016/j.hbrcj.2013.08.004>
- Jakubus, M., & Czekala, J. (2001). Heavy metal speciation in sewage sludge. *Polish Journal of Environmental Studies*, 10(4), 245–250.

- Kamel, M. M., Ibrahm, M. A., Ismael, A. M., & El-Motaleeb, M. A. (2004). Adsorption of some heavy metal ions from aqueous solutions by using kaolinite clay. *Ass. Univ. Bull. Environ. Res*, 7(1), 101–109.
- Kanawade, S. M., & Gaikwad, R. W. (n.d.). Adsorption of heavy metals by activated carbon synthesized from solid wastes. Recuperado el 12 de septiembre de 2014 de <http://www.ijcea.org/papers/104-A603.pdf>
- Kiefer, R., & Höll, W. H. (2001). Sorption of Heavy Metals onto Selective Ion-Exchange Resins with Aminophosphonate Functional Groups. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 40(21), 4570–4576. Recuperado el 25 de octubre de 2014 de <http://doi.org/10.1021/ie010182I>
- Koopman, C., & Witkamp, G. J. (2002). Extraction of heavy metals from industrial phosphoric acid in a transverse flow hollow fiber membrane contactor. *Separation Science and Technology*, 37(6), 1273–1290. Recuperado el 16 de octubre de 2014 de <http://doi.org/10.1081/SS-120002611>
- Kosobucki, P., Chmarzynski, A., & Buszewski, B. (2000). Sewage sludge composting. *Polish Journal of Environmental Studies*, 9(4), 243–248.
- Larreategui, E., & Banchón, C. (2014). Un modelo matemático para la reducción del tiempo de compostaje. *Enfoque UTE*, 5(2), pp–29.
- Larreategui Rosales, R. E. (2013). Estudio comparativo en la producción de dos tipos de compost con residuos orgánicos en la pre-parroquia San Gabriel del Baba cantón Santo Domingo. Recuperado el 10 de septiembre de 2014 de <http://dspace.udla.edu.ec/handle/33000/2110>
- Massón, A., & Andrea, E. (2011). Evaluación de seis combinaciones de compost de material vegetal de rosas enriquecido con Machachi - CAT utilizando como planta indicadora la remolacha. Recuperado el 25 de noviembre de 2014 de <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/4932>
- Mohan, D., & Pittman, C. U. (2007). Arsenic removal from water/wastewater using adsorbents—A critical review. *Journal of Hazardous Materials*, 142(1-2), 1–53. Recuperado el 14 de septiembre de 2014 de <http://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2007.01.006>

- Morales, F. F. D. (2000). INDUSTRIAL, DE ALIMENTO, BIOMOLECULAR, BIOCOMBUSTIBLE Y BIOFARMACIA. Recuperado el 9 de diciembre de 2014 de <http://dspace.ucacue.edu.ec:8080/bitstream/reducacue/5229/4/Formas%20farmace%C3%BAticas%20I%C3%ADquidas%20de%20uso%20oral.pdf>
- Niña, I., Iorgulescu, M., Spiroiu, M. F., Ghiurea, M., Petcu, C., & Cinteza, O. (2007). The adsorption of heavy metal ions on porous calcium alginate microparticles. *Analele Universităţii Din Bucureşti–Chimie, Anul, 16*, 1.
- Ortiz, V., & Maribel, S. (2012). Tratamiento biológico de aguas residuales generadas en un Ingenio Azucarero - con la tecnología de lodos activados. Recuperado el 8 de octubre de 2014 de <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/864>
- Perez Holmberg, J. (2006). Competitive Adsorption and Displacement Behaviour of Heavy Metals on Peat. Recuperado el 10 de octubre de 2014 de <http://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/21678.pdf>
- PERMISIBLES, B.-E. Y. L. M. (n.d.). NORMA Oficial Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002, Protección ambiental.-Lodos y biosólidos.-Especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final.
- Peters, R. W. (1999). Chelant extraction of heavy metals from contaminated soils. *Journal of Hazardous Materials*, 66(1–2), 151–210. Recuperado el 17 de septiembre de 2014 de [http://doi.org/10.1016/S0304-3894\(99\)00010-2](http://doi.org/10.1016/S0304-3894(99)00010-2)
- Pinzón-Bedoya, M. L., & Tamayo, A. M. C. (2008). Caracterización de la cáscara de naranja para su uso como material bioadsorbente. *Revista BISTUA*, 6(1), 28–37.
- Renge, V. C., Khedkar, S. V., & Pande, S. V. (2012). Removal of heavy metals from waste water using low cost adsorbents: A Review. *Sci. Revs. Chem. Commun*, 2(4), 580–584.
- Salazar, M., Sánchez, M. A., & Aucatoma, B. (2006). Manejo de suelos y fertilizantes. *CINCAE. Informe Anual, 2005*, 40–46.

- Samiey, B., Cheng, C.-H., & Wu, J. (2014). Organic-Inorganic Hybrid Polymers as Adsorbents for Removal of Heavy Metal Ions from Solutions: A Review. *Materials*, 7(2), 673–726. Recuperado el 25 de octubre de 2014 de <http://doi.org/10.3390/ma7020673>
- Singh, S., Barick, K. C., & Bahadur, D. (2013). Functional Oxide Nanomaterials and Nanocomposites for the Removal of Heavy Metals and Dyes. *Environment*, 4, 5.
- Siuris, A. (2011). Properties of sewage sludge resulted from urban wastewater treatment in the Republic of Moldova. *Scientific Papers*, 103–108.
- Somasani, S. L. (2012). Removal of Heavy Metals from Drinking Water by Adsorption onto Limestone with a Focus on Copper and Aluminum Applications. Recuperado el 24 de septiembre de 2014 de <http://digitalcommons.wku.edu/theses/1204/>
- Soto, C., Gutiérrez, S., Rey, A., & González, E. (2010). Biotransformación de metales pesados presentes en lodos ribereños de los ríos Bogotá y Tunjuelo. *NOVA*, 8(14). Recuperado el 12 de septiembre de 2014 de <http://unicolmayor.edu.co/publicaciones/index.php/nova/article/view/161>
- Suárez, C., & Jaramillo, F. (2010). Recubrimiento de partículas empleando TiO₂. Retrieved from <http://aiquruguay.org/congreso/download/TL19.pdf>
- Torres, P., Pérez, A., Escobar, J. C., Uribe, I. E., & Imery, R. (2007). Plant biosolids composting of wastewater treatment. *Engenharia Agrícola*, 27(1), 267–275. Recuperado el 8 de octubre de 2014 de <http://doi.org/10.1590/S0100-69162007000100021>
- Trejos, M., & Agudelo, N. (2012). Propuesta para el aprovechamiento de lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales de la empresa “Comestibles La Rosa” como alternativa para la generación de biosólidos. Recuperado el 8 de octubre de 2014 de <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/handle/11059/2775>
- Vélez, J. A. (2012). Los biosólidos: ¿una solución o un problema? Recuperado el 25 de octubre de 2014 de <http://repository.lasallista.edu.co/dspace/handle/10567/532>

- Wang, S., Terdkiatburana, T., & Tadé, M. O. (2008). Single and co-adsorption of heavy metals and humic acid on fly ash. *Separation and Purification Technology*, 58(3), 353–358. Recuperado el 10 de octubre de 2014 de <http://doi.org/10.1016/j.seppur.2007.05.009>
- Wasewar, K. L. (2010). Adsorption of metals onto tea factory waste: a review. *Int. J. Res. Rev. Appl. Sci*, 3(3), 303.
- Wilson, J., Pulford, I., & Thomas, S. (2000). Adsorption of heavy metals by natural charcoal (bone charcoal): its potential as a water treatment cleanup. In *Breeding of the 11th Annual International Conference on Heavy Metals in the Environment, Contribution*. Recuperado el 4 de septiembre de 2014 de <http://www.cprm.gov.br/pgagem/Manuscripts/wilsonj.pdf>
- Zhang, H., Zhu, Z., Qiu, Y., Zhang, R., & Zhao, J. (2010). Extraction of Heavy Metals from Sewage Sludge with Phosphoric Acid. In *2010 4th International Conference on Bioinformatics and Biomedical Engineering (iCBBE)* (pp. 1–5). Recuperado el 7 de diciembre de 2014 de <http://doi.org/10.1109/ICBBE.2010.5517230>
- Zorpas, A. A., Arapoglou, D., & Panagiotis, K. (2003). Waste paper and clinoptilolite as a bulking material with dewatered anaerobically stabilized primary sewage sludge (DASPSS) for compost production. *Waste Management*, 23(1), 27–35.

