

**DETERMINACIÓN DE LA EFECTIVIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA A ESCALA
LABORATORIO DE LA EXTRACCIÓN DEL ALUMINIO PRESENTE EN LOS
LADOS DE POTABILIZACIÓN A TRAVÉS DEL CLORURO DE POTASIO (KCL).**

HENRY CONTRERAS LEÓN

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE QUIMICA
ESPECIALIZACIÓN EN QUIMICA AMBIENTAL
BUCARAMANGA**

2010

**DETERMINACIÓN DE LA EFECTIVIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA A ESCALA
LABORATORIO DE LA EXTRACCIÓN DEL ALUMINIO PRESENTE EN LOS
LODOS DE POTABILIZACIÓN A TRAVÉS DEL CLORURO DE POTASIO (KCL).**

HENRY CONTRERAS LEÓN

Ing. Ambiental

Monografía para optar al Título de
Especialista en Química Ambiental

Director:

VICTOR ECHEVERRÍA

MSc. Ing. Química.

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

FACULTAD DE CIENCIAS

ESCUELA DE QUIMICA

ESPECIALIZACIÓN EN QUIMICA AMBIENTAL

BUCARAMANGA

2010

TABLA DE CONTENIDO

1. OBJETIVOS.....	14
1.1. OBJETIVO GENERAL.....	14
1.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS	14
2. MARCO TEORICO	15
2.1. EL ALUMINIO EN EL SUELO.....	15
2.2. TÓXICIDAD DEL ALUMINIO EN EL MEDIO AMBIENTE	18
2.3. TÉCNICAS DE EXTRACCIÓN DEL ALUMINIO EN LOS LODOS DE CLARIFICACIÓN.....	20
3. METODOLOGIA.....	22
3.1. CONDICIONES BASICAS.....	22
3.1.1. Hipótesis de investigación:	22
3.1.2. Diseño del tratamiento:.....	24
3.1.3. Diseño del experimento:.....	24
4. ANALISIS DE LABORATORIO.....	27
5. RESULTADOS	28
5.1. RESULTADOS DEL ANALISIS PRELIMINAR.....	28
5.2. RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE EXTRACCIÓN	29
6. ANALISIS DE RESULTADOS.....	31
6.1. ANALISIS DE RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE EXTRACCIÓN	31
6.2. COMPARACIÓN DE LA TECNICA DE EXTRACCIÓN CON OTRAS TECNICAS. 32	
6.3. ANALISIS DE LA DISPOSICIÓN FINAL DEL LODO	34
6.3.1. Disposición en Relleno sanitario:.....	34
6.3.2. Disposición directa en el suelo y en cultivos.....	35
7. CONCLUSIONES.....	42
8. RECOMENDACIONES	43
9. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	44
10. ANEXOS.....	46

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Comparación de la recuperación de aluminio de diversos autores.....	21
Tabla 2. Concentración de KCl con respecto al valor de Hidróxido de Aluminio presente en la muestra patrón y tiempos de mezcla.....	26
Tabla 3. Caracterización de los lodos en base seca de la U-850 de la GRB de Ecopetrol s.a.....	28
Tabla 4. Valores remanentes de la concentración de aluminio en el lodo de clarificación después de la extracción con cloruro de potasio (KCl)	29
Tabla 5. Cantidad y costos de los reactivos para la reacción con el hidróxido de aluminio.	32
Tabla 6. Cantidad y costos de los reactivos para la reacción con el hidróxido de aluminio presente en los lodos de la Refinería.	33
Tabla 7. Niveles críticos de fertilidad usados en la costa norte Colombiana	36
Tabla 8. Características de las concentraciones de nutrientes en el suelo según el ICA.....	37
Tabla 9. Contenidos máximos de metales pesados totales permitidos en lodos para aplicar en suelos destinados a uso agrícola.	40
Tabla 10. Contenidos máximos de metales pesados totales en suelos destinados a uso agrícola.	41

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Deficiencia de fosforo en las plantas causada por la presencia de aluminio intercambiable.	18
Figura 2. Diagrama de flujo de la acidificación y extracción de aluminio de los lodos de clarificación.....	21
Figura 3. Concentraciones de aluminio en el lodo de clarificación como resultado de las pruebas de extracción.	29
Figura 4. Valores de pH en las mezclas de KCl y lodo.	30

LISTA DE ECUACIONES

Ecuación 1. Reacción de primer nivel del aluminio con el agua.	15
Ecuación 2. Reacción de Segundo nivel del aluminio con el agua.	15
Ecuación 3. Reacción de tercer nivel del aluminio con el agua.	16
Ecuación 4. Reacción de cuarto nivel del aluminio con el agua.	16
Ecuación 5. Reacción de primer nivel del aluminio con los hidróxidos.	16
Ecuación 6. Reacción de Segundo nivel del aluminio con los hidróxidos.	16
Ecuación 7. Reacción de tercer nivel del aluminio con los hidróxidos.	16
Ecuación 8. Reacción de cuarto nivel del aluminio con los hidróxidos.	16
Ecuación 9. Reacción del hidróxido de aluminio y el ácido Sulfúrico.	20
Ecuación 10. Reacción del hidróxido de aluminio y el ácido Clorhídrico.	20
Ecuación 11. Reacción del hidróxido de aluminio y el ácido Nítrico.	20
Ecuación 12. Reacción del sulfato de aluminio en agua.	22
Ecuación 13. Disociación de los iones de Hidrogeno en el suelo.	22
Ecuación 14. Hidrólisis del aluminio en el suelo.	23
Ecuación 15. Reacción Aluminio del suelo y el Cloruro de potasio.	23
Ecuación 16. Reacción del Hidróxido de aluminio y cloruro de potasio.	24

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Procedimiento para la determinación de la acidez intercambiable_.....	46
Anexo 2. Resultados de los análisis de laboratorio realizados por el laboratorio de consultas industriales de la Universidad Industrial de Santander (UIS).....	47

RESUMEN

TITULO: DETERMINACIÓN DE LA EFECTIVIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA A ESCALA LABORATORIO DE LA EXTRACCIÓN DEL ALUMINIO PRESENTE EN LOS LODOS DE POTABILIZACIÓN A TRAVÉS DEL CLORURO DE POTASIO (KCl)*.

Autor: CONTRERAS LEÓN, Henry**

PALABRAS CLAVES: Extracción, Sólido-liquido, Aluminio Intercambiable.

Una alternativa de remoción del aluminio presente en suelos, es por medio de la extracción sólido-liquido con una solución de Cloruro de Potasio (KCl), dicha técnica es utilizada actualmente como método analítico para la determinación de la acidez y aluminio intercambiable del suelo. El objetivo del presente trabajo fue determinar la efectividad en la remoción del Aluminio presente en el lodo de clarificación a escala laboratorio, mediante la extracción sólido-liquido con una solución de Cloruro de Potasio, así como determinar las mejores condiciones de remoción. Como modelo se utilizó una muestra de los lodos de clarificación de la planta de tratamiento de aguas U-850 de la refinería Barrancabermeja, la cual utiliza como coagulante el sulfato de aluminio y se aplicó un diseño factorial aleatorio teniendo en cuenta la “relación de mezcla” y “Tiempo de mezcla”. Probándose tres (3) relaciones de mezcla en tres (3) tiempos de mezcla aleatorias cada una, para un arreglo de 3X3. La relación de mezcla del cloruro de potasio y el aluminio es en proporciones de 0.8:1, 1.25:1 y 1.6:1 (KCl: Al(OH)₃), así como el tiempo propuesto para las mezclas es de 5, 10 y 15 minutos. El análisis de los resultados indicó que los factores de primordial importancia que influye sobre la remoción de Aluminio a través de esta técnica son el tiempo de mezcla y la dosis de solución de Cloruro de Potasio, encontrándose los mejores resultados de extracción en una relación de mezcla de 1.6:1 (KCl:Al(OH)₃) pasando de concentraciones de Aluminio de 3.6 % (% P/P) a 1.13 %, en conjunto con un tiempo óptimo de mezcla de 15 minutos, lo que representa una eficiencia de remoción del 68 %.

*Monografía.

**Facultad de Ciencias Básicas. Escuela de Química. Especialización en Química Ambiental. Director: Víctor Echeverría.

ABSTRACT

TITLE: DETERMINATION OF THE TECHNICAL AND ECONOMIC EFFECTIVENESS OF LABORATORY SCALE EXTRACTION OF ALUMINIUM THIS PURIFICATION SLUDG THROUGH POTASSIUM CHLORIDE (KCl)*.

Author: CONTRERAS LEÓN, Henry**

KEYWORDS: Extraction, Solid-liquid, Exchangeable Aluminum.

An alternative to removal of aluminum in soils is through the solid-liquid extraction with a solution of potassium chloride (KCl), the technique is currently used as analytical method for the determination of acidity and exchangeable aluminum in the soil. The aim of this study was to determine the effectiveness of the removal of aluminum present in the sewage sludge on a laboratory scale, using solid-liquid extraction with potassium chloride solution and determine the best conditions for removal. As a model used a sample of sewage sludge from wastewater treatment plant U-850 Barrancabermeja refinery, which is used as coagulant aluminum sulfate and applied a random factorial design taking into account the "mixing ratio" and "Mixing time." We tested three (3) mixing ratios in three (3) random mixing times each for a 3x3 arrangement. The mixing ratio of potassium chloride and aluminum is in a ratio of 0.8:1, 1.25:1 and 1.6:1 (KCl: Al (OH) ₃), and the time is proposed for mixtures of 5, 10 and 15 minutes. The analysis of the results indicated that important factors for influencing the removal of aluminum by this technique are the mixing time and dose of potassium chloride solution, finding the best extraction results in a mixing ratio 1.6:1 (KCL: Al (OH) ₃) Aluminum concentrations from 3.6% (% P / P) to 1.13%, together with an optimal mixing time of 15 minutes, which represents a removal efficiency 68%.

*Monograph.

**Basic Science Faculty. School of Chemistry. Specialization in Environmental Chemistry. Director: Víctor Echeverría.

INTRODUCCIÓN

En Colombia el reglamento técnico de agua potable y saneamiento básico (RAS-2000) en su Título C de sistemas de potabilización, define que los lodos producidos en la plantas de potabilización de todo el país deben tener un sistema de tratamiento y disposición de lodos, incluyendo el reglamento todo un capítulo (C13) referente al manejo de los lodos, condición que en la gran mayoría de los sistemas de tratamiento de agua potable del país no se cumple, desarrollándose como practica el retorno de los lodos a las fuentes hídricas de donde son tomadas las aguas, condición que es avalada por el mismo reglamento siempre y cuando se obtenga autorización de las autoridades ambientales para llevar a cabo dicho procedimiento.

Cuando se pretende realizar el tratamiento de los lodos, los procesos operativos presentan dos dificultades, la primera tiene que ver con los costos operativos de los sistemas de tratamiento de lodos, ya que estos tienen que pasar por una serie de etapas de deshidratación que van desde el uso de centrifugas, filtros prensa, filtros banda, espesadores, secadores térmicos, etc; para lo cual la tecnología y el mercado ofrecen una gran variedad de alternativas. La segunda dificultad es la disposición de estos lodos, ya que al pasar del sistema de deshidratación, aún continua con el mayor problema que tienen estos lodos, la elevada concentración de Aluminio, el cual impide disponerlos directamente en el suelo y lo convierte en un residuo especial y/o peligroso que conlleva a disponerlo como material de cobertura en un relleno sanitario o realizar otros tratamientos avanzados para la extracción del Aluminio presente y obtener un lodo inocuo para su disposición en el suelo.

Para la disposición del lodo en un relleno sanitario, aunque resulta más económico, no se puede garantizar su realización el 100 % de las veces, debido a que la reglamentación Colombiana presenta dictámenes contradictorios en las normas correspondientes.

En el **RAS-2000** se reglamenta que los lodos producto de la clarificación del agua, pueden ser dispuestos en rellenos sanitarios, pero el **Decreto 838 de 2005 del MAVDT (Disposición de residuos sólidos)** en su **Artículo 1** define a los lodos como: *Suspensión de materiales en un líquido proveniente del tratamiento de aguas residuales, del tratamiento de efluentes líquidos o de cualquier actividad que lo genere.* Y en su **Artículo 10** decreta:

Criterios operacionales. La persona prestadora del servicio público de aseo en la actividad complementaria de disposición final, deberá garantizar, entre otras, el cumplimiento de las siguientes condiciones durante la fase de operación:

1. Prohibición del ingreso de residuos peligrosos, si no existen celdas de seguridad en los términos de la normatividad vigente.