ANEXOS

Anexo 1. Metodología del kit Macherey-Nagel Cadmio 2

REF 985 014

es

Test 0-14 **06.14**
NANOCOLOR® Cadmio 2

Método:

Determinación fotométrica mediante cadiona

Rango:	0,05–2,00 mg/L Cd ²⁺
Factor:	01.43
Longitud de onda (HW = 5–12 nm):	520 nm
Tiempo de reacción:	5 min (300 s)
Temperatura de reacción:	20–25 °C

Contenido del kit de reactivos:

20 tubos de test de Cadmio 2
 1 tubo de test con 5 mL de Cadmio 2 R2

Precauciones de seguridad:

Estos tubos de test no contienen ninguna sustancia peligrosa de obligada señalización.

Test preliminar:

Para asegurarse de la ausencia de agentes complejantes orgánicos interferentes en la muestra, aconsejamos realizar un test rastreo preliminar con NANOCOLOR® Agentes complejantes orgánicos 10 (REF 985 052).

Interferencias:

Se registran solamente iones Cd²⁺. Para la determinación del cadmio total debe realizarse previamente una descomposición con NANOCOLOR® NanOx Metal (REF 918 978), o con el kit de descomposición (REF 918 08).

No interfieren:

< 5 mg/L Fe²⁺, Fe³⁺, tensioactivos aniónicos, tensioactivos catiónicos;
 < 10 mg/L Al³⁺, Cu²⁺;
 < 1000 mg/L Ca²⁺, PO₄³⁻

El método es aplicable también para el análisis de agua de mar.

Procedimiento:

Accesorios requeridos: pipeta de émbolo con puntas

Muestra	Valor en blanco
Abrir el tubo de test. Añadir 4,0 mL de solución de muestra (<i>el valor del pH de la muestra debe estar situado entre pH 7 y 10</i>) y 200 µL (= 0,2 mL) de R2, cerrar y mezclar. Limpiar el tubo de test por la parte exterior y medir después de 5 min.	Abrir el tubo de test. Añadir 4,0 mL de agua destilada y 200 µL (= 0,2 mL) de R2, cerrar y mezclar. Limpiar el tubo de test por la parte exterior y medir después de 5 min.

Medición:

Para fotómetros NANOCOLOR® y PF-12 consulte el manual, test 0-14.

Para cada análisis es necesario preparar un valor en blanco.

Medición cuando las muestras son coloreadas o turbias:

Para todos los fotómetros NANOCOLOR® consulte el manual, utilice la tecla de corrección.

Fotómetros de otros fabricantes:

Con otros fotómetros comprobar si es posible la medición de tubos de test. Comprobar el factor para cada tipo de aparato mediante medición de los estándares.

Control de calidad:

NANOCONTROL Multitest Metales 1 (REF 925 015)

MACHEREY-NAGEL GmbH & Co. KG · Neumann-Neander-Str. 6-8 · 52355 Düren · Alemania
 Tel.: +49 24 21 989-0 · Fax: +49 24 21 989-199 · info@mn-net.com · www.mn-net.com

PD 14122 / A011869 / 985 014 / 0840.5

Anexo 2. Metodología del kit Macherey-Nagel Cobre 7

REF 985 054

Test 0-54 06.14
NANOCOLOR® Cobre 7

es

Método:

Determinación fotométrica con cuprizona [ácido oxálico bis(ciclohexilidenedridazida)]

Rango:	0,10–7,00 mg/L Cu ²⁺
Factor:	03.28
Longitud de onda (HW = 5–12 nm):	585 nm
Tiempo de reacción:	10 min (600 s)
Temperatura de reacción:	20–25 °C

Contenido del kit de reactivos:

20 tubos de test de Cobre 7

1 tubo de test con 6 mL de Cobre 7 R2

Precauciones de seguridad:

Estos tubos de test no contienen ninguna sustancia peligrosa de obligada señalización.

Test preliminar:

A fin de determinar la concentración aproximada de la sustancia que se busca en la muestra es aconsejable realizar, previamente un test con tiras reactivas QUANTOFIX® Cobre (10–300 mg/L Cu²⁺, REF 913 04) de cuyo resultado puede deducirse si es preciso diluir la muestra y en qué magnitud.

Para asegurarse de la ausencia de agentes complejantes orgánicos interferentes en la muestra, aconsejamos realizar un test rastreo preliminar con NANOCOLOR® Agentes complejantes orgánicos 10 (REF 985 052).

Interferencias:

No interfieren: ≤ 10 mg/L Co, Cr, Fe, Mn, Ni, Zn; ≤ 50 mg/L CO₃²⁻.

Solamente se determinan los iones Cu(II). El cobre total puede ser determinado mediante desintegración previa con NANOCOLOR® NanOx Metal (REF 918 978) o con el kit de desintegración (REF 918 08).

El método es aplicable también para el análisis de agua de mar.

Procedimiento:

Accesorios requeridos: pipeta de émbolo con puntas

Abrir el tubo de test. Añadir

4,0 mL de solución de muestra (el valor del pH de la muestra debe estar situado entre pH 1 y 13) y

200 µL (= 0,2 mL) de R2, cerrar y mezclar.

El valor del pH debe estar situado entre 8,5 y 9,5, de lo contrario añadir más R2.

Limpiar el tubo de test por la parte exterior y medir después de 10 min.

Medición:

Para fotómetros NANOCOLOR® y PF-12 consulte el manual, test 0-54.

Medición cuando las muestras son coloreadas o turbias:

Para todos los fotómetros NANOCOLOR® consulte el manual, utilice la tecla de corrección.

Fotómetros de otros fabricantes:

Con otros fotómetros comprobar si es posible la medición de tubos de test. Comprobar el factor para cada tipo de aparato mediante medición de los estándares.

Control de calidad:

NANOCONTROL Multitest Metales 2 (REF 925 016)

MACHEREY-NAGEL GmbH & Co. KG · Neumann-Neander-Str. 6–8 · 52355 Düren · Alemania
Tel.: +49 24 21 969-0 · Fax: +49 24 21 969-199 · info@mn-net.com · www.mn-net.com

PD 14122 / A011699 / 985 054 / 0842

Anexo 3. Metodología del kit Macherey-Nagel Hierro 3

REF 985 037

Test 0-37 02.15
NANOCOLOR® Hierro 3

es

Método:

Determinación fotométrica mediante difenil-piridil-triacina

	Tubo de test	Semi-micro cubeta 50 mm
Rango:	0,10–3,00 mg/L Fe	0,02–1,00 mg/L Fe
Factor:	02.12	00.56
Longitud de onda (HW = 5–12 nm):	540 nm	
Tiempo de reacción:	5 min (300 s)	
Temperatura de reacción:	20–25 °C	

Contenido del kit de reactivos:

20 tubos de test de Hierro 3
1 tubo de NANOFIX Hierro 3 R2

Precauciones de seguridad:

Los tubos de test contienen ácido acético 25–50 %.

H314 Provoca quemaduras graves en la piel y lesiones oculares.

P260, P280, P301+330+331, P303+361+353, P304+340, P305+351+338, P501 No respirar los vapores. Llevar guantes y gafas de protección. EN CASO DE INGESTIÓN: Enjuáguese la boca. NO provoque el vómito.

EN CASO DE CONTACTO CON LA PIEL (o el pelo): Quitar inmediatamente todas las prendas contaminadas.

Aclararse la piel con agua/ ducharse. EN CASO DE INHALACIÓN: Transportar a la persona al aire libre y mantenerla en una posición que le facilite la respiración. EN CASO DE CONTACTO CON LOS OJOS: Aclarar cuidadosamente con agua durante varios minutos. Quitar las lentes de contacto, si lleva y resulta fácil. Seguir aclarando. Elimínese el contenido/ recipiente de forma apropiada. Para más información, puede solicitar una ficha de datos de seguridad.