2. Prohibición del ingreso de residuos líquidos y lodos contaminados.

Para el caso del tratamiento del lodo y la extracción del Aluminio, la bibliografía señala la adición de compuestos ácidos como lo son el Acido Sulfúrico (H_2SO_4) y/o Acido Clorhídrico (HCL), para la extracción del Aluminio en el lodo ^(1, 3, 4,5). Aunque estos tratamientos muestran buenos resultados, NO existe en Colombia la primera planta que lo lleve a cabo, debido a los costos operativos de estas y los riesgos HSE para el personal de la planta al manipular estas sustancias.

1. OBJETIVOS

1.1. OBJETIVO GENERAL

Determinar la factibilidad técnica y económica de la utilización del cloruro de potasio en la extracción de aluminio en lodos de potabilización.

1.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Comparar los resultados del uso del cloruro de potasio para la extracción del aluminio en lodos de potabilización con otras técnicas existentes.
- Determinar la concentración de cloruro de potasio necesaria para la extracción del aluminio presente en los lodos del tratamiento de potabilización.
- Definir la disposición final del lodo tratado después de la extracción.

2. MARCO TEÓRICO

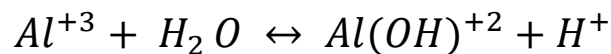
2.1. EL ALUMINIO EN EL SUELO

El Aluminio es muy abundante en la mayoría de los suelos, con concentraciones típicas en suelos minerales en rangos de 10.000 a 300.000 µg/g y un promedio de 10 % por peso. Sin embargo, el aluminio está normalmente presente en las plantas en concentraciones relativamente bajas como resultado de su baja biodisponibilidad, los más altos niveles de disponibilidad dependen de varios factores, entre los cuales el más importante de estos es el bajo pH.

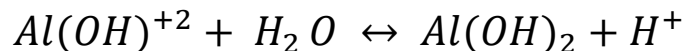
Los suelos ácidos con altas concentraciones de aluminio disponible pueden ser encontrados en muchos lugares donde ha habido cultivos pesados o uso de fertilizantes de nitrógeno, en sitios de mina ácido reducidos y en suelos forestales ácidos y considerándose la toxicidad del aluminio como una de las principales causas de no productividad en suelos ácidos ⁽¹⁾.

El aluminio presente en el suelo se encuentra hidrolizado, La hidrólisis de las formas monoméricas puede presentarse de varias formas (Ecuaciones 1, 2, 3, 4. Para mayor claridad se han suprimido las moléculas coordinadas de agua). En cada una de ellas se libera H⁺ a la solución y produciendo una disminución del pH, a menos que exista una fuente de OH⁻ que neutralice el H⁺, o que este desaparezca de la solución por adsorción en superficies susceptibles de generar carga positiva (como son los componentes de carga variable)⁽²⁾.

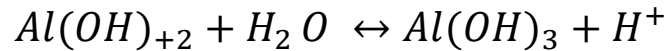
Ecuación 1. Reacción de primer nivel del aluminio con el agua.



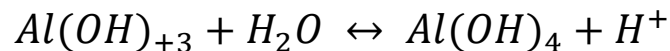
Ecuación 2. Reacción de Segundo nivel del aluminio con el agua.



Ecuación 3. Reacción de tercer nivel del aluminio con el agua.

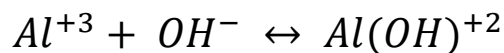


Ecuación 4. Reacción de cuarto nivel del aluminio con el agua.



Este comportamiento químico del Aluminio en una solución acuosa es la razón de ser denominado un **Hidróxido Anfótero**, por lo cual puede llegar a formar complejos con los hidróxidos, como lo expresa las ecuaciones 5, 6, 7 y 8.

Ecuación 5. Reacción de primer nivel del aluminio con los hidróxidos.



Ecuación 6. Reacción de Segundo nivel del aluminio con los hidróxidos.



Ecuación 7. Reacción de tercer nivel del aluminio con los hidróxidos.



Ecuación 8. Reacción de cuarto nivel del aluminio con los hidróxidos.



Debido a las anteriores reacciones se presentan las siguientes características en el Aluminio:

En condiciones fuertemente acidas la concentración de OH^- es baja y las especies presentes serán los iones con cargas positivas, Al^{+3} y $Al(OH)^{+2}$. Si de manera gradual se adiciona una base fuerte la concentración de OH^- aumentara y estos iones comenzaran a sumarse a los complejos de aluminio, reduciendo las cargas

hasta que se formen las especies neutras e insolubles $\text{Al}(\text{OH})_3$, las cuales se precipitaran en la solución. Según se continúe añadiendo base y la concentración de OH^- en la solución se incremente aún más, se forma el ión $\text{Al}(\text{OH})_4^-$ soluble y con carga negativa, y el precipitado se disuelve ⁽⁴⁾.

El comportamiento químico del Aluminio se manifiesta comúnmente en los procesos de coagulación del agua cuando se usan Sales de Aluminio, ya que el proceso de desestabilización de las partículas coloidales del agua se ve afectada por el pH del agua, ya que la solución de Sulfato de Aluminio que es adicionada al agua en pH cercano a la neutralidad (pH entre 6 y 8) precipita el Aluminio bajo la forma $\text{Al}(\text{OH})_3$ (Ecuación 3), pero cuando se desvía del rango de neutralidad ya sea por encima o por debajo, el Aluminio se solubiliza en el agua y no precipita (Ecuaciones 1, 2 y 4).

Las reacciones características del Aluminio, sumado a la dinámica química del suelo pueden llevar a presentarse el Aluminio en forma precipitada e insoluble, o de forma disponible para la asimilación por parte de las plantas. Este último concepto, el **Aluminio Disponible o Intercambiable**, se utiliza en la agricultura y en el estudio de suelos para definir la disponibilidad del ion Aluminio (Al^{+3}), sumado a la presencia de iones H^+ generan el concepto de **Acidez Intercambiable** en una unidad de suelo.

El Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) establece que el valor máximo de acidez intercambiable en el suelo para ser destinado a uso agrícola debe ser del orden de **2 miliequivalentes/100 g.**⁽³⁾ Valores superiores a este nivel representa índices de toxicidad en el suelo, así como problemas en el crecimiento y en el desarrollo de la planta, por lo cual la recomendación común en este tipo de casos es encalar (Adicionar cal al suelo) para neutralizar los iones H^+ y para precipitar el aluminio a la forma $\text{Al}(\text{OH})_3$, sin desconocer que un exceso en la adición de cal ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) podría ocasionar nuevamente la solubilidad del aluminio bajo la forma $\text{Al}(\text{OH})_4^-$.

La técnica analítica para la obtención del valor de la acidez intercambiable es la **extracción sólido-liquido** por medio de una solución de KCL a 1N, se mezcla con el suelo que contiene el aluminio y este es extraído a través de una filtración para luego titular la solución lixivante con NaOH ⁽⁵⁾. (Anexo 1). Esta técnica es el fundamento teórico para las pruebas de extracción planteadas en esta monografía.

2.2. TÓXICIDAD DEL ALUMINIO EN EL MEDIO AMBIENTE

La **Fitotoxicidad** del Aluminio en las plantas no está bien entendida y los efectos del aluminio no son fáciles de reconocer, con indistintos síntomas de la hoja. La toxicidad del Aluminio puede notarse en la deficiencia de Fósforo con impedimento de crecimiento, madurez tardía, hojas pequeñas y color púrpura o puede notarse deficiencia de Calcio que se aprecia por enroscado de hojas jóvenes.

Por lo general, el Aluminio afecta primero el sistema de raíces, más que a la mata, donde éste se acumula en el protoplasma de las células vivas y especialmente en el núcleo. La intensidad de la fitotoxicidad para el crecimiento de las raíces ha sido mostrada por estar altamente correlacionado con la actividad del Al^{3+} , pero no con el Aluminio total en la solución del suelo ⁽¹⁾.

Esta condición de fitotoxicidad se desarrolla acorde con la solubilidad del Aluminio en el suelo, ya que la forma precipitada del aluminio $Al(OH)_3$ no se encuentra disponible para ser asimilable por las plantas, a diferencia de las $Al(OH)_2$ y $Al(OH)$, las cuales son fácilmente asimilables por las plantas.

Otros autores destacan, que el principal efecto de la toxicidad del Aluminio es la restricción del desarrollo radicular, por lo cual, las raíces reducen el volumen de suelo que pueden explorar y son ineficientes en la absorción de nutrientes y de agua. Además, un exceso de Al en la solución de suelo interfiere en el transporte y utilización de los nutrientes esenciales (Ca, Mg, K, P y Fe) y puede inhibir los procesos microbianos que suministran nutrientes a las plantas. A nivel celular, la toxicidad del Aluminio afecta la estructura y el funcionamiento de la membrana, la síntesis de DNA y la mitosis, la elongación de la célula y la nutrición mineral y el metabolismo (Wright, 1989)⁽²⁾.

Figura 1. Deficiencia de fósforo en las plantas causada por la presencia de aluminio intercambiable.



Fuente: La Acidez del suelo y su manejo ⁽⁶⁾

Además de la toxicidad generada por el aluminio en el suelo, se presenta la **bioacumulación** en las plantas de Aluminio en concentraciones elevadas.

Chenery (1948, 1949) reportó que las especies acumuladoras de Aluminio presentaban una cantidad de aluminio ≥ 1000 mg Al/kg (0.1% de Al en base seca) y como no acumuladoras aquellas plantas que presentan menos de esa cantidad. Él reporta 1779 de 2859 especies acumuladoras de Aluminio en las dicotiledóneas, 33 de 269 especies en monocotiledóneas y gimnospermas y 615 en 1401 especies criptógenas. Dentro de las familias estudiadas se destacan *Rubiaceae*, *Melastomataceae*, *Violaceae*, *Vochysiaceae*, *Euphorbiaceae*, *Ebenaceae*, *Myrtaceae* y *Ulmaceae*⁽⁷⁾.

En el caso específico de los lodos de potabilización, (Panizza, 2006)⁽⁷⁾ reporta extracciones de Aluminio de lodos de potabilización por medio de plantas de lechuga (*Lactuca sativa*) con sustratos 100 % lodos – 0 % de tierra negra, 50 % de lodos – 50 % de tierra negra y 100 % tierra negra, y con niveles de pH del agua de riego de 4.2 y 7.0. Concluyendo que los tratamientos que poseían lodos al 100 % no permitieron el crecimiento de la especie vegetal, mientras que el desarrollo de las plantas se presentaron crecimientos normales y similares en los sustratos 50-50 de lodo-tierra y 100 % tierra negra.

En cuanto al porcentaje de Aluminio en los tejidos vegetales, encontró que si el agua de riego tenía un pH = 4.2, en la biomasa había 7.9 mg Al/g base seca y si el pH era de 7.0, la biomasa presentaba 4.8 mg Al/g b.s. para la relación 50-50, mientras que para las plantas que crecían sobre 100 % de tierra negra los valores de Aluminio eran de cero.

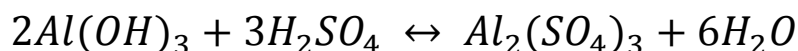
Estos datos ratifican el mayor interés fitosanitario a la problemática del tratamiento y la disposición adecuada de los lodos de clarificación, ya que se pueden presentar características de **resiliencia** a la toxicidad por parte de la flora, sin embargo las particularidades de bioacumulación pueden llevar a nuevos riesgos en el contenido de metales como el Aluminio en los alimentos, debido a una inadecuada disposición, además que es bien conocido los efectos de la presencia del aluminio en el cuerpo humano, como lo son la enfermedad Alzheimer, daños neurológicos, demencia etc;

2.3. TÉCNICAS DE EXTRACCIÓN DEL ALUMINIO EN LOS LODOS DE CLARIFICACIÓN

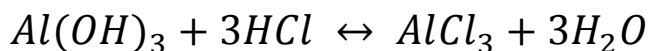
La acidificación es la técnica más utilizada hasta el momento para la extracción del Aluminio presente en los lodos de clarificación. El uso de ácidos fuertes como el Acido Sulfúrico (H_2SO_4), el Acido Clorhídrico (HCL) y el Acido Nítrico (HNO_3) son algunos de los ácidos comúnmente usados a escala laboratorio para probar la posibilidad de recuperación presente en el lodo.

Las reacciones químicas de los ácidos con el aluminio presente en el lodo aprovecha la característica anfótera del hidróxido de aluminio, al adicionar H^+ y liberar el aluminio para combinarse con el anión del ácido de la siguiente forma:

Ecuación 9. Reacción del hidróxido de aluminio y el ácido Sulfúrico.



Ecuación 10. Reacción del hidróxido de aluminio y el ácido Clorhídrico.



Ecuación 11. Reacción del hidróxido de aluminio y el ácido Nítrico.



Según la estequiometría de las reacciones planteadas, se presenta que por cada 1 Kg de Hidróxido de Aluminio presente en el lodos se necesitan 1.88 Kg de Acido Sulfúrico, 1.4 Kg de Acido Clorhídrico y 1.2 Kg de Acido Nítrico, con lo cual teóricamente todo el Aluminio reaccionaría con el ácido.

A pesar de la reactividad de los ácidos para neutralizar los hidróxidos, los porcentajes de recuperación en algunos casos no alcanzan el 90 %, debido a los diferentes índices de pH de las reacciones y tiempos de mezcla definida por cada autor, como ejemplo de las mejores porcentajes de reacción y extracción del Aluminio la Tabla 1, Presenta los alcances de recuperación de algunos estudios anteriores:

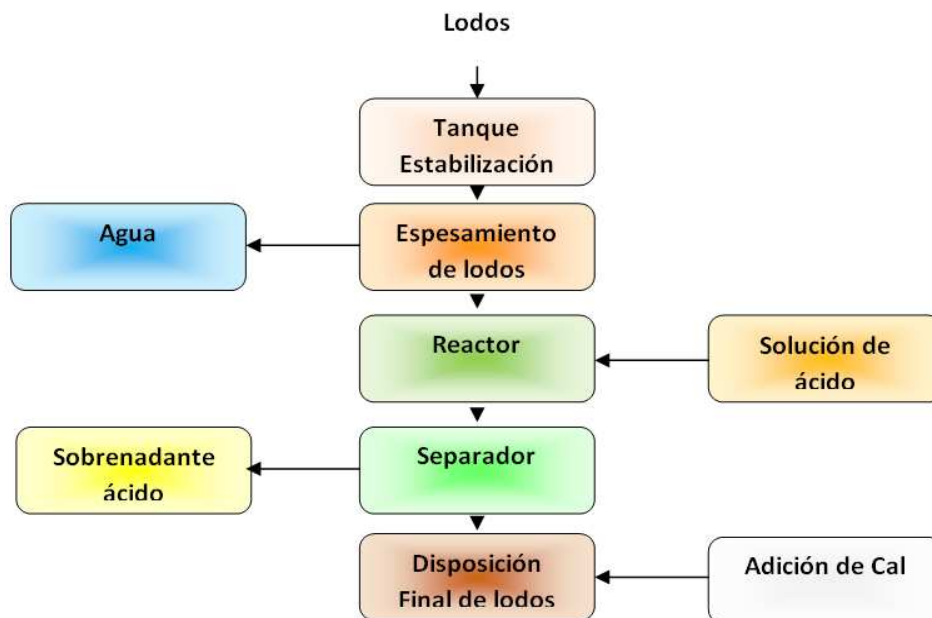
Tabla 1. Comparación de la recuperación de aluminio de diversos autores.

Comparación de la recuperación de Aluminio de Diversos Autores		
Autor	Recuperación de Aluminio (% P/P)	Ácido utilizado
Villegas*	64	H ₂ SO ₄
Pabón**	63	HCL
Pabón**	25	H ₂ SO ₄
Pabón**	68	HNO ₃
Cornwell y Susan**	65-90	H ₂ SO ₄
Webster**	53-83	HNO ₃
Saunders**	41	H ₂ SO ₄
Candler**	68	H ₂ SO ₄
Bishop**	74-79	HNO ₃

Fuente: *Referencia 8; ** Referencia 9

Como parte del diagrama de proceso (Figura 1) también interviene la adición de cal en el lodo tratado, ya que el tratamiento ácido deja como resultado un pH entre 2 a 4 en el lodo de clarificación, lo que lo convierte en un residuo peligroso para su disposición a menos que sea corregido su pH.

Figura 2. Diagrama de flujo de la acidificación y extracción de aluminio de los lodos de clarificación.



3. METODOLOGIA

A partir de una revisión bibliográfica, se determinaron las condiciones de ensayo e investigación, los equipos necesarios para la determinación de los contaminantes presentes y las pruebas a realizar.

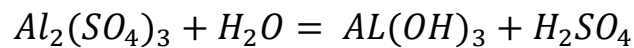
3.1. CONDICIONES BASICAS.

3.1.1. Hipótesis de investigación:

➤ **Aluminio en el lodo:**

La precipitación de los sólidos suspendidos presentes en el agua cruda de las fuentes hídricas es causada por la presencia de coagulantes, habitualmente sales de metales trivalente como el Sulfato de Aluminio $Al_2(SO_4)_3$, el floc está formado de moléculas de $Al(OH)_3$ ⁽¹¹⁾, luego de presentarse la siguiente reacción:

Ecuación 12. Reacción del sulfato de aluminio en agua.

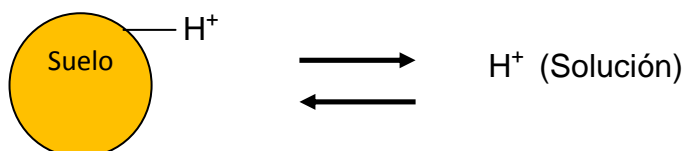


El Hidróxido de Aluminio permanece en el lodo de clarificación, generando la problemática de disposición de estos lodos debido a la toxicidad que representa este Aluminio en el suelo.

➤ **Determinación de Acidez intercambiable en suelos:**

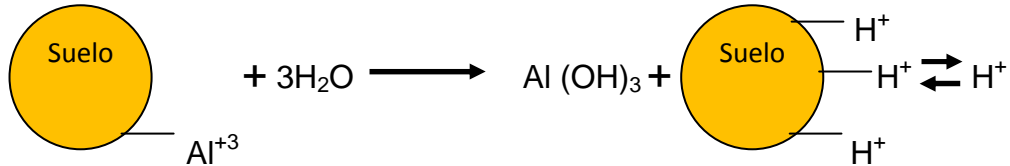
La acidez intercambiable está determinada por los iones de Aluminio Al^{+3} e Hidrogeno H^+ , ya que el H^+ intercambiable se disocia y contribuye con los iones de H^+ de la solución del suelo⁽⁵⁾ de acuerdo con la siguiente disociación:

Ecuación 13. Disociación de los iones de Hidrogeno en el suelo.



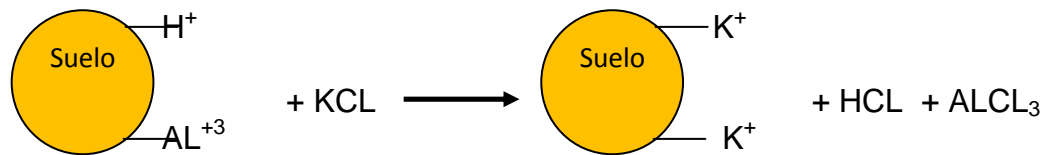
El Aluminio es otra fuente de iones H^+ debido a su hidrólisis, de acuerdo a la ecuación 14.

Ecuación 14. Hidrólisis del aluminio en el suelo.



La técnica analítica a nivel laboratorio para la determinación de la acidez intercambiable en el suelo es una extracción sólido-líquido, en la cual se busca la extracción del Hidrogeno y Aluminio presente en el suelo por medio de una solución de cloruro de potasio (KCL), en el cual mediante lavado del suelo con una solución de cloruro de potasio (KCL), el Potasio (K) reemplaza los iones de H^+ y Al^{+3} presentes en forma intercambiable (OH^-) (Ecuación 15) formándose una solución lixivante de Acido Clorhídrico (HCL) y Cloruro de Aluminio ($ALCL_3$)⁽⁵⁾.

Ecuación 15. Reacción Aluminio del suelo y el Cloruro de potasio.

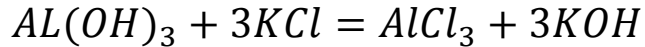


Esta mezcla de sólido-solución es luego filtrada, para pasar la solución lixivante a una titulación con Hidróxido de Sodio (NaOH) en presencia de Fenolftaleína. Con el gasto de dicha solución de NaOH se cuantifica el valor de la acidez intercambiable, expresada en mili equivalente de H^+ y Al^+ . (Anexo 1. "Procedimiento estándar de valoración de acidez intercambiable en suelos")

➤ **Preguntas:**

- Se desea conocer si se puede realizar la extracción del aluminio en forma de Hidróxido de Aluminio presente en el lodo de clarificación $[Al(OH)_3]$ por medio de una reacción con una solución de Cloruro de Potasio (KCL)? De acuerdo a la ecuación 16. Planteada.

Ecuación 16. Reacción del Hidróxido de aluminio y cloruro de potasio.



- En qué relación de mezcla solución-lodo es optima la extracción?
- Cuál es el tiempo mínimo de mezcla en la extracción?
- Que costo comercial tendría esta aplicación?

3.1.2. Diseño del tratamiento:

Se propone un diseño factorial aleatorio para el tratamiento teniendo en cuenta la “relación de mezcla” y “Tiempo de mezcla”. Probándose tres (3) relaciones de mezcla en tres (3) tiempos de mezcla aleatorias cada una, para un arreglo de 3X3⁽¹⁰⁾. (Tabla 3.)

3.1.3. Diseño del experimento:

- **Zonas de muestreo:** El muestreo y los ensayos se realizaron en la planta de tratamiento de agua industrial (U-850) de la Gerencia Refinería de Barrancabermeja (GRB), así mismo, los análisis de laboratorio se llevaron a cabo en el laboratorio de consultas industriales de la Universidad Industrial de Santander (UIS) (Anexo 2: Resultados de laboratorio).
- **Tiempo de muestreo:** Para esta investigación se utilizo una muestra compuesta de la purga de lodos durante una (1) semana (27 de Septiembre al 4 de Octubre del 2010) de la planta de aguas U-850 de la GRB, dicha muestra tuvo un tratamiento preliminar de secado a 105°C y obtener una muestra seca a ser llevada a laboratorio.
- **Análisis preliminar.** Para el inicio de las labores de ensayos se cuenta con un análisis preliminar completo de las características del lodo o suelo a tratar por parte del instituto Colombiano del petróleo (ICP) con los siguientes parámetros:
 - Análisis granulométrico
 - pH
 - Aluminio
 - Materia orgánica

- Fosforo
- Capacidad de intercambio cationico
- Determinación de bases intercambiables (Calcio, Magnesio, Potasio y Sodio)
- Micronutrientes (Cobre, Hierro, Zinc y Manganeso)
- Boro
- Azufre

➤ **Ensayos de mezcla.**

Relación de Mezcla: A través del valor de Aluminio obtenidos en el análisis preliminar (3,6 %P/P), lo que representa un proporción de hidróxido de aluminio del 10.40% (%P/P) y con base en el hidróxido de aluminio, se definió estequiometricamente la cantidad de Cloruro de Potasio necesario para reaccionar.

Las dosificaciones se ajustaran a una proporción 0.8:1, con el Cloruro de Potasio como reactivo limite y dos dosificaciones en exceso de Cloruro de Potasio, en concentraciones de 1.25:1 y 1.6:1 (KCl: Al(OH)₃).

Con base en la técnica analítica de la acidez intercambiable (Anexo 1) se tomaran como muestra de análisis en cada prueba una masa de 5 g de lodo seco, y un volumen de 25 ml para la solución de KCl a las siguientes concentraciones:

- Para el caso de la relación 0.8:1 (KCl: Al(OH)₃) la concentración en la solución de 25 ml es de 49.670 mg/L.
- La relación 1.25:1 (KCl: Al(OH)₃) la concentración en la solución de 25 ml es de 74.505 mg/L.
- La relación 1.6:1 (KCl: Al(OH)₃) la concentración en la solución de 25 ml es de 99.340 mg/L.

Tiempo de mezcla: Tomando en cuenta la técnica analítica de la acidez intercambiable se tomaran como límite del tiempo de reacción el valor de 10 minutos (Anexo 1), y como valores de control se definen los valores inferior y superior de 5 y 15 minutos respectivamente.

Otras variable: La temperatura y la presión de trabajo son las definidas ambientalmente para la refinería de Barrancabermeja.

Número de Ensayos: Se toma una muestra como blanco y se realizaran nueve (9) ensayos de reacción a diferentes concentraciones de Cloruro de Potasio con respecto a la concentración de acidez intercambiable, con diferentes tiempos de mezcla. (Tabla 2).