Test preliminar:

A fin de determinar la concentración aproximada de la sustancia que se busca en la muestra es aconsejable realizar, a priori, un test con Tiras Reactivas QUANTOFIX® Hierro total 100 (2–100 mg/L Fe, REF 913 44) de cuyo resultado puede deducirse si es preciso diluir la muestra y en qué magnitud.

Interferencias:

Los compuestos de hierro complejos no se determinan. Deben ser descompuestos antes de la determinación con NANOCOLOR® NanOx Metal (REF 918 978). Los agentes oxidantes interfieren en la determinación. No interfieren: ≤ 1 mg/L Co, Cu; ≤ 10 mg/L Cr, Mn, Ni, Zn.

El método es aplicable también para el análisis de agua de mar.

Procedimiento:

Accesorios requeridos: pipeta de émbolo con puntas

Abrir el tubo de test. Añadir

4,0 mL de solución muestra (el valor del pH de la muestra debe estar situado entre pH 2 y 12) y

1 NANOFIX R2, cerrarlo y mezclar.

(Cerrar el tubo de NANOFIX inmediatamente después de la adición.)

Limpiar el tubo de test por la parte exterior y medir después de 5 min.

Las concentraciones pequeñas de hierro (0,02–1,00 mg/L Fe) pueden determinarse con semi-micro cubetas 50 mm (REF 919 50):

Muestra	Valen en blanco
Abrir el tubo de test. Añadir	Abrir el tubo de test. Añadir
4,0 mL de solución muestra (el valor del pH de la muestra debe estar situado entre pH 2 y 12) y	4,0 mL de agua destilada y
1 NANOFIX R2, cerrarlo y mezclar.	1 NANOFIX R2, cerrarlo y mezclar.
(Cerrar el tubo de NANOFIX inmediatamente después de la adición.)	(Cerrar el tubo de NANOFIX inmediatamente después de la adición.)

Verter el contenido de los tubos de test en semi-micro cubetas 50 mm y medir después de 5 min [método 1371].

Medición:

Para fotómetros NANOCOLOR® y PF-12 consulte el manual, test 0-37.

Advertencia:

El método descrito determina el hierro disuelto y los compuestos de hierro fácilmente solubles. Para la diferenciación entre el hierro total y el hierro disuelto recomendamos los siguientes métodos:

- Determinación del hierro disuelto tras filtración con el dispositivo de filtro de membrana 0,45 μ m (REF 916 50)
- Determinación del hierro total tras descomposición con NANOCOLOR® NanOx Metal (REF 918 978) o Kit de Descomposición (REF 918 08)

Fotómetros de otros fabricantes:

Con otros fotómetros comprobar si es posible la medición de tubos de test. Comprobar el factor para cada tipo de aparato mediante medición de los estándares.

Control de calidad:

NANOCONTROL Multitest Metales 1 (REF 925 015)

MACHEREY-NAGEL GmbH & Co. KG · Neumann-Neander-Str. 6–8 · 52355 Düren · Alemania

Tel.: +49 24 21 969-0 · Fax: +49 24 21 969-199 · info@mn-net.com · www.mn-net.com

PD 14122 / A011695 / 985 037 / 0253

Anexo 4. Metodología del kit Macherey-Nagel Zinc

REF 985 096

Test 0-96 08.14
NANOCOLOR® Cinc 4

es

Método:

Determinación fotométrica mediante cincón

Rango:	0,10–4,00 mg/L Zn ²⁺
Factor:	02.08
Longitud de onda (HW = 5–12 nm):	620 nm
Tiempo de reacción:	1 min (60 s)
Temperatura de reacción:	20–25 °C

Contenido del kit de reactivos:

- 20 tubos de test de Cinc 4
- 1 tubo de test con 5 mL de Cinc 4 R2
- 1 frasco con 3 g de Cinc 4 R3
- 1 cuchara de medición 85 mm

Precauciones de seguridad:

Los tubos de test contienen 20 x 40 mg sodio tetraborato 30–60 % y cianuro potásico 7–15 %, el reactivo R2 contiene hidrato de cloral 20–100 %, el reactivo R3 contiene hidrógeno peróxido-urea 20–80 %, H300, H310, H318, H330, H360 Mortal en caso de ingestión. Mortal en contacto con la piel. Provoca lesiones oculares graves. Mortal si se inhala. Puede perjudicar la fertilidad o dañar al feto. P201, P202, P260, P262, P264, P271, P280, P301+310, P302+352, P304+340, P305+351+338, P308+313, P330, P361+364, P403+233, P405, P501 Pida instrucciones especiales antes de usar. No manipule la sustancia antes de haber leído y comprendido todas las precauciones de seguridad. No respire el polvo o los vapores. Evítese el contacto con los ojos, la piel o la ropa. Lavarse con agua concienzudamente tras la manipulación. Emplear únicamente en exteriores o en un lugar bien ventilado. Llevar guantes y gafas de protección. EN CASO DE INGESTIÓN: Llamar inmediatamente a un CENTRO DE TOXICOLOGÍA/médico/... EN CASO DE CONTACTO CON LA PIEL: Lavar con abundante agua/... EN CASO DE INHALACIÓN: Transportar a la persona al aire libre y mantenerla en una posición que le facilite la respiración. EN CASO DE CONTACTO CON LOS OJOS: Aclarar cuidadosamente con agua durante varios minutos. Quitar las lentes de contacto, si lleva y resulta fácil. Seguir aclarando. EN CASO DE exposición manifiesta o presunta: Consulte a un médico. Enjuáguese la boca. Quitar inmediatamente todas las prendas contaminadas y lavarlas antes de volver a usarlas. Almacenar en un lugar bien ventilado. Mantener el envase cerrado herméticamente. Guardar bajo llave. Elimínese el contenido/recipiente de forma apropiada. Para más información, puede solicitar una ficha de datos de seguridad.

Interferencias:

En muestras ácidas, alcalinas y tamponadas medir el pH tras la adición de la muestra (nominal: pH 8,5–9,5) y si es necesario ajustarlo a pH 9. En el caso de que aparezca turbidez después de la adición de la muestra, usar esta solución **antes** de la adición de R2, para el ajuste del cero. Después, añadir el reactivo R2 y realizar la determinación de cinc. Si hubiera mucha turbidez, deberá filtrarse el precipitado con la ayuda de un filtro de membrana (REF 916 50).

No interfieren: < 5000 mg/L Ca²⁺; < 1000 mg/L SO₄²⁻; < 500 mg/L Cr(VI);
< 250 mg/L Mg²⁺; < 50 mg/L PO₄³⁻; < 10 mg/L Al³⁺, Ni²⁺;
< 5 mg/L Cr(III), Cu²⁺, Fe³⁺; < 0,5 mg/L Cd²⁺; < 0,1 mg/L Mn

Para la determinación de cinc, si hay una gran cantidad de manganeso presente, contacte con MACHEREY-NAGEL para obtener instrucciones especiales de trabajo.

Para la determinación de cinc total debe procederse previamente a una descomposición con NANOCOLOR® NanOx Metal (REF 918 978) o con el Kit de Descomposición (REF 918 08). Generalmente la determinación se deberá realizar frente a un ensayo en blanco.

El método es aplicable también para el análisis de agua de mar tras dilución (1+1).

Procedimiento:

Accesorios requeridos: pipeta de émbolo con puntas

Abrir el tubo de test. Añadir
4,0 mL de solución de muestra (el valor del pH de la muestra debe estar situado entre pH 3 y 10) y disolver completamente los reactivos. Añadir
200 µL (= 0,2 mL) de R2, cerrarlo y mezclar.
Limpiar el tubo de test por la parte exterior y medir después de 1 min.

Medición:

Para fotómetros NANOCOLOR® y PF-12 consulte el manual, test 0-96.

Medición cuando las muestras son coloreadas o turbias:

Para todos los fotómetros NANOCOLOR® consulte el manual, utilice la tecla de corrección.

Fotómetros de otros fabricantes:

Con otros fotómetros comprobar si es posible la medición de tubos de test. Comprobar el factor para cada tipo de aparato mediante medición de los estándares.

Control de calidad:

NANOCONTROL Multitest Metales 1 (REF 925 015)

Eliminación:

Tras la determinación añadir 1 cucharada de Cinc 4 R3 en el tubo de test, para descontaminar el contenido.

MACHEREY-NAGEL GmbH & Co. KG · Neumann-Neander-Str. 6–8 · 52355 Düren · Alemania
Tel.: +49 24 21 969-0 · Fax: +49 24 21 969-199 · info@mn-net.com · www.mn-net.com

PD 14122 / A011707 / 985 096 / 0843

Anexo 5. Metodología del kit Macherey-Nagel Cromo total 2

REF 985 059

Test 0-59

02.14

es

NANOCOLOR® Cromo total 2

Método:

Descomposición oxidativa en el bloque calefactor y determinación fotométrica mediante difenilcarbazida

Rango:	tubo de test 0,05–2,00 mg/L Cr	semi-micro cubeta 50 mm 0,005–0,500 mg/L Cr
Factor:	00,94	0,251
Longitud de onda (HW = 5–12 nm):	540 nm	
Descomposición:	30 min a 120 °C / 60 min a 100 °C	
Tiempo de reacción:	5 min (300 s) a 20–25 °C	

Contenido del kit de reactivos:

Bulto A: 20 tubos de test vacíos

- 1 frasco con 5 g de Cromo total 2 R1
- 1 cuchara de medición 85 mm, naranja

Bulto B: 20 tubos de test de Cromo total 2

Aunque el contenido del tubo de test Cromo total 2 tuviera un color rosado, ello no influye en la determinación.

Precauciones de seguridad:

El reactivo R1 contiene peroxodisulfato de sodio 20–100 %.

H317, H334 Puede provocar una reacción cutánea alérgica. Puede provocar síntomas de alergia o asma o dificultades respiratorias si se inhala.

P261, P272, P280, P302+352, P304+340, P333+313, P342+311, P362 Evítense respirar el polvo. Las prendas de trabajo contaminadas no deben salir del lugar de trabajo. Llevar guantes y gafas de protección. EN CASO DE CONTACTO CON LA PIEL: Lavar con agua y jabón abundantes. EN CASO DE INHALACIÓN: Transportar a la persona al exterior y mantenerla en reposo en una posición confortable para respirar. En caso de irritación cutánea o sarpullido: Consulte a un médico. En caso de síntomas respiratorios: Llame a un CENTRO DE INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA o a un médico. Quítense las prendas contaminadas y lávelas antes de volverlas a utilizar. Para más información puede solicitar una ficha de datos de seguridad.

Interferencias:

No interfiere: < 1000 mg/L Cl⁻.

El método no es aplicable para el análisis de agua de mar.

Advertencia:

El valor del pH de la muestra a descomponer debe estar situado entre 1 y 10, o regularlo con lejía de sosa o ácido sulfúrico. Diluir la muestra previamente hasta regularla al rango del test. En el caso de aguas de concentración desconocida, como medida de seguridad se recomienda realizar el test con diluciones muy distintas (1+9, 1+99), hasta que la última dilución confirme el valor previo. En muestras que consuman grandes cantidades de agentes oxidantes (p. ej. con valores COD superiores a 1000 mg/L O₂) existe el peligro de una descomposición incompleta. En tales casos se debe repetir la descomposición con la muestra original previamente diluida.

Procedimiento:

Accesorios requeridos: NANOCOLOR® bloque calefactor, pipeta de émbolo con puntas

A) Descomposición (bulto A)

Abrir el tubo de test vacío, añadir 5,0 mL de solución de muestra (el valor del pH de la muestra debe estar situado entre pH 1 y 10) y 1 cuchara rasa naranja de reactivo R1, cerrarlo y agitar bien. Colocar el tubo de test en el bloque calefactor y calentar durante 30 min a 120 °C o 1 h a 100 °C. Sacar del bloque calefactor, agitar brevemente y dejar enfriar. ¡La solución obtenida después de la digestión debe ser transparente e incolora! En caso contrario, realizar otra digestión. Voltear el tubo una vez, seguidamente abrirlo y verificar con las tiras reactivas QUANTOFIX Peróxido 25 (REF 913 19) que la solución no contenga peróxidos. En caso de detectar peróxidos en la solución, caliéntese ésta de nuevo en el bloque calefactor, esta vez SIN agregar el reactivo R1.
→ solución de descomposición

B) Análisis (bulto B)

Abrir el tubo de test Cromo total. Añadir 4,0 mL de solución de descomposición, cerrar y mezclar. Limpiar el tubo de test por la parte exterior y medir después de 5 min.

Las concentraciones pequeñas de cromo (0,005–0,500 mg/L Cr) pueden determinarse con semi-micro cubetas 50 mm (REF 919 50):

Muestra	Valor en blanco
Abrir el tubo de test Cromo total. Añadir 4,0 mL de solución de descomposición, cerrar y mezclar.	Abrir el tubo de test Cromo total. Añadir 4,0 mL de agua destilada, cerrar y mezclar.

Verter el contenido de los tubos de test en semi-micro cubetas 50 mm y medir después de 5 min [método 1591].

Para medir con precisión en el rango bajo, la determinación se deberá realizar frente a un ensayo en blanco (solución de muestra = agua destilada).

Medición:

Para fotómetros NANOCOLOR® y PF-12 ver el manual, test 0-59.

Fotómetros de otros fabricantes:

Con otros fotómetros comprobar si es posible la medición de tubos de test. Debe comprobarse el factor para cada tipo de aparato mediante medición de los estándares.

Control de calidad:

NANOCONTROL Multitest Metales 1 (REF 925 015)

MACHEREY-NAGEL GmbH & Co. KG · Neumann-Neander-Str. 6–8 · 52355 Düren · Alemania
Tel.: +49 24 21 969-0 · Fax: +49 24 21 969-199 · info@mn-net.com · www.mn-net.com

PD 14122 / AD45498 / 985 059 / 0240.5

Anexo 6. Metodología del kit Macherey-Nagel Aluminio

REF 985 098

es

Test 0-98 12.13
NANOCOLOR® Aluminio 07

Método:

Determinación fotométrica con eriocromo cianina R

Rango:	0,02–0,70 mg/L Al ³⁺
Factor:	00,44
Longitud de onda (HW = 5–12 nm):	540 nm
Tiempo de reacción:	5 min (300 s)
Temperatura de reacción:	20–25 °C

Contenido del kit de reactivos:

19 tubos de test de Aluminio 07 con NANOFIX
1 tubo de test con 11 mL de Aluminio 07 R2
1 tubo de test con 11 mL de Aluminio 07 R3
1 tubo de test con 11 mL de Aluminio 07 R4
1 tubo de test con solución neutra "NULL"

Precauciones de seguridad:

Estos tubos de test no contienen ninguna sustancia peligrosa de obligada señalización.

Test preliminar:

A fin de determinar la concentración aproximada de la sustancia que se busca en la muestra es aconsejable realizar previamente un test con QUANTOFIX® Aluminio (5–500 mg/L Al³⁺, REF 913 07) de cuyo resultado puede deducirse si es preciso diluir la muestra y en qué magnitud.

Interferencias:

El fluoruro interfiere.

Las muestras turbias deben ser filtradas (filtro de membrana de 0,45 µm, REF 916 50). El aluminio total puede ser determinado tras desintegración con NANOCOLOR® NanOx Metal (REF 918 978) en microondas.

No interfieren:

≤ 100 mg/L SiO₂
≤ 10 mg/L Cu²⁺, Fe^{2/3+}, Mn²⁺, Ni²⁺, Zn²⁺
≤ 5 mg/L Cr³⁺, Cd²⁺
≤ 1 mg/L Co²⁺

El método es aplicable también para el análisis de agua de mar.

Procedimiento:

Accesorios requeridos: pipeta de émbolo con puntas

Abrir el tubo de test. Añadir
500 µL (= 0,5 mL) de R2,
500 µL (= 0,5 mL) de R3 y
4,0 mL de solución de muestra (el valor del pH de la muestra debe estar situado entre pH 3 y 6), cerrar y mezclar.
Añadir
500 µL (= 0,5 mL) de R4, cerrar y mezclar.
Limpiar el tubo de test por la parte exterior y medir después de 5 min.
Regular el fotómetro a cero con solución neutra "NULL".