Tabla 2. Concentración de KCl con respecto al valor de Hidróxido de Aluminio presente en la muestra patrón y tiempos de mezcla.

Tiempo Mezcla (Min)	Relación KCl-Al(OH) ₃ (Fracción)		
	0.8	1.25	1.6
5	5:0.8	5:1.25	5:1.6
10	10:0.8	10:1.25	10:1.6
15	15:0.8	15:1.25	15:1.6

Procedimiento. Pesar cinco (5) gramos de lodo seco y agregar una solución de 25 mL de KCl a una concentración que equipare la fracción descrita Tabla 3; y agitar en los tiempos fijados por la misma tabla. Filtrar y recoger el filtrado en un erlenmeyer. Secar y analizar el lodo lavado.

4. ANÁLISIS DE LABORATORIO.

En cada uno de los ensayos se valoraron los siguientes parámetros en el lodo luego de las pruebas:

- **pH de la Mezcla Lodo-solución de KCl.**
- **Aluminio**

Los parámetros a determinar serán realizados mediante las siguientes técnicas

Parámetro	Técnica
pH	Potenciómetro
Aluminio	Digestión y Absorción Atómica

- **Número de análisis por cada parámetro**

Parámetro	Número de análisis
pH	10
Aluminio	10
Potasio	1
Análisis granulométrico	1
Materia orgánica	1
Fosforo	1
Capacidad de intercambio catiónico	1
Determinación de bases intercambiables (Calcio, magnesio, Potasio y sodio)	1
Micronutrientes (Cobre, Hierro, Zinc y Manganeso)	1
Boro	1
Azufre	1

5. RESULTADOS

5.1. RESULTADOS DEL ANALISIS PRELIMINAR.

Como análisis previo al desarrollo de las pruebas de extracción de aluminio el instituto Colombiano del Petróleo (ICP), desarrollo las características fisicoquímicas de los lodos de clarificación de la planta de agua U-850, de los cuales se presentan los siguientes resultados:

Tabla 3. Caracterización de los lodos en base seca de la U-850 de la GRB de Ecopetrol s.a.

<i>CARACTERIZACIÓN DE LOS LODOS EN BASE SECA DE LA U-850 DE LA GRB DE ECOPELROL s.a.</i>		
FECHA	07/09/2010	
TIPO DE MUESTRA	Compuesta 8 horas	
COMPONENTE	UNIDAD	VALOR
ALUMINIO	% Peso	3,56
ACIDEZ INTERCAMBIABLE	meq/100 g	0,08
CAPACIDAD DE INTERCAMBIO	meq/100 g	13,6
CARBONO ORGANICO TOTAL	% Peso	1,7
CALCIO	meq/100 g	14,4
MAGNESIO	meq/100 g	0,31
POTASIO	meq/100 g	0,17
SODIO	meq/100 g	0,32
FOSFORO DISPONIBLE	mg/kg	3,5
NITROGENO ASIMILABLE	%	0,1465
	mg/kg	1465
NITROGENO TOTAL	mg/kg	2509
PH (1:1) SUELO/AGUA	Unid. pH/°T	7.17/23.6
ARENA	% Peso	9
ARCILLA	% Peso	22
LIMO	% Peso	69
TEXTURA	Distribución de tamaño	LIMO
COBRE	mg/Kg	19,49
ZINC	mg/Kg	158,3
HIERRO	% Peso	2,82
MANGANESO	mg/Kg	280,2

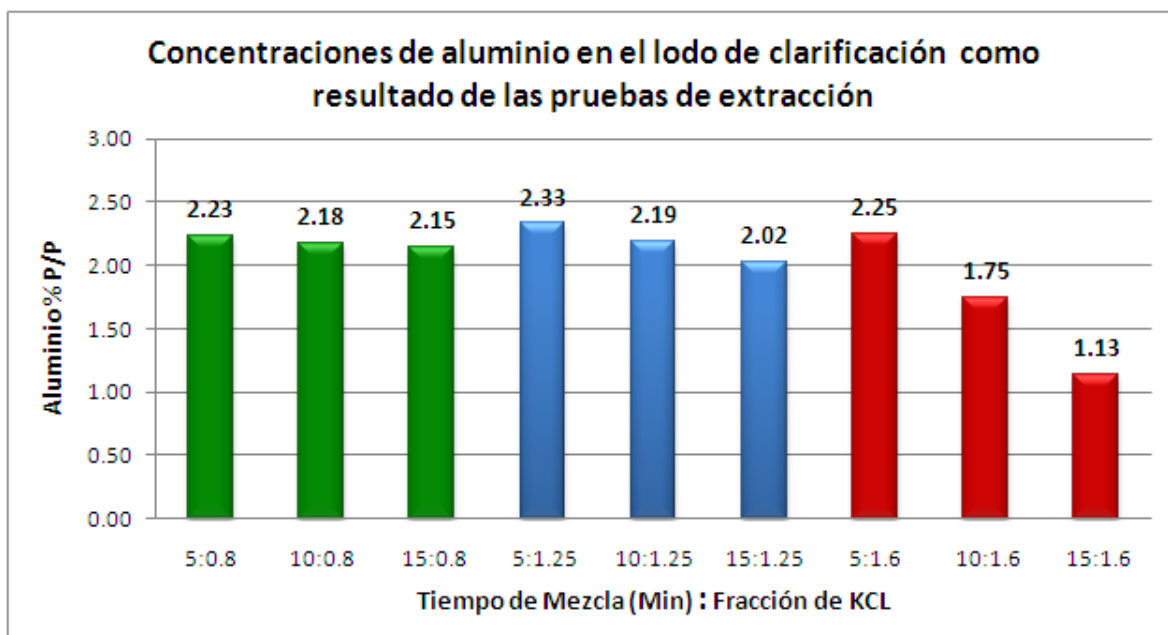
5.2. RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE EXTRACCIÓN

Basado en el valor de aluminio total presente en lodo de 3.6% (%P/P) y las proporciones de mezcla de 0.8:1, 1.25:1 y 1.6:1 (KCl: Al(OH)₃), los valores de Aluminio total remanente en el lodo se expresan en la tabla 5 y la figura 2.

Tabla 4. Valores remanentes de la concentración de aluminio en el lodo de clarificación después de la extracción con cloruro de potasio (KCl)

Tiempo Mezcla (Min)	Relación KCl-Hidróxido de Aluminio (Fracción)		
	0.8	1.25	1.6
5	2.23	2.33	2.25
10	2.18	2.19	1.75
15	2.15	2.02	1.13

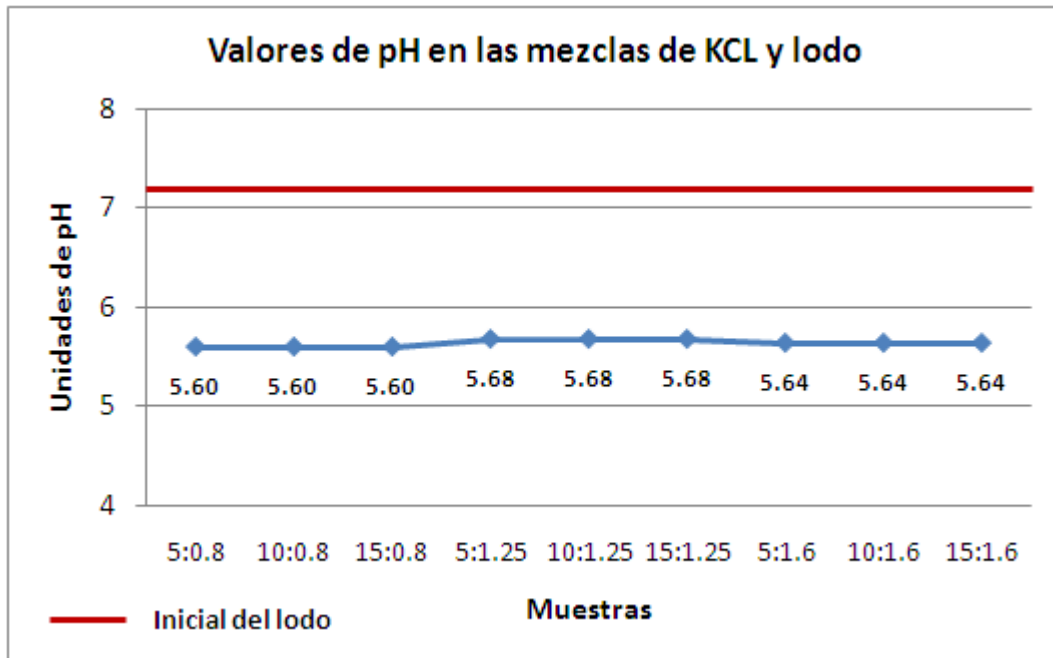
Figura 3. Concentraciones de aluminio en el lodo de clarificación como resultado de las pruebas de extracción.



NOTA: Valor inicial de aluminio en el lodo 3.6% (%P/P)

Como parte del seguimiento al proceso de extracción del aluminio, se midieron los valores de pH en la mezcla de la solución de Cloruro de Potasio y Iodo (Figura 3)

Figura 4. Valores de pH en las mezclas de KCl y Iodo.



6. ANÁLISIS DE RESULTADOS

6.1. ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE EXTRACCIÓN

Los resultados de las pruebas de extracción de Aluminio por medio de soluciones de Cloruro de Potasio son positivos. Los resultados plasmados en la Tabla 5 y la Figura 2, presenta capacidades de extracción entre un 39 % de aluminio para una relación Tiempo:KCl de 5:0.8, hasta un 68 % para la relación 15:1.6, lo cual representa un excelente potencial de extracción de Aluminio, alcanzando niveles de otras técnicas de extracción como la acidificación.

En los casos particulares la relación 0.8:1 (KCl:Al(OH)₃) presenta la menor capacidad de extracción (39 % Promedio) de las tres analizadas, pasando de un valor inicial de Aluminio del 3.6 % a valores de 2.2 %. El comportamiento de la capacidad de extracción tiene un ligero aumento en la medida que aumente el tiempo de agitación de la mezcla cloruro de potasio - lodo, transformando la concentración de aluminio en el tiempo de mezcla de 5 minutos del orden de 2.23 % P/P a un nivel de 2.15 % P/P para un tiempo de mezcla de 15 minutos.

En la segunda relación de mezcla de 1.25:1 (KCl:Al(OH)₃) se mantiene la capacidad de extracción en el orden del 39 %, y la capacidad de extracción continua con tendencia a aumentar conforme se incrementa el tiempo de mezcla. Sin embargo, se estimaba que en la medida que la relación de Cloruro de Potasio incrementara Vs al Hidróxido de Aluminio, también se incrementara la capacidad de extracción. Una razón de este comportamiento puede ser atribuida a la incertidumbre del nivel o intensidad de mezclado que tuvieron las pruebas, ya que se siguió el procedimiento analítico para las pruebas de acidez intercambiable, en el cual no se expresa dicha intensidad, por lo que el procedimiento se realiza manualmente.

En la tercera relación de mezcla de 1.6:1 (KCl:Al(OH)₃) se presentan evidencias a la hipótesis del incremento del potencial de extracción con relación al aumento del Cloruro de Potasio presente en la solución extractora, obteniendo los mejores resultados de extracción de las tres relaciones de mezcla, con un 68% de extracción para el tiempo de mezclado de 15 minutos (De 3.6% A 1.13%), y

manifestándose diferencias marcadas en los niveles de extracción de acuerdo al tiempo de mezclado (2.25 para 5 min, 1.75 para 10 min y 1.13 para 15 minutos)

En el caso del pH de la mezcla entre las soluciones y el lodo, es notorio un efecto Buffer del Cloruro de Potasio, ya que se mantienen los valores de pH entre 5.5 y 5.7 a pesar de las diferentes concentraciones del KCl en la solución.

6.2. COMPARACIÓN DE LA TECNICA DE EXTRACCIÓN CON OTRAS TECNICAS.

Basados en los resultados de la extracción del Aluminio presente en el lodo, los balances estequiométricos que presentan las bibliografías para las reacciones de acidificación del lodo para la reacción con el hidróxido de aluminio (Ecuaciones 9, 10, y 11), así como el balance de la extracción del aluminio por medio del Cloruro de Potasio (Ecuación 16), las cantidades y costos variables del tratamiento químico del lodo de clarificación se presentan en la Tabla 6.

Tabla 5. Cantidad y costos de los reactivos para la reacción con el hidróxido de aluminio.