Medición:

Para fotómetros NANOCOLOR® y PF-12 ver el manual, test 0-98.

Medición cuando las muestras son coloreadas o turbias:

Para todos los fotómetros NANOCOLOR® consulte el manual, utilice la tecla de corrección.

Fotómetros de otros fabricantes:

Con otros fotómetros comprobar si es posible la medición de tubos de test. Debe comprobarse el factor para cada tipo de aparato mediante medición de los estándares. El factor depende en gran medida de la longitud de onda.

Control de calidad:

NANOCONTROL Multitest Agua potable (REF 925 018)

MACHEREY-NAGEL GmbH & Co. KG · Neumann-Neander-Str. 6–8 · 52355 Düren · Alemania
Tel.: +49 24 21 969-0 · Fax: +49 24 21 969-199 · info@mn-net.com · www.mn-net.com

PD 14122 / A025134 / 985 098 / 1231

Anexo 7. Metodología del kit Macherey-Nagel Plomo 5

REF 985 009

es

Test 0-09 01.15
NANOCOLOR® Plomo 5

Método:

Determinación fotométrica de plomo con 4-(piridil-2-azo)-resorcina (PAR)

Rango:	0,10–5,00 mg/L Pb ²⁺
Factor:	04,65
Longitud de onda (HW = 5–12 nm):	520 nm
Tiempo de reacción:	3 min (180 s)
Temperatura de reacción:	20–25 °C

Contenido del kit de reactivo:

- 20 tubos de test Plomo 5
- 1 tubo de test con 5 mL de Plomo 5 R2
- 1 tubo de NANOFIX Plomo 5 R3
- 1 tubo de test de solución neutra "NULL"

Precauciones de seguridad:

Los tubos de test contienen cianuro potásico 1–7 %, el reactivo R2 contiene hidroxilamonio cloruro 5–10 %. H301, H311, H317, H331, H351 Tóxico en caso de ingestión. Tóxico en contacto con la piel. Puede provocar una reacción cutánea alérgica. Tóxico si se inhala. Se sospecha que provoca cáncer. P201, P202, P261, P272, P280, P301+310, P302+352, P304+340, P308+313, P311, P330, P333+313, P361+364, P405, P501 Pida instrucciones especiales antes de usar. No manipule la sustancia antes de haber leído y comprendido todas las precauciones de seguridad. Evítese respirar el polvo. Las prendas de trabajo contaminadas no deben salir del lugar de trabajo. Llevar guantes y gafas de protección. EN CASO DE INGESTIÓN: Llamar inmediatamente a un CENTRO DE TOXICOLOGÍA/médico/... EN CASO DE CONTACTO CON LA PIEL: Lavar con abundante agua/... EN CASO DE INHALACIÓN: Transportar a la persona al aire libre y mantenerla en una posición que le facilite la respiración. EN CASO DE exposición manifiesta o presunta: Consulte a un médico. Llamar a un CENTRO DE TOXICOLOGÍA/médico/... Enjuáguese la boca. En caso de irritación cutánea o sarpullido: Consulte a un médico. Quitar inmediatamente todas las prendas contaminadas y lavarlas antes de volver a usarlas. Guardar bajo llave. Elimínese el contenido/recipiente de forma apropiada. Para más información puede solicitar una ficha de datos de seguridad.

Interferencias:

En el procedimiento B no interfieren:

- < 1000 mg/L de acetato, fosfato
- < 100 mg/L de cadmio, cloruro, amonio, cobre, níquel, nitrato, tiocianato, sulfato, zinc, peróxido
- < 50 mg/L de aluminio, cromo(VI), nitrato
- < 1 mg/L de hierro(II), hierro(III), cromo(III)
- < 0,1 mg/L de EDTA

Solamente se determinan los iones Pb²⁺. Para la determinación del plomo total debe realizarse una desintegración previa el kit de desintegración (REF 918 08).

El método no es aplicable para el análisis de agua de mar.

Procedimiento:

Accesorios requeridos: pipeta de émbolo con puntas

Procedimiento A: no están presentes otros iones (p. ej. calcio)

Valor de medición A

Abrir el tubo de test. Añadir
0,2 mL de R2 y mezclar. Añadir
4,0 mL de solución de muestra (el valor del pH de la muestra debe estar situado entre pH 3 y 6), cerrar y mezclar.
Limpiar el tubo de ensayo por la parte exterior y medir después de 3 min.
Regular el fotómetro a cero con solución neutra "NULL".

Advertencia:

En caso de que se excedan los valores de medición en el procedimiento A, la muestra debe ser diluida al rango de medición.

Procedimiento B: con posibles interferencias de otros iones (p. ej. calcio)

Valor de medición B

Llevar la muestra A al fotómetro y regular éste a cero.
Abrir la muestra A. Añadir
1 NANOFIX R3, cerrar y mezclar.
Limpiar el tubo de test por la parte exterior y medir después de 3 min.

Medida:

Para fotómetros NANOCOLOR® y PF-12 consulte el manual, test 0-09.

Fotómetros de otros fabricantes:

Con otros fotómetros comprobar si es posible la medición de tubos de ensayo. Comprobar el factor para cada tipo de aparato mediante medición de los estándares.

Control de calidad:

NANOCONTROL Multitest Metales 2 (REF 925 016)

MACHEREY-NAGEL GmbH & Co. KG · Neumann-Neander-Str. 6–8 · 52355 Düren · Alemania
Tel.: +49 24 21 969-0 · Fax: +49 24 21 969-199 · info@mn-net.com · www.mn-net.com

PD 14122 / A011688 / 985 009 / 0150.5

Anexo 8. Metodología del kit Macherey-Nagel Plata

REF 985 049

es

Test 0-49 07.14
NANOCOLOR® Plata 3

Método:

Los iones de plata forman con un indicador un colorante azul.

	Tubo de test	Semi-micro cubeta 50 mm
Rango:	0,20–3,00 mg/L Ag ⁺	0,08–0,50 mg/L Ag ⁺
Factor:	03.90	no lineal
Longitud de onda (HW = 5–12 nm):	620 nm	
Tiempo de reacción:	10 min (600 s)	
Temperatura de reacción:	20–25 °C	

Contenido del kit de reactivos:

- 20 tubos de test de Plata 3
- 1 tubo de test con 11 mL de Plata 3 R2
- 1 tubo de test con 11 mL de Plata 3 R3

Precauciones de seguridad:

Estos tubos de test no contienen ninguna sustancia peligrosa de obligada señalización.

Interferencias:

Los compuestos de plata como bromuro de plata, cloruro de plata, yoduro de plata, cianuro de plata o tiocianato de plata no se determinan. Para su determinación debe procederse previamente a una descomposición con NANOCOLOR® NanOx Metal (REF 918 978).

No interfieren:

- < 1000 mg/L Pb²⁺, F⁻, NO₃⁻, SO₄²⁻
- < 500 mg/L PO₄³⁻
- < 200 mg/L Mn²⁺, Ni²⁺
- < 100 mg/L Al³⁺, Cr(III)
- < 50 mg/L Cd²⁺
- < 20 mg/L Ca²⁺, Cu²⁺, Fe³⁺, Hg²⁺, Mg²⁺, Zn²⁺
- < 10 mg/L Cr(VI), Mo(VI)

El método no es aplicable al análisis de agua de mar.

Procedimiento:

Accesorios requeridos: pipeta de émbolo con puntas

- Abrir el tubo de test. Añadir
- 500 µL (= 0,5 mL) de R2 y
- 4,0 mL de solución de muestra (el valor del pH de la muestra debe estar situado entre pH 3 y 9), cerrar y mezclar.
- Añadir
- 500 µL (= 0,5 mL) de R3, cerrar y mezclar.
- Limpiar el tubo de test por la parte exterior y medir después de 10 min.

Las concentraciones pequeñas de plata (0,08–0,50 mg/L Ag⁺) pueden determinarse con semi-micro cubetas 50 mm (REF 919 50):

Muestra	Valor en blanco
Abrir el tubo de test. Añadir	Abrir el tubo de test. Añadir
500 µL (= 0,5 mL) de R2 y	500 µL (= 0,5 mL) de R2 y
5,0 mL de solución de muestra (el valor del pH de la muestra debe estar situado entre pH 3 y 9), cerrar y mezclar.	5,0 mL de agua destilada, cerrar y mezclar.
Añadir	Añadir
500 µL (= 0,5 mL) de R3, cerrar y mezclar.	500 µL (= 0,5 mL) de R3, cerrar y mezclar.

Verter el contenido de los tubos de test en semi-micro cubetas 50 mm y medir después de 10 min [método 1491].

Medición:

Para fotómetros NANOCOLOR® ver el manual, test 0-49.

Medición cuando las muestras son coloreadas o turbias:

Para todos los fotómetros NANOCOLOR® consulte el manual, utilice la tecla de corrección.

Fotómetros de otros fabricantes:

Con otros fotómetros comprobar si es posible la medición de tubos de test. Debe comprobarse el factor para cada tipo de aparato mediante medición de los estándares.

MACHEREY-NAGEL GmbH & Co. KG · Neumann-Neander-Str. 6–8 · 52355 Düren · Alemania
Tel.: +49 24 21 969-0 · Fax: +49 24 21 969-199 · info@mn-net.com · www.mn-net.com

PD 14122 / A034965 / 985 049 / 0740.3

Anexo 9. Metodología del kit Macherey-Nagel Nitrógeno total

REF 985 083

Test 0-83

07.14

es

NANOCOLOR® Nitrógeno total TN₀ 22

Método:

Descomposición oxidativa en el bloque calefactor con posterior compensación de interferencias y determinación fotométrica con 2,6-dimetilfenol en una mezcla de ácido sulfúrico / ácido fosfórico

Rango:	0,5–22,0 mg/L N	0,5–22,0 mg/L N
Factor:	031,9–040,0	019,4
Longitud de onda (HW = 5–17 nm):	385 nm	365 nm
Descomposición:	30 min a 120 °C / 60 min a 100 °C	
Tiempo de reacción:	10 min (600 s) a 20–25 °C	

Contenido del kit de reactivos:

Bulto A: 20 tubos de descomposición
1 tubo de NANOFIX reactivo de compensación

Bulto B: 20 tubos de test Nitrógeno total TN₀ 22
1 tubo de test con 11 mL NO₂/N R2

Precauciones de seguridad:

Los tubos de descomposición contienen potasio peroxodisulfato 20–100% y sodio carbonato 20–100%, el reactivo de compensación contiene sodio sulfito 20–100%, los tubos de test contienen ácido sulfúrico 51–80% y ácido fosfórico 25–50%, el reactivo R2 contiene 2-propanol 20–50%.

H314, H317, H334 Provoca quemaduras graves en la piel y lesiones oculares. Puede provocar una reacción cutánea alérgica. Puede provocar síntomas de alergia o asma o dificultades respiratorias si se inhala.

P260, P261, P272, P280, P301+330+331, P302+352, P303+361+353, P304+340, P305+351+338, P333+313, P342+311, P363, P501 No respirar los vapores. Evítense respirar el polvo. Las prendas de trabajo contaminadas no deben salir del lugar de trabajo. Llevar guantes y gafas de protección. EN CASO DE INGESTIÓN: Enjuáguese la boca. NO provoque el vómito. EN CASO DE CONTACTO CON LA PIEL: Lavar con abundante agua / ... EN CASO DE CONTACTO CON LA PIEL (o el pelo): Quitar inmediatamente todas las prendas contaminadas. Aclararse la piel con agua / ducharse. EN CASO DE INHALACIÓN: Transportar a la persona al aire libre y mantenerla en una posición que le facilite la respiración. EN CASO DE CONTACTO CON LOS OJOS: Aclarar cuidadosamente con agua durante varios minutos. Quitar las lentes de contacto, si lleva y resulta fácil. Seguir aclarando. En caso de irritación cutánea o sarpullido: Consulte a un médico. En caso de síntomas respiratorios: Llamar a un CENTRO DE TOXICOLOGÍA / médico / ... Lave las prendas contaminadas antes de volverlas a utilizar. Elimínese el contenido / recipiente de forma apropiada. Para más información, puede solicitar una ficha de datos de seguridad.

Interferencias:

No interfiere: < 1000 mg/L Cl⁻.

El método no es aplicable para el análisis de agua de mar.

Advertencia:

El valor del pH de la muestra a descomponer debe estar situado entre 5 y 9, o regularlo con lejía de sosa o ácido sulfúrico. Concentraciones de nitrógeno fuera del doble rango de medición pueden simular resultados situados dentro del rango de medición, y ser con ello interpretados erróneamente. Diluir la muestra previamente hasta regularla al rango del test. En el caso de aguas de concentración desconocida, como medida de seguridad se recomienda realizar el test con diluciones muy distintas (1+9, 1+99), hasta que la última dilución confirme el valor previo. En muestras que consuman grandes cantidades de agentes oxidantes (p. ej. con valores COD superiores a 1000 mg/L O₂) existe el peligro de una descomposición incompleta. En tales casos se debe repetir la descomposición con la muestra original previamente diluida.

Procedimiento:

Accesorios requeridos: NANOCOLOR® bloque calefactor, pipeta de émbolo con puntas

A) Descomposición (bulto A)

Abrir el tubo de descomposición, añadir

5,0 mL de solución de muestra (el valor del pH debe estar situado entre pH 5 y 9), cerrarlo y agitar bien. Colocar el tubo de descomposición en el bloque calefactor y calentar durante 30 min a 120 °C o 1 h a 100 °C.

Sacar del bloque calefactor, agitar brevemente y dejar enfriar.

Abrir el tubo de descomposición, añadir

1 NANOFIX reactivo de compensación, cerrarlo y agitar bien.
→ solución de descomposición.

B) Análisis (bulto B)

Abrir el tubo de test Nitrógeno total TN₀ 22, añadir

0,5 mL de solución de descomposición y
0,5 mL de R2, cerrar y mezclar volteándolo varias veces.

Limpieza del tubo de test por la parte exterior y medir después de 10 min.

Medición:

Para fotómetros NANOCOLOR® y PF-12 ver el manual, test 0-83.

Para medir con precisión en el rango bajo, la determinación se deberá realizar frente a un ensayo en blanco (solución de muestra = agua destilada).

Fotómetros de otros fabricantes:

Con otros fotómetros comprobar si es posible la medición de tubos de test. Comprobar el factor para cada tipo de aparato mediante medición de los estándares.

Control de calidad:

NANOCONTROL Multitest Salida depuradora 2 (REF 925 010)

MACHEREY-NAGEL GmbH & Co. KG · Neumann-Neander-Str. 6–8 · 52355 Düren · Alemania

Tel.: +49 24 21 969-0 · Fax: +49 24 21 969-199 · info@mn-net.com · www.mn-net.com

PD 14122 / A011704 / 985 083 / 0748

Anexo 10. Resultados de mediciones de parámetros del experimento 1 durante el compostaje

Experimento 1	pH	Temperatura	Humedad	S/V
Día 1	8,2	23,6	91,30%	40,51%
Día 2	8,5	23,9		
Día 3	8,6	24	91,30%	
Día 4	9,19	23,3		
Día 5	9,2	22,3	88,20%	
Día 6	9,31	22,4		
Día 7	9,1	22,8	85,62%	
Día 8	8,82	24,2		
Día 9	8,7	22,8	81,32%	
Día 10	8,69	23,7		
Día 11	8,72	22,2	84,13%	
Día 12	8,78	22,8		
Día 13	8,63	22,3	83,82%	
Día 14	7,76	22,7		
Día 15	7,78	23,4	84,56%	
Día 16	7,66	24,3		
Día 17	7,42	24,6	78,36%	38,78%
Día 18	7,51	24,1		
Día 19	7,44	25,2	77,89%	
Día 20	7,42	24,2		
Día 21	7,47	25,3	76,11%	
Día 22	7,46	26,1		
Día 23	7,31	26,6	70,47%	
Día 24	7,12	27,2		
Día 25	7,04	27,7	74,54%	
Día 26	6,86	28,9		
Día 27	6,51	31,2	72,13%	
Día 28	6,24	31,1		
Día 29	5,99	32,6	67,95%	
Día 30	5,12	33,3		
Día 31	5,01	32,8	61,26%	
Día 32	4,89	34,7		
Día 33	4,62	31,3	60,38%	
Día 34	4,51	29,2		
Día 35	4,38	27,5	63,40%	30,34%