Hidroxido de Aluminio	Ácido			Sal
	Sulfúrico	Clorhídrico	Nítrico	KCL
(Kg)	(Kg)	(Kg)	(Kg)	(Kg)
1	1.88	1.4	1.2	2.86
	\$/Kg*	\$/Kg**	\$/Kg***	\$/Kg****
	1029	700	600	1220
<i>Subtotal</i>	<i>1,935</i>	<i>980</i>	<i>720</i>	<i>3,489</i>
	Neutralización con Cal			
	(Kg)	(Kg)	(Kg)	
	1.692	6.762	6.804	
	\$/Kg	\$/Kg	\$/Kg	
	250	250	250	
<i>Subtotal</i>	<i>423</i>	<i>1,691</i>	<i>1,701</i>	
Total	2,358	2,671	2,421	3,489

FUENTE: *Ecopetrol; **Brinsa; ***Ferticol; ****Cenicafé; (Cifras en Pesos)

Como puede apreciarse en la Tabla 6, el reactivo que ofrece el valor mínimo unitario en el proceso de extracción es el Acido Sulfúrico con 2.358 \$Pesos con cada Kg de hidróxido de Aluminio presente en el lodo, seguido del Acido Nítrico con 2.421 \$Pesos. Se aprecia además la diferencia en el costo del tratamiento con Cloruro de Potasio (\$3.489) con respecto a los tratamientos ácidos (32%) a pesar de no presentarse la necesidad de la neutralización de los residuos ácidos con hidróxido de calcio. Este valor de tratamiento en el cloruro de potasio se presenta debido a la mayor necesidad de este producto para la reacción con el hidróxido de sodio, para este caso llegan a casi el doble de lo necesario por los compuestos ácidos, también por el precio de este producto (1.220 \$Pesos/Kg) el cual es el más costoso de los cuatro productos evaluados.

En el caso particular de los lodos de la planta de tratamiento de agua de la refinera Barrancabermeja, la producción estimada de lodo es de unos 27.010 Ton/año de lodos (Base seca), con un contenido de aluminio del 3.6 % (% P/P). Debido a que este aluminio se presenta en el lodo en la forma de Hidróxido de Aluminio $Al(OH)_3$, la masa de este compuesto en lodo es de un 10.44 % (% P/P), lo que representa un masa de 2.809 Ton/Año como $Al(OH)_3$.

Para este nivel de concentración de hidróxido de aluminio la necesidad de químico para la extracción del aluminio se expresa en la Tabla 7.

Tabla 6. Cantidad y costos de los reactivos para la reacción con el hidróxido de aluminio presente en los lodos de la Refinería.

Hidroxido de Aluminio	Ácido			Sal
	Sulfurico	Clorhidrico	Nítrico	KCL
(Ton)	(Ton)	(Ton)	(Ton)	(Ton)
2809	5,281	3,933	3,371	8,034
	\$/Ton	\$/Ton	\$/Ton	\$/Ton
	1,029,000	700,000	600,000	1,220,000
<i>Subtotal (Mill. Pesos)</i>	5,434	2,753	2,022	9,801
	Neutralización con Cal			
	(Ton)	(Ton)	(Ton)	
	4,753	18,994	19,112	
	\$/Ton	\$/Ton	\$/Ton	
	250,000	250,000	250,000	
<i>Subtotal (Mill. Pesos)</i>	1,188	4,749	4,778	
Total (Mill. Pesos)	6,622	7,501	6,801	9,801

Las cifras reveladas en la Tabla 7 son muy elevadas, debido a la gran cantidad de sólidos manipulados, ya que la fuente de abastecimiento que es el Río Magdalena presenta una concentración promedio de sólidos suspendidos de 1.391 mg/L y un caudal promedio de 10.000 gpm, para una producción de lodo de 74 Ton /día (Base Seca).

Comparativamente, las cifras sobrepasan ente siete (7) a ocho (8) veces el costo del tratamiento químico de la clarificación del agua de la planta, la cual presenta un valor unitario cercano a los 350 \$Pesos/Kgal (Dosificación de sulfato y ayudante, periodo 2010) para un total anual de **1.840 Millones \$Pesos COL**. Lo cual pone en manifiesto la inviabilidad de las técnicas de extracción de Aluminio, frente a una posible sustitución del coagulante utilizado (Sulfato de Aluminio), por un coagulante orgánico que pudiera llegar incluso a duplicar el precio del tratamiento de clarificación del agua en la planta.

6.3. ANÁLISIS DE LA DISPOSICIÓN FINAL DEL LODO

Actualmente la Gerencia Refinería de Barrancabermeja de Ecopetrol S.A. (GRB) realiza la captación de cerca de 10.000 gpm (630 L/s). Con un contenido promedio de 1.391 mg/L como sólido suspendido, lo que equivale a **27.010 Ton/Año ó 20.777 M3/año de sólidos en base seca** (Con una densidad relativa de 1,3 como limo). Debido a estos valores tan altos de sólidos a manejar, se han considerado dos alternativas para la disposición del lodo:

6.3.1. Disposición en Relleno sanitario:

Es el método común de disposición de lodos, debido a sus bajos costos, la disponibilidad de Rellenos Sanitarios en cercanías a las plantas de agua y por la posibilidad de disponer el lodo deshidratado sin la necesidad de extraer el Aluminio. Esta técnica consiste en lograr la mayor deshidratación posible del lodo para que pueda ser aceptada en el Relleno Sanitario (Decreto 838 de 2005 del MAVDT), siempre y cuando el relleno se ubique en las cercanías de la planta generadora, en este caso la GRB, y tenga la capacidad de recibir el volumen promedio de lodos diarios que se requieren disponer (74 Ton/día).

El caso más tácito es el Relleno Sanitario la Esmeralda del municipio de Barrancabermeja, el cual se encuentra a una distancia de 15 Km de la GRB, cuenta con la autorización para disposición, pero tiene la limitante de la cantidad de lodos que se pueden disponer allí, ya que este relleno sanitario maneja actualmente 150 Ton/día ⁽¹²⁾ de residuos. Esto representa aumentar un 50% la

cantidad de residuos que se disponen en la celda transitoria, por lo que NO se podrían disponer los lodos deshidratados en dicho lugar.

Para la aplicación de esta opción en otro relleno sanitario que cumpla con los requisitos de ley se tendrían que tomar en cuenta los rellenos sanitarios de los municipios de Bucaramanga y de Aguachica, los cuales se encuentran a 130 y 180 Km de la GRB respectivamente, lo que incrementaría el costo del transporte y lo haría inviable.

Debido a las características descritas hasta el momento, esta alternativa se hace inviable operativa y económicamente.

6.3.2. Disposición directa en el suelo y en cultivos.

Esta técnica es utilizada comúnmente para los lodos producto de las plantas de tratamiento de aguas residuales, las cuales presentan ventajas al suministrarlo a ciertos cultivos NO alimenticios, ya que aporta buenas concentración de elementos menores, así como Nitrógeno y Fosforo.

Para el caso de los lodos de la GRB, esta alternativa se contempla para la aplicación del lodo deshidratado en los cultivos de palma africana por ser el cultivo de mayor extensión en la región y con la premisa que el lodo NO contendrá los niveles de Aluminio total generado por la clarificación con coagulantes a base de Aluminio, es decir, que se tuvieran los tratamientos de extracción o el cambio químico en el coagulante que no permitan la presencia del Aluminio en el lodo.

Teniendo en cuenta las anteriores premisas se describe a continuación la alternativa de disposición de lodos en el suelo:

➤ Aspectos generales:

El Territorio del Magdalena Medio Santandereano comprende alrededor de 30 Mil Ha de Palma africana cultivada ⁽¹³⁾ el cual lo convierte en el cultivo de mayor producción en esta región. De estas 30 mil Hectáreas cultivadas, Barrancabermeja cuenta con 4700 Ha ⁽¹⁴⁾, en una mayor proporción se establecieron en Puerto Wilches las empresas Palmas Oleaginosas Bucarelia, Agropecuaria Monterrey y Oleaginosas Brisas, cada una de estas empresas con no menos de 2000 Ha de Palma sembrada para suplir la producción de aceite de palma de cada una de sus plantas de producción. Según Fedepalma (Federación Nacional de cultivadores de Palma) el Magdalena Medio es la región de mayor producción de palma africana del país, que se compone del Sur del Cesar, El Magdalena Medio Santandereano (Puerto Wilches), los cuales tiene suelos planos o ligeramente ondulados, buena luminosidad (2,195 promedio horas sol) aceptable precipitación (2,433 mm) buenas vías de comunicación hacia el interior y a la costa atlántica, sin embargo tiene desventajas en relación con la regular fertilidad

de los suelos ⁽¹⁵⁾. Es este último aspecto el de mayor relevancia, para aprovechar las características presentes en los lodos de clarificación del Río Magdalena.

En trabajos realizados por agrónomos en suelos destinados a la palma africana, se describe al cultivo como uno de los más exigentes en Nitrógeno y Potasio en comparación con otros cultivos de semejanza en explotación tecnológica, por tanto si no se mantiene una fertilización adecuada de los elementos, se genera con facilidad un agotamiento del suelo y por ende una deficiencia en la planta, es por ello que se deben mantener obligatoriamente programas bien establecidos de fertilización.

Canchano Eliecer, a través de estudios en la zona norte Colombiana (Departamentos de Magdalena, Atlántico, Bolívar) y plasmados en su libro **Nutrición y fertilización en palma de aceite** ⁽¹⁵⁾, describe las características fisicoquímicas de los suelos críticas* para una producción de un año en un plantación de palma africana (Ver Tabla 8).

Tabla 7. Niveles críticos de fertilidad usados en la costa norte Colombiana

NIVELES CRITICOS USADOS EN LA COSTA NORTE COLOMBIANA		
COMPONENTE	UNIDAD	VALOR
MATERIA ORGÁNICA	% Peso	5
CALCIO	meq/100 g	4
MAGNESIO	meq/100 g	2
POTASIO	meq/100 g	0,45
FOSFORO DISPONIBLE	mg/kg	18
NITROGENO: N (Asimilable)	%	0,0055
PH (1:1) SUELO/AGUA	Unidades de pH	6,5-7,5
COBRE	mg/Kg	1,5
ZINC	mg/Kg	2
HIERRO	mg/Kg	40
MOLIBDENO	mg/Kg	0,2
AZUFRE	mg/Kg	20
BORO	mg/Kg	1,2

FUENTE: Nutrición y fertilización en la palma de aceite ⁽³⁾

El Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) es la institución técnica a nivel nacional que se encarga de proveer las bases conceptuales de las aptitudes en los suelos para los distintos cultivos del país. El ICA tiene en cuenta unos rangos promedios de los nutrientes presentes en el suelo de acuerdo a su concentración (Tabla 9).

Tabla 8. Características de las concentraciones de nutrientes en el suelo según el ICA.

CARACTERÍSTICAS DE LAS CONCENTRACIONES DE NUTRIENTES EN EL SUELO SEGÚN EL ICA					
COMPONENTE	UNIDAD	VALOR			OBSERVACIONES
		Bajo	Medio	Alto	
ACIDEZ INTERCAMBIABLE	meq/100 g	-	-	2	Debe ser menor que 2
CAPACIDAD DE INTERCAMBIO	meq/100 g	10 ≤	10 - 20	≤20	Favorece los niveles altos
CARBONO ORGANICO TOTAL	% Peso	1,16 ≤	1,33	≤1,74	Favorece los niveles altos
MATERIA ORGÁNICA (En Clima Calido)	% Peso	2 ≤	2.3	≤3	Favorece los niveles altos
NITROGENO: N(Asimilable)	%	0,1 ≤	0,1 - 0,15	≤0,15	Favorece los niveles altos
CALCIO	meq/100 g	3 ≤	3 - 6	≤6	Favorece los niveles altos
MAGNESIO	meq/100 g	1,5 ≤	1,5 - 2,5	≤ 2,5	Favorece los niveles altos
POTASIO	meq/100 g	0,2 ≤	0,2 - 0,4	≤ 0,4	Favorece los niveles altos
SODIO	meq/100 g	-	-	1 ≤	Su contenido debe ser menor que 1
FOSFORO DISPONIBLE	mg/kg	-	-	-	Varía de acuerdo al cultivo
PH (1:1) SUELO/AGUA	Unidades de pH	6,5 ≤	6,6 - 7,3	≤ 7,4	Debe tender a la neutralidad
COBRE	mg/Kg	1 ≤	1 - 3	≤ 3	Favorece los niveles altos
ZINC	mg/Kg	1,5 ≤	1,5 - 3	≤ 3	Favorece los niveles altos
HIERRO	mg/Kg	25 ≤	25 - 50	≤ 50	Favorece los niveles altos
MANGANESO	mg/Kg	5 ≤	5 - 10	≤ 10	Favorece los niveles altos
BORO	mg/Kg	0,2 ≤	0,2 - 0,4	≤ 0,4	Favorece los niveles altos
MOLIBDENO	mg/Kg	0,2 ≤	-	-	Favorece los niveles altos

FUENTE: ICA. Fertilización de diversos cultivos⁽¹⁴⁾

➤ **Características de los sólidos del río Magdalena y su aporte nutricional**

Basados en las concentraciones necesarias para los suelos de producción agrícola del cultivo de palma africana descrita en la Tabla 7, las características mínimas de fertilización del ICA (Tabla 8) y la caracterización del lodo de clarificación (Tabla 4), se pueden definir las aptitudes de los sólidos del Río y su aporte nutricional para cada elemento.

- **Materia Orgánica y Carbono Orgánico:** Son variables proporcionales, ya que la materia orgánica (M.O.) es el 1,724 del contenido de Carbono orgánico. De la concentración de M.O. en los sólidos del Río Magdalena se estima es alta (2,9% de M.O.), lo cual favorece las plantaciones en que se desee utilizar el sólido.
- **Nitrógeno Asimilable y Nitrógeno total:** El Nitrógeno asimilable es una variable relacionada directamente con la materia orgánica, al dividir el contenido de materia orgánica entre 20 se obtiene el nitrógeno asimilable u orgánico. El contenido del Nitrógeno asimilable es alto (0,1465% ó 1465ppm) y está inmediatamente disponible por la planta. El contenido de Nitrógeno total (2509 ppm) se presentan 1044 ppm como reserva en el sólido para su potencial aprovechamiento de las plantas.
- **Acidez Intercambiable:** La acidez intercambiable de este sólido es baja (0,08 meq/100 gr), lo que indica que el sólido no presenta problemas del Aluminio intercambiable y iones de hidrogeno, que ocasionan dificultad en las plantas para adquirir nutrientes. Con la salvedad que el lodo no presente el aluminio del proceso de clarificación, el cual puede potencializar el efecto de este parámetro a diferentes niveles de pH.
- **Capacidad de Intercambio Cationico:** La capacidad de intercambio es media (13,6 meq/100gr), lo que permite una asimilación de nutrientes alta, y se traduce en una disponibilidad de las plantas para desarrollarse favorablemente.
- **Calcio:** El sólido presenta niveles altos de calcio tanto en el ámbito general como en las necesidades de la palma africana, sin embargo estos niveles

no son tóxicos para los cultivos, siempre y cuando se acondicione una relación Calcio/Magnesio del orden de 1/4.

- **Magnesio:** El Magnesio presenta concentraciones bajas (0,31 meq/100 gr), desfavorable para la mayoría de los cultivos y para la palma africana, por lo cual es recomendable su adecuación con la aplicación de fertilizantes para obtener concentraciones entre 2 a 3 meq/100 gr de Magnesio.
- **Potasio:** El Potasio es bajo (0,17 meq/100gr) para las características generales y para las necesidades de la palma africana, es recomendable en este caso la aplicación de este nutriente por medio de abonos inorgánicos, hasta un nivel de 0,5 meq/100g.
- **Sodio:** Al estar los niveles de Sodio por debajo de un (1) meq/100g define los sólidos como un material sin problemas de sales y apto para cualquier cultivo.
- **Fosforo:** Generalmente no se asocia el Fosforo como un elemento que posea bajas u altas concentraciones en el suelo, su análisis se referencia con base en las necesidades de cada cultivo. Por tal motivo se define que el Fosforo se encuentra en bajas concentraciones (3,5 ppm) para el cultivo de palma africana, que debe tener un nivel de 18 ppm y se debe mejorar con la aplicación de un fertilizante fosforado.
- **pH:** El pH es casi neutro (7,3) y sus beneficios varían de acuerdo a la necesidad de los cultivos, el pH generalmente debe encontrarse entre 6,0 y 6,5 que es ligeramente ácido, lo cual es una condición adecuada para el crecimiento de la mayoría de los cultivos debido a la buena disponibilidad del Potasio y micronutrientes y una moderada disponibilidad de Calcio y Magnesio. En la Palma africana se recomienda trabajar con un pH de 6,5 a 7,3 aún con su alta disponibilidad de Calcio Y magnesio y moderada disponibilidad de fosforo y micronutrientes. Sin embargo cabe destacar que el valor presente no es excesivo y es favorable para el cultivo de la palma africana.
- **Textura:** Los beneficios de la textura de los suelos varía de acuerdo al tipo de cultivo, por lo cual cabe señalar que, la textura limosa del sólido del Río Magdalena es favorable para el cultivo de palma africana, *ya que los mejores suelos para la palma son los limosos profundos y deben ser bien drenados. Se deben evitar los suelos con texturas extremas: los de textura*

arcillosa, ya que por lo general, ocasionan problemas de drenaje; los de texturas muy gruesas o arenosas tienen problemas de retención de agua y pobre balance nutricional ⁽¹⁶⁾.

➤ **Elementos menores**

Los elementos menores en los sólidos del Río Magdalena presentan condiciones particulares, debido a sus elevadas concentraciones con respecto a las características generales que deben poseer los suelos para una adecuada condición nutricional en los cultivos, e incluso en los suelos destinados a la palma africana. En el campo de la agricultura niveles muy elevados de cualquiera de estos micronutrientes puede generar características tóxicas sobre los cultivos, por tal razón para este caso se analiza dichas concentraciones para establecer su posible toxicidad ante un eventual disposición en terrenos de cultivo de la palma africana.

Bibliográficamente y por normativa de algunos países ya se tienen descritos los niveles y/o concentraciones en donde se comienza a presentar toxicidad en las plantas por concentraciones elevadas de micronutrientes (Metales), tal es el caso de Estados Unidos y la Unión Europea que tienen definidos los límites de metales, tanto para el suelo de uso agrícola, como para los lodos que se deseen disponer en el suelo, los cuales se pueden hallar en el orden descritos en las tablas siete (7) y ocho (8). En el caso Colombiano, NO se posee este tipo de normatividad, así como no existe una guía técnica por parte del ICA.

Tabla 9. Contenidos máximos de metales pesados totales permitidos en lodos para aplicar en suelos destinados a uso agrícola.

CONTENIDOS MÁXIMOS DE METALES PESADOS TOTALES PERMITIDOS EN LODOS PARA APLICAR EN SUELOS DESTINADOS A USO AGRICOLA			
METAL	UNIÓN EUROPEA*		US EPA**
	Suelo pH<7 (mg/Kg)	Suelo pH>7 (mg/Kg)	(mg/Kg)
As	-	-	75
Cd	20	40	85
Cu	1000	1750	4300
Hg	16,00	25,00	840
Ni	300	400	75
Pb	750	1200	420
Se	-	-	100
Zn	2500	4000	7500
Cr	1000	1500	3000
Mo	-	-	57

Fuente: *Directiva 86/278/EEC (Marzo 2003) **Norma 503-40 CFR/1993 (USEPA 1993)

Tabla 10. Contenidos máximos de metales pesados totales en suelos destinados a uso agrícola.

CONTENIDOS MÁXIMOS DE METALES PESADOS TOTALES EN SUELOS DESTINADOS A USO AGRICOLA			
METAL	UNIÓN EUROPEA*		US***
	Suelo pH<7 (mg/Kg)	Suelo pH>7 (mg/Kg)	(mg/Kg)
As	-	-	-
Cd	1	3	20
Cu	50	140	750
Hg	1,00	1,50	8
Ni	30	75	210
Pb	50	300	150
Se	-	-	-
Zn	150	300	1400
Cr	100	150	1500
Mo	-	-	-

Fuente: *Directiva 86/278/EEC (Marzo 2003) ***McGrath et al (1994)⁽¹³⁾.

Basados en estos datos se puede establecer el potencial tóxico que poseen los micronutrientes presentes en los sólidos del Río Magdalena, los cuales se encuentran en la siguiente proporción:

- **Cobre:** La toxicidad umbral para el cobre en el suelo para plantas sensibles es de 25 a 50 ppm, cuando las condiciones del suelo son favorables para la adsorción de cobre por parte de las plantas⁽¹⁷⁾. Por ello se considera que el contenido de 14,4 ppm de Cobre en el sólido del Río Magdalena no tiene efectos tóxicos en el cultivo de la palma africana.
- **Zinc:** El contenido de zinc en el sólido se encuentra elevado (158,3 ppm), sin embargo puede ser utilizado en el suelo agrícola, con la premisa de no disminuir el pH del sólido (7,3) y no usarse en suelos ácidos (pH menor a 6,5) de manera que la disponibilidad del zinc en la planta sea poca.
- **Hierro:** La concentración de Hierro en el sólido es elevado (2,82% ó 28.200ppm), sin embargo, suelos con contenidos de hierro total superiores incluso al 5% no provoca efectos tóxicos en los cultivos que se desarrollen en ellos⁽¹⁸⁾
- **Manganeso:** Los valores normales de **Mn** en suelo son entre 20 y 3000 mg/Kg⁽¹⁹⁾. El contenido de manganeso en este caso es medio (280,2 ppm), por lo que no se registra efectos tóxicos en las plantas por dichos niveles.

7. CONCLUSIONES

La capacidad de extracción del Aluminio presente en los lodos de clarificación por parte del Cloruro de Potasio ha sido comprobada, presentando los mejores resultados de extracción en una relación de mezcla de 1.6:1 (KCL:Al(OH)₃) pasando de concentraciones de Aluminio de 3.6 % (% P/P) a 1.13%, en conjunto con un tiempo optimo de mezcla de 15 minutos, lo que representa una eficiencia en la remoción del 68 %.

El costo del tratamiento químico por medio de la extracción con Cloruro de Potasio, (teniendo presente solo los costos variables del producto KCL) para los lodos de clarificación de la planta de agua refinera U-850 es del orden de los 9.800 Millones \$Pesos COL, por lo que a este nivel de investigación lo hace inviable económicamente como tratamiento para el caso en particular.

El lodo deshidratado de la planta de agua refinera presenta excelentes características para ser dispuesto en el suelo o en plantaciones como las de Palma Africana, ya que revela ventajas nutricionales a este cultivo y al suelo como los es su textura limosa, niveles de nitrógeno asimilable del orden de los 1400 ppm y abundantes elementos menores, siempre y cuando se garantice la extracción o NO presencia del aluminio del proceso de clarificación en estos.

8. RECOMENDACIONES

Se recomienda continuar el caso de estudio de la extracción del Aluminio presente en los lodos por medio del Cloruro de Potasio, ampliando el número de pruebas, mayores tiempos de mezcla, mayor variación en las relaciones Cloruro de Potasio y Aluminio, así como la incorporación de nuevas variables como lo es la intensidad del mezclado.

Se recomienda profundizar el nivel de investigación para la técnica de la extracción con Cloruro de Potasio para tratar los lodos de la planta de agua de la refinería Barrancabermeja U-850, así como evaluar otros costos asociados al proceso de tratamiento, como lo son la seguridad industrial en el proceso y materiales de los equipos.

Se recomienda descartar cualquier proceso de acidificación para el tratamiento de los lodos de la planta de agua refinería por sus altos costos y sus riesgos en la seguridad industrial, por lo que se debe evaluar la posibilidad de cambiar el producto químico utilizado actualmente (Sulfato de Aluminio) por otro que no contenga Aluminio o sea de naturaleza orgánica.

En el caso de presentarse la posibilidad de cambio del producto coagulante, se recomienda la disposición directa en el suelo o en los cultivos de palma africana de los lodos de clarificación, debido a las ventajas nutricionales presentes en estos.

9. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. SERVICIO AGRICOLA Y GANADERO DEL GOBIERNO DE CHILE (SAG)- UNIVERSIDAD DE CHILE. Criterios de Calidad de suelos y de aguas o efluentes tratados para uso en riego. Anexo A. Fichas por parámetro- Aluminio. Marzo de 2005.
2. SADZAWKA ANGÉLICA, CAMPILLO RICARDO. Acidificación de los suelos y los procesos involucrados. Internet:
http://www.inia.cl/remehue/publicaciones/online/serie_remehue/65/cap1.pdf
3. ICA. Fertilización de diversos cultivos. Manual de asistencia técnica N°25. Quinta aproximación. Tibaitatá Nov. 1992.
4. SAWYER CLAIR N. química para ingeniería ambiental. Bogotá: Editorial Mc Graw-Hill, 2001. 713 pág. Página 48.
5. CAMARGO HERNANDEZ, JAIME. Practicas de análisis químico de suelos. Especialización de Química Ambiental. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga 2008. 46 Pág. Páginas consultadas: 16 y 17.
6. PEREZ JUAN CARLOS. La acidez del suelo y su manejo. Internet:
www.unalmed.edu.co/~jcperez/PresentacionAcidez.pdf
7. PANIZZA DE LEÓN, AMALIA. Fitoextracción de aluminio contenido en residuos de potabilización. XXXI Congreso interamericano AIDIS. (12-15 Octubre de 2008, Santiago Chile) Memorias. 6 Pág.
8. PAVÓN SILVA, THELMA BEATRIZ. Tratamiento de lodos de una potabilizadora para la recuperación de aluminio y hierro como coagulantes. Internet: <http://www.cepis.org.pe/bvsAIDIS/PuertoRico29/silva.pdf>
9. VILLEGAS G. JUAN DAVID, Recuperación de sulfato de aluminio a partir de lodos generados en plantas de potabilización de agua. Internet: <http://www.utp.edu.co/php/revistas/ScientiaEtTechnica/docsFTP/135141223-228.pdf>

10. KUEHL O. ROBERT. Diseño de experimentos, Principios estadísticos de diseño y análisis de investigación. Editorial Thomson-Learning. 2da Edición 2001. 666 páginas. Páginas consultadas: 232 a 238.
11. ROMERO ROJAS, Jairo Alberto. Purificación del agua. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería, 2da Edición 2006. 473 páginas.
12. Artículo del periódico el frente, Mayo 2009. Internet: http://www.elfrente.com.co/index.php?option=com_content&view=article&id=1118:solo-aguas-de-barrancabermeja-otorgara-permiso-para-usar-celda-transitoria&catid=71:barrancabermeja&Itemid=106.
13. NOTAS ECONOMICAS REGIONALES NOVIEMBRE 2003. Internet: http://www.banrep.org/documentos/publicaciones/pdf/rco_1.pdf
14. Que retos tiene palmicultores y caucheros para esta vigencia? Viernes 23 de Enero de 2009. Vanguardia Liberal. Internet: <http://www.vanguardia.com/archivo/18683-ique-retos-tienen-palmicultores-y-caucheros-para-esta-vigencia>
15. CANCHANO, ELIECER. Nutrición y fertilización en palma de aceite. Editorial Universidad del Magdalena Primera Edición. Santa Martha 2002.
16. La palma en puerto wilches Internet: <http://www.frutosdepalma.org/index.php?pag=14>
17. Criterios de calidad de suelos y agua o efluentes tratados para uso en riego. (Zinc). Internet: http://www2.sag.gob.cl/biblioteca_digital/documentos/medio_ambiente/criterios_calidad_suelos_aguas_agricolas/pdf_aguas/anexo_A/zinc.pdf
18. Los micronutrientes y su utilización en la agricultura. 6. Hierro. Internet: <http://www.asufrar.com.ar/hierro.html#66->
19. Los micronutrientes y su utilización en la agricultura. 7. Manganeseo. Internet: <http://www.asufrar.com.ar/manganeseo.html#71>

10. ANEXOS

Anexo 1.

Procedimiento para la determinación de la acidez intercambiable.

○ **Reactivos:**

Cloruro de potasio KCL a 1 N
Fenolftaleína al 0.1%
Hidróxido de sodio 0.1 N

○ **Procedimiento:**

Pesar 5 gramos de suelo seco y molido; agregar 25 ml de KCL 1 N; agitar durante 10 minutos y filtrar. Recoger el filtrado en un erlenmeyer. A la solución filtrada agregar unas gotas de fenolftaleína al 0.1% y valorar con solución de NaOH 0.1 N hasta la aparición de un color rosado pálido.

○ **Cálculos:**

La acidez intercambiable se expresa en mili equivalentes de H⁺ y Al⁺³ por 100 gr de suelo

$$\frac{meq(H^{+3} + Al^{+3})}{100 \text{ g de suelo}} = \frac{(V_{ml NaOH} \times N_{NaOH}) \times 100}{\text{Peso muestra}}$$

$$= \frac{(V_{ml NaOH} \times 0.1N) \times 100}{5 \text{ g}}$$

$$= V_{ml NaOH} \times 2$$

Anexo 2.

Resultados de los análisis de laboratorio realizados por el laboratorio de consultas industriales de la Universidad Industrial de Santander (UIS).

	LABORATORIO QUIMICO DE CONSULTAS INDUSTRIALES	Código: F-PA-02	
	POST-ANALITICO	Versión: 02	
	INFORME DE RESULTADOS	Fecha: 12/10/2010 Página 1 de 13	

Solicitud No. 10-369	Fecha de emisión: Octubre 21 de 2010
Cliente: HENRY CONTRERAS LEON	
Dirección del cliente: Refinería de Barrancabermeja	
No. de muestras: 13	
Fecha de recepción de las muestras: Octubre 06 de 2010	
Muestras recibidas por: Johanna Riveros	
Fecha de análisis: Octubre 08 de 2010 – Octubre 21 de 2010	

1. ANALISIS FISICOQUIMICO

Codificación de la Muestra: 10-369-01	Tipo de muestra: Compuesta
Identificación de la muestra: Lodo de Clarificación	
Matriz de la muestra: Lodo	
Muestreo realizado por: Henry Contreras León	
Lugar y punto de muestreo: Refinería de Barrancabermeja / Planta de Tratamiento de Agua Industrial	
Fecha del muestreo:	

PARAMETRO	RESULTADO	METODO
Aluminio Total (%Al)	3,61	Absorción Atómica

Observaciones: *Ninguna*

Nota 1: Estos resultados son válidos únicamente para las muestras analizadas y reportadas por el laboratorio.

Nota 2: En caso de ser copia del resultado original se realizará la siguiente aclaración: Copia del resultado original.



Estimado cliente: Para nosotros es muy importante conocer sus inquietudes, sugerencias, felicitaciones, quejas y/o reclamos en los servicios prestados por el laboratorio, con el propósito de mejorar nuestros servicios. Le agradecemos que se comunique con el laboratorio, donde un miembro del personal amablemente recibirá su solicitud y pronto estaremos en comunicación con usted para adiar y/o resolver su requerimiento.

Elaboró:

Johanna Riveros
Analista del Laboratorio Químico
Certificado de Inscripción Profesional
No 68663005907 STD

Revisó y aprobó:

Luz Yolanda Vargas Fiallo
Directora del Laboratorio
Química. Msc Química UIS
MP PQ 1144

	LABORATORIO QUIMICO DE CONSULTAS INDUSTRIALES	Código: F-PA-02	
	POST-ANALITICO	Versión: 02	
	INFORME DE RESULTADOS	Fecha: 12/10/2010 Página 2 de 13	

Solicitud No. 10-369	Fecha de emisión: Octubre 21 de 2010
Cliente: HENRY CONTRERAS LEON	
Dirección del cliente: Refinería de Barrancabermeja	
No. de muestras: 13	
Fecha de recepción de las muestras: Octubre 06 de 2010	
Muestras recibidas por: Johanna Riveros	
Fecha de análisis: Octubre 08 de 2010 – Octubre 21 de 2010	

1. ANALISIS FISICOQUIMICO

Codificación de la Muestra: 10-369-02	Tipo de muestra: Compuesta
Identificación de la muestra: Lodo de Clarificación	
Matriz de la muestra: Lodo	
Muestreo realizado por: Henry Contreras León	
Lugar y punto de muestreo: Refinería de Barrancabermeja / Planta de Tratamiento de Agua Industrial	
Fecha del muestreo:	

PARAMETRO	RESULTADO	METODO
Aluminio Total (%Al)	2,33	Absorción Atómica

Observaciones: *Ninguna*

Nota 1: Estos resultados son válidos únicamente para las muestras analizadas y reportadas por el laboratorio.

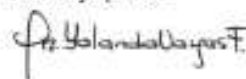
Nota 2: En caso de ser copia del resultado original se realizará la siguiente aclaración: Copia del resultado original.

Estimado cliente: Para nosotros es muy importante conocer sus inquietudes, sugerencias, felicitaciones, quejas y/o reclamos en los servicios prestados por el laboratorio, con el propósito de mejorar nuestros servicios. Le agradecemos que se comunique con el laboratorio, donde un miembro del personal amablemente recibirá su solicitud y pronto estaremos en comunicación con usted para aclarar y/o resolver su requerimiento.



Elaboró:

Johanna Riveros
Analista del Laboratorio Químico
Certificado de Inscripción Profesional
No 68663005907STD

Revisó y aprobó:



Luz Yolanda Vargas Fiallo
Directora del Laboratorio
Química. Msc Química UIS
MP PQ 1144

	LABORATORIO QUIMICO DE CONSULTAS INDUSTRIALES	Código: F-PA-02	
	POST-ANALITICO	Versión: 02	
	INFORME DE RESULTADOS	Fecha: 12/10/2010 Página 3 de 13	

Solicitud No. 10-369	Fecha de emisión: Octubre 21 de 2010
Cliente: HENRY CONTRERAS LEON	
Dirección del cliente: Refinería de Barrancabermeja	
No. de muestras: 13	
Fecha de recepción de las muestras: Octubre 06 de 2010	
Muestras recibidas por: Johanna Riveros	
Fecha de análisis: Octubre 08 de 2010 – Octubre 21 de 2010	

1. ANALISIS FISICOQUIMICO

Codificación de la Muestra: 10-369-03	Tipo de muestra: Compuesta
Identificación de la muestra: Lodo de Clasificación	
Matriz de la muestra: Lodo	
Muestreo realizado por: Henry Contreras León	
Lugar y punto de muestreo: Refinería de Barrancabermeja / Planta de Tratamiento de Agua Industrial	
Fecha del muestreo:	

PARAMETRO	RESULTADO	METODO
Aluminio Total (%Al)	2,19	Absorción Atómica

Observaciones: **Ninguna**

Nota 1: Estos resultados son válidos únicamente para las muestras analizadas y reportadas por el laboratorio.

Nota 2: En caso de ser copia del resultado original se realizará la siguiente aclaración: Copia del resultado original.

Estimado cliente: Para nosotros es muy importante conocer sus inquietudes, sugerencias, felicitaciones, quejas y/o reclamos en los servicios prestados por el laboratorio, con el propósito de mejorar nuestros servicios. Le agradecemos que se comunique con el laboratorio, donde un miembro del personal amablemente recibirá su solicitud y pronto estaremos en comunicación con usted para aclarar y/o resolver su requerimiento.

Elaboró:

Johanna Riveros
Analista del Laboratorio Químico
Certificado de Inscripción Profesional
No 68663005907 STD

Revisó y aprobó:



Luz Yolanda Vargas Fiallo
Directora del Laboratorio
Química, Msc Química UIS
MP PQ 1144

	LABORATORIO QUIMICO DE CONSULTAS INDUSTRIALES	Código: F-PA-02	
	POST-ANALITICO	Versión: 02	
	INFORME DE RESULTADOS	Fecha: 12/10/2010 Página 4 de 13	

Solicitud No. 10-369	Fecha de emisión: Octubre 21 de 2010
Cliente: HENRY CONTRERAS LEON	
Dirección del cliente: Refinería de Barrancabermeja	
No. de muestras: 13	
Fecha de recepción de las muestras: Octubre 06 de 2010	
Muestras recibidas por: Johanna Riveros	
Fecha de análisis: Octubre 08 de 2010 – Octubre 21 de 2010	

1. ANALISIS FISICOQUIMICO

Codificación de la Muestra: 10-369-04	Tipo de muestra: Compuesta
Identificación de la muestra: Lodo de Clarificación	
Matriz de la muestra: Lodo	
Muestreo realizado por: Henry Contreras León	
Lugar y punto de muestreo: Refinería de Barrancabermeja / Planta de Tratamiento de Agua Industrial	
Fecha del muestreo:	

PARAMETRO	RESULTADO	METODO
Aluminio Total (%Al)	2,02	Absorción Atómica

Observaciones: *Ninguna*

Nota 1: Estos resultados son válidos únicamente para las muestras analizadas y reportadas por el laboratorio.

Nota 2: En caso de ser copia del resultado original se realizará la siguiente aclaración: Copia del resultado original.

Estimado cliente: Para nosotros es muy importante conocer sus inquietudes, sugerencias, felicitaciones, quejas y/o reclamos en los servicios prestados por el laboratorio, con el propósito de mejorar nuestros servicios. Le agradecemos que se comunique con el laboratorio, donde un miembro del personal amablemente recibirá su solicitud y pronto estaremos en comunicación con usted para aclarar y/o resolver su requerimiento.

Elaboró:

Johanna Riveros
Analista del Laboratorio Químico
Certificado de Inscripción Profesional
No 68663005907STD

Revisó y aprobó:

Luz Yolanda Vargas Fiallo
Directora del Laboratorio
Química, Mec. Química UIS
MP PQ 1144

	LABORATORIO QUIMICO DE CONSULTAS INDUSTRIALES	Código: F-PA-02	
	POST-ANALITICO	Versión: 02	
	INFORME DE RESULTADOS	Fecha: 12/10/2010 Página 5 de 13	

Solicitud No. 10-369	Fecha de emisión: Octubre 21 de 2010
Cliente: HENRY CONTRERAS LEON	
Dirección del cliente: Refinería de Barrancabermeja	
No. de muestras: 13	
Fecha de recepción de las muestras: Octubre 06 de 2010	
Muestras recibidas por: Johanna Riveros	
Fecha de análisis: Octubre 08 de 2010 – Octubre 21 de 2010	

1. ANALISIS FISICOQUIMICO

Codificación de la Muestra: 10-369-05	Tipo de muestra: Compuesta
Identificación de la muestra: Lodo de Clarificación	
Matriz de la muestra: Lodo	
Muestreo realizado por: Henry Contreras León	
Lugar y punto de muestreo: Refinería de Barrancabermeja / Planta de Tratamiento de Agua Industrial	
Fecha del muestreo:	

PARAMETRO	RESULTADO	METODO
Aluminio Total (%Al)	2,18	Absorción Atómica

Observaciones: *Ninguna*

Nota 1: Estos resultados son válidos únicamente para las muestras analizadas y reportadas por el laboratorio.

Nota 2: En caso de ser copia del resultado original se realizará la siguiente aclaración: Copia del resultado original.



Estimado cliente: Para nosotros es muy importante conocer sus inquietudes, sugerencias, felicitaciones, quejas y/o reclamos en los servicios prestados por el laboratorio, con el propósito de mejorar nuestros servicios. Le agradecemos que se comunique con el laboratorio, donde un miembro del personal amablemente recibirá su solicitud y pronto estaremos en comunicación con usted para aclarar y/o resolver su requerimiento.

Elaboró:

Johanna Riveros
Analista del Laboratorio Químico
Certificado de Inscripción Profesional
No 68663005907STD

Revisó y aprobó:

Luz Yolanda Vargas Fiallo
Directora del Laboratorio
Química: Msc Química UIS
MP PQ 1144

	LABORATORIO QUIMICO DE CONSULTAS INDUSTRIALES	Código: F-PA-02	
	POST-ANALITICO	Versión: 02	
	INFORME DE RESULTADOS	Fecha: 12/10/2010 Página 6 de 13	

Solicitud No. 10-369	Fecha de emisión: Octubre 21 de 2010
Cliente: HENRY CONTRERAS LEON	
Dirección del cliente: Refinería de Barrancabermeja	
No. de muestras: 13	
Fecha de recepción de las muestras: Octubre 06 de 2010	
Muestras recibidas por: Johanna Riveros	
Fecha de análisis: Octubre 08 de 2010 – Octubre 21 de 2010	

1. ANALISIS FISICOQUIMICO

Codificación de la Muestra: 10-369-06	Tipo de muestra: Compuesta
Identificación de la muestra: Lodo de Clarificación	
Matriz de la muestra: Lodo	
Muestreo realizado por: Henry Contreras León	
Lugar y punto de muestreo: Refinería de Barrancabermeja / Planta de Tratamiento de Agua Industrial	
Fecha del muestreo:	

PARAMETRO	RESULTADO	METODO
Aluminio Total (%Al)	2,15	Absorción Atómica

Observaciones: **Ninguna**

Nota 1: Estos resultados son válidos únicamente para las muestras analizadas y reportadas por el laboratorio.

Nota 2: En caso de ser copia del resultado original se realizará la siguiente aclaración: Copia del resultado original.

Estimado cliente: Para nosotros es muy importante conocer sus inquietudes, sugerencias, felicitaciones, quejas y/o reclamos en los servicios prestados por el laboratorio, con el propósito de mejorar nuestros servicios. Le agradecemos que se comunique con el laboratorio, donde un miembro del personal amablemente recibirá su solicitud y pronto estaremos en comunicación con usted para aclarar y/o resolver su requerimiento.

Elaboró:

Johanna Riveros
Analista del Laboratorio Químico
Certificado de Inscripción Profesional
No 68663005907STD

Revisó y aprobó:



Luz Yolanda Vargas Fiallo
Directora del Laboratorio
Química, Msc Química UIS
MP PQ 1144

	LABORATORIO QUIMICO DE CONSULTAS INDUSTRIALES	Código: F-PA-02	
	POST-ANALITICO	Versión: 02	
	INFORME DE RESULTADOS	Fecha: 12/10/2010 Página 7 de 13	

Solicitud No. 10-369	Fecha de emisión: Octubre 21 de 2010
Cliente: HENRY CONTRERAS LEON	
Dirección del cliente: Refinería de Barrancabermeja	
No. de muestras: 13	
Fecha de recepción de las muestras: Octubre 06 de 2010	
Muestras recibidas por: Johanna Riveros	
Fecha de análisis: Octubre 08 de 2010 – Octubre 21 de 2010	

1. ANALISIS FISICOQUIMICO

Codificación de la Muestra: 10-369-07	Tipo de muestra: Compuesta
Identificación de la muestra: Lodo de Clarificación	
Matriz de la muestra: Lodo	
Muestreo realizado por: Henry Contreras León	
Lugar y punto de muestreo: Refinería de Barrancabermeja / Planta de Tratamiento de Agua Industrial	
Fecha del muestreo:	

PARAMETRO	RESULTADO	METODO
Aluminio Total (%Al)	2,23	Absorción Atómica

Observaciones: *Ninguna*

Nota 1: Estos resultados son válidos únicamente para las muestras analizadas y reportadas por el laboratorio.

Nota 2: En caso de ser copia del resultado original se realizará la siguiente aclaración: Copia del resultado original.



Estimado cliente: Para nosotros es muy importante conocer sus inquietudes, sugerencias, felicitaciones, quejas y/o reclamos en los servicios prestados por el laboratorio, con el propósito de mejorar nuestros servicios. Le agradecemos que se comunique con el laboratorio, donde un miembro del personal amablemente recibirá su solicitud y pronto estaremos en comunicación con usted para aclarar y/o resolver su requerimiento.

Elaboró:

Johanna Riveros
Analista del Laboratorio Químico
Certificado de Inscripción Profesional
No 68663005907STD

Revisó y aprobó:

Luz Yolanda Vargas Fiallo
Directora del Laboratorio
Química, Msc Química UIS
MP PQ 1144

	LABORATORIO QUIMICO DE CONSULTAS INDUSTRIALES	Código: F-PA-02	
	POST-ANALITICO	Versión: 02	
	INFORME DE RESULTADOS	Fecha: 12/10/2010 Página 8 de 13	

Solicitud No. 10-369	Fecha de emisión: Octubre 21 de 2010
Cliente: HENRY CONTRERAS LEON	
Dirección del cliente: Refinería de Barrancabermeja	
No. de muestras: 13	
Fecha de recepción de las muestras: Octubre 08 de 2010	
Muestras recibidas por: Johanna Riveros	
Fecha de análisis: Octubre 08 de 2010 – Octubre 21 de 2010	

1. ANALISIS FISICOQUIMICO

Codificación de la Muestra: 10-369-08	Tipo de muestra: Compuesta
Identificación de la muestra: Lodo de Clarificación	
Matriz de la muestra: Lodo	
Muestreo realizado por: Henry Contreras León	
Lugar y punto de muestreo: Refinería de Barrancabermeja / Planta de Tratamiento de Agua Industrial	
Fecha del muestreo:	

PARAMETRO	RESULTADO	METODO
Aluminio Total (%Al)	2,25	Absorción Atómica

Observaciones: **Ninguna**

Nota 1: Estos resultados son válidos únicamente para las muestras analizadas y reportadas por el laboratorio.

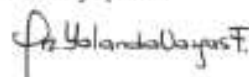
Nota 2: En caso de ser copia del resultado original se realizará la siguiente aclaración: Copia del resultado original.

Estimado cliente: Para nosotros es muy importante conocer sus inquietudes, sugerencias, felicitaciones, quejas y/o reclamos en los servicios prestados por el laboratorio, con el propósito de mejorar nuestros servicios. Le agradecemos que se comunique con el laboratorio, donde un miembro del personal amablemente recibirá su solicitud y pronto estaremos en comunicación con usted para aclarar y/o resolver su requerimiento.



Elaboró:

Johanna Riveros
Analista del Laboratorio Químico
Certificado de Inscripción Profesional
No 68663005907STD

Revisó y aprobó:



Luz Yolanda Vargas Fiallo
Directora del Laboratorio
Química, Msc Química UIS
MP PQ 1144

	LABORATORIO QUIMICO DE CONSULTAS INDUSTRIALES	Código: F-PA-02	
	POST-ANALITICO	Versión: 02	
	INFORME DE RESULTADOS	Fecha: 12/10/2010 Página 9 de 13	

Solicitud No. 10-369	Fecha de emisión: Octubre 21 de 2010
Cliente: HENRY CONTRERAS LEON	
Dirección del cliente: Refinería de Barrancabermeja	
No. de muestras: 13	
Fecha de recepción de las muestras: Octubre 08 de 2010	
Muestras recibidas por: Johanna Riveros	
Fecha de análisis: Octubre 08 de 2010 – Octubre 21 de 2010	

1. ANALISIS FISICOQUIMICO

Codificación de la Muestra: 10-369-09	Tipo de muestra: Compuesta
Identificación de la muestra: Lodo de Clarificación	
Matriz de la muestra: Lodo	
Muestreo realizado por: Henry Contreras León	
Lugar y punto de muestreo: Refinería de Barrancabermeja / Planta de Tratamiento de Agua Industrial	
Fecha del muestreo:	

PARAMETRO	RESULTADO	METODO
Aluminio Total (%Al)	1,75	Absorción Atómica

Observaciones: *Ninguna*

Nota 1: Estos resultados son válidos únicamente para las muestras analizadas y reportadas por el laboratorio.

Nota 2: En caso de ser copia del resultado original se realizará la siguiente aclaración: Copia del resultado original.

Estimado cliente: Para nosotros es muy importante conocer sus inquietudes, sugerencias, felicitaciones, quejas y/o reclamos en los servicios prestados por el laboratorio, con el propósito de mejorar nuestros servicios. Le agradecemos que se comunique con el laboratorio, donde un miembro del personal amablemente recibirá su solicitud y pronto estaremos en comunicación con usted para aclarar y/o resolver su requerimiento.

Elaboró:

Johanna Riveros
Analista del Laboratorio Químico
Certificado de Inscripción Profesional
No 68663005907STD

Revisó y aprobó:



Luz Yolanda Vargas Flallo
Directora del Laboratorio
Química. Msc Química UIS
MP PQ 1144

	LABORATORIO QUIMICO DE CONSULTAS INDUSTRIALES	Código: F-PA-02	
	POST-ANALITICO	Versión: 02	
	INFORME DE RESULTADOS	Fecha: 12/10/2010 Página 10 de 13	

Solicitud No. 10-369	Fecha de emisión: Octubre 21 de 2010
Cliente: HENRY CONTRERAS LEON	
Dirección del cliente: Refinería de Barrancabermeja	
No. de muestras: 13	
Fecha de recepción de las muestras: Octubre 08 de 2010	
Muestras recibidas por: Johanna Riveros	
Fecha de análisis: Octubre 08 de 2010 – Octubre 21 de 2010	

1. ANALISIS FISICOQUIMICO

Codificación de la Muestra: 10-369-10	Tipo de muestra: Compuesta
Identificación de la muestra: Lodo de Clarificación	
Matriz de la muestra: Lodo	
Muestreo realizado por: Henry Contreras León	
Lugar y punto de muestreo: Refinería de Barrancabermeja / Planta de Tratamiento de Agua Industrial	
Fecha del muestreo:	

PARAMETRO	RESULTADO	METODO
Aluminio Total (%Al)	1,13	Absorción Atómica

Observaciones: *