Anexo 11. Resultados de mediciones de parámetros del experimento 2 durante el compostaje

Experimento 2	pH	Temperatura	Humedad	S/V
Día 1	8,2	23,6	91,30%	40,51%
Día 2	8,5	23,9		
Día 3	8,6	24	91,30%	
Día 4	9,19	23,3		
Día 5	9,2	22,3	88,44%	
Día 6	9,61	22,6		
Día 7	9,44	22,8	86,53%	
Día 8	9,37	23,1		
Día 9	9,33	22,4	84,22%	
Día 10	9,46	22,6		
Día 11	9,12	24,5	75,46%	
Día 12	9,11	25,3		
Día 13	9,2	26,7	74,55%	
Día 14	8,97	28,9		
Día 15	8,68	32,3	74,10%	
Día 16	8,56	33,6		
Día 17	8,79	33,4	68,88%	30,25%
Día 18	8,62	33,6		
Día 19	8,65	34,1	62,12%	
Día 20	8,42	36,2		
Día 21	8,43	35,8	59,98%	
Día 22	8,13	35,2		
Día 23	7,92	36,7	55,93%	
Día 24	7,84	39,3		
Día 25	7,65	40,6	53,13%	
Día 26	7,28	42,1		
Día 27	7,44	45,3	49,35%	
Día 28	7,86	43,8		
Día 29	7,84	42,7	49,11%	
Día 30	7,93	41,6		
Día 31	7,88	41,2	48,90%	
Día 32	8,09	40		
Día 33	7,86	37,7	48,81%	
Día 34	8,01	35,6		
Día 35	8,16	32,1	49,45%	5,84%

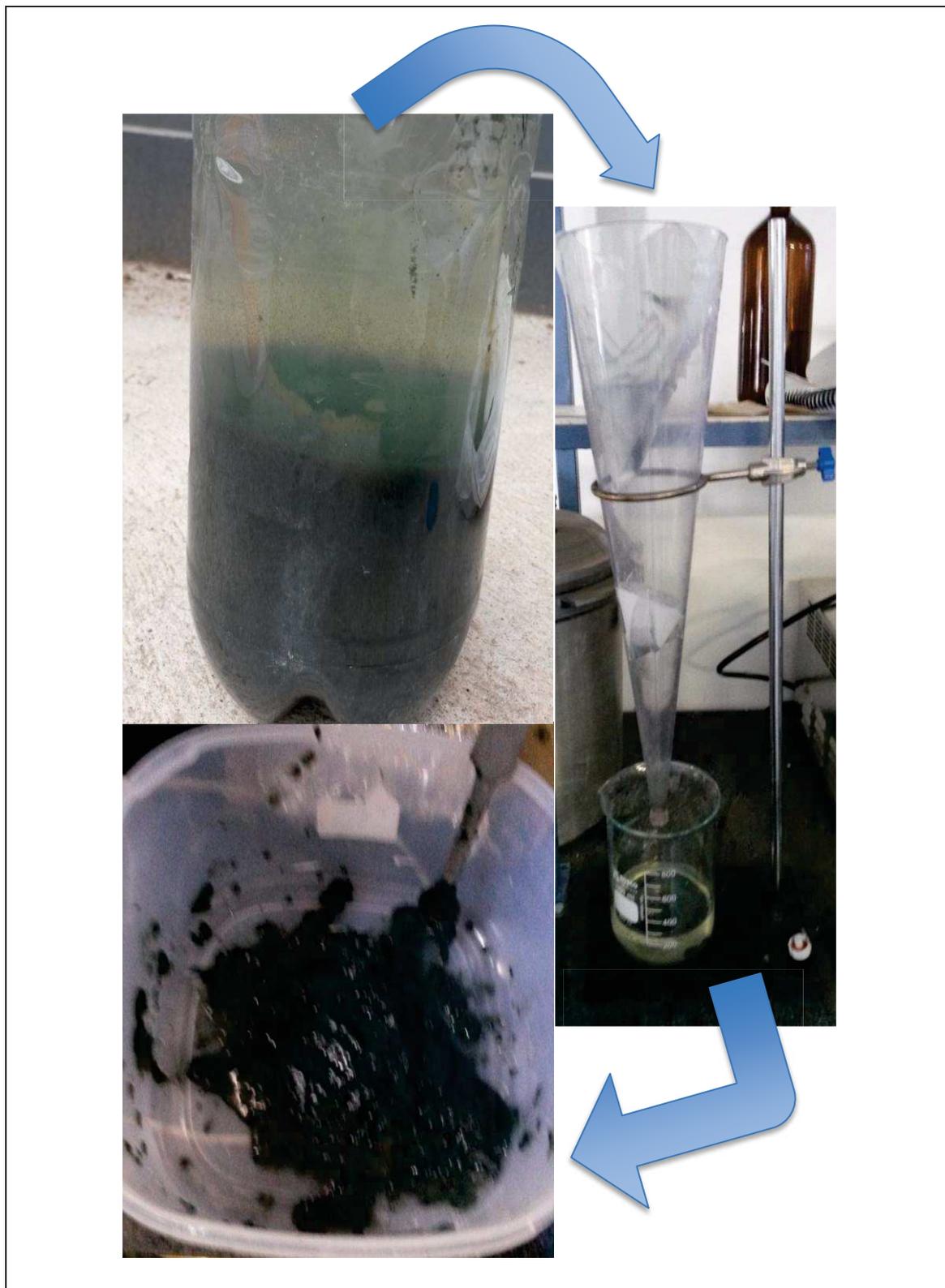
Anexo 12. Resultados de mediciones de parámetros del experimento 3 durante el compostaje

Experimento 3	pH	Temperatura	Humedad	S/V
Día 1	8,2	23,6	91,30%	40,51%
Día 2	8,5	23,9		
Día 3	8,6	24	91,30%	
Día 4	9,19	23,3		
Día 5	9,2	22,3	88,90%	
Día 6	8,85	22,4		
Día 7	8,88	21,8	87,92%	
Día 8	8,62	22,6		
Día 9	8,71	24,1	83,49%	
Día 10	8,52	23,5		
Día 11	8,87	23,2	82,53%	
Día 12	8,66	23,6		
Día 13	8,46	24,1	78,98%	
Día 14	8,38	26,1		
Día 15	8,44	25,8	76,54%	
Día 16	8,13	26,2		
Día 17	8,12	26,6	74,51%	38,67%
Día 18	7,98	25,9		
Día 19	7,73	27,2	75,68%	
Día 20	7,87	26,8		
Día 21	7,42	27,1	75,19%	
Día 22	7,51	27,3		
Día 23	7,82	27,7	72,13%	
Día 24	7,31	28,2		
Día 25	7,2	29,8	75,11%	
Día 26	6,99	30		
Día 27	6,54	32,2	72,45%	
Día 28	6,92	33,1		
Día 29	6,75	34,4	69,32%	
Día 30	6,42	35,7		
Día 31	6,21	35,9	71,98%	
Día 32	5,57	37,7		
Día 33	5,54	36,3	69,62%	
Día 34	5,62	34,2		
Día 35	5,78	33	68,16%	35,72%

Anexo 13. Resultados de mediciones de parámetros del experimento 4 durante el compostaje

Experimento 4	pH	Temperatura	Humedad	S/V
Día 1	8,2	23,6	91,30%	40,51%
Día 2	8,5	23,9		
Día 3	8,6	24	91,30%	
Día 4	9,19	23,3		
Día 5	9,2	22,3	91,22%	
Día 6	9,32	22,4		
Día 7	9,36	23,2	89,35%	
Día 8	9,24	23,1		
Día 9	8,98	22,5	87,56%	
Día 10	9,21	23,8		
Día 11	9,13	24,4	79,12%	
Día 12	9,07	25,1		
Día 13	8,68	27,3	68,91%	
Día 14	8,64	26,9		
Día 15	8,56	27,8	68,70%	
Día 16	8,42	28,2		
Día 17	8,79	29,9	65,22%	32,88%
Día 18	8,75	32,4		
Día 19	8,44	32,8	62,31%	
Día 20	8,38	33,6		
Día 21	8,14	34,2	59,78%	
Día 22	7,78	35,6		
Día 23	7,86	35,8	61,12%	
Día 24	7,78	36,1		
Día 25	7,66	36,6	58,91%	
Día 26	7,64	36,9		
Día 27	7,72	37,5	55,42%	
Día 28	7,77	38,2		
Día 29	7,68	38,4	46,76%	
Día 30	7,89	39,9		
Día 31	8,11	40,4	44,11%	
Día 32	8,25	41,1		
Día 33	8,22	37,8	43,20%	
Día 34	8,15	34,7		
Día 35	8,05	31,1	44,13%	16,25%

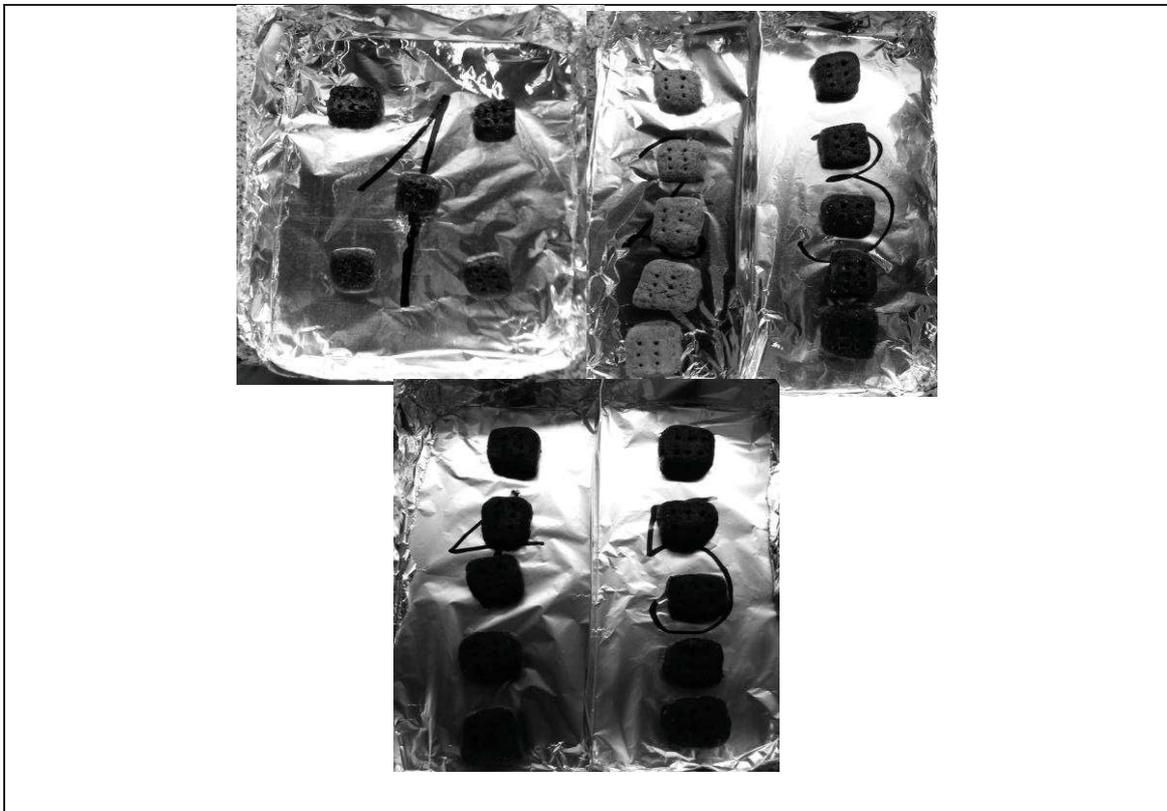
Anexo 14. Proceso de obtención de lodo provenientes de PTAR de industrial textil



Anexo 15. Mezclas iniciales para elaboración de pellets



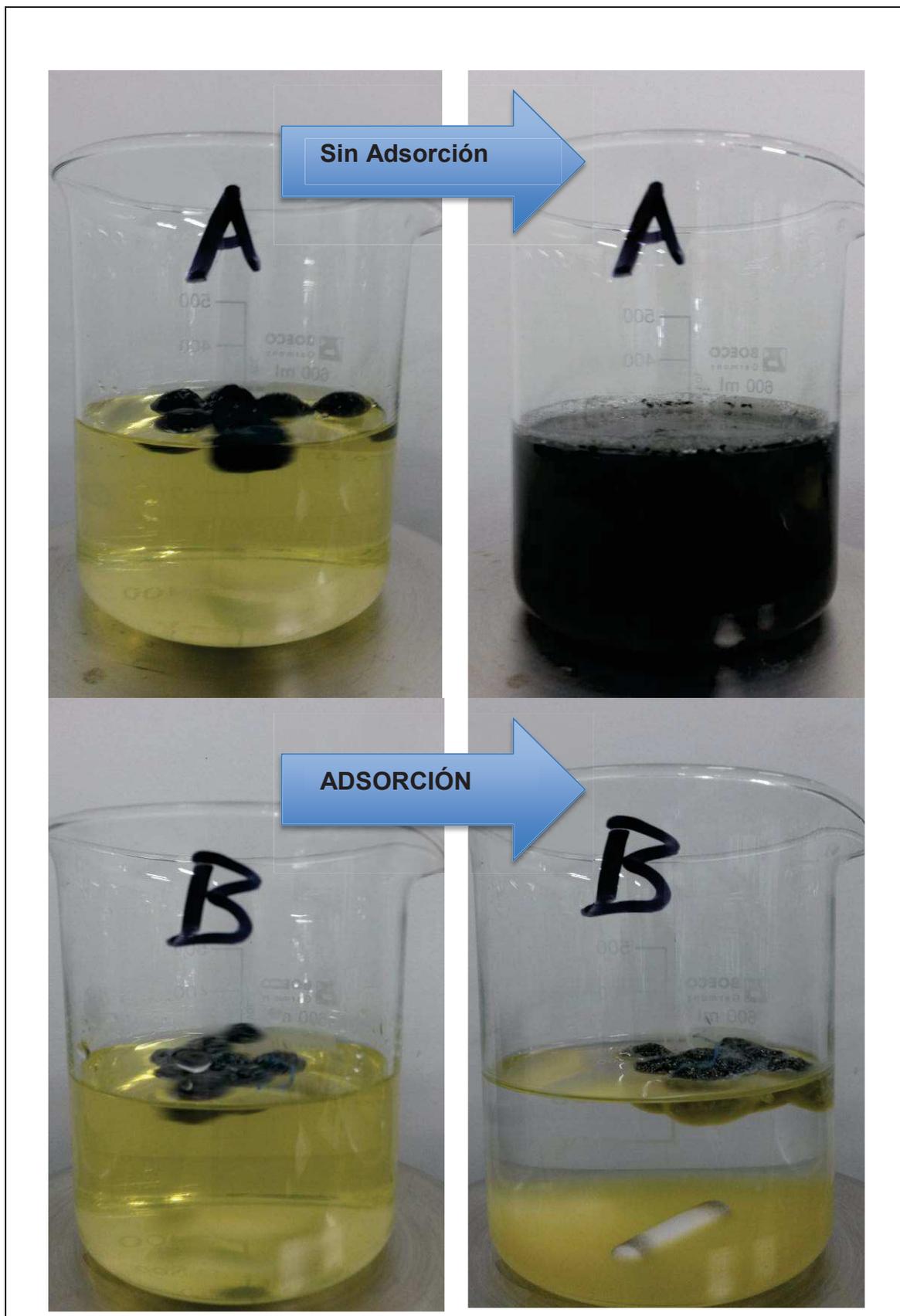
Anexo 16. Muestras de pellets iniciales sobre papel aluminio



Anexo 17. Pruebas de resistencia mecánica en medio ácido, básico y lodo



Anexo 18. Comparación cuando hay o no efecto de adsorción



Anexo 19. Partes que conforman el mecanismo de adsorción y compostaje



Anexo 20. Materiales y proceso de compostaje



Anexo 21. Análisis de carbono orgánico para determinar la relación C/N

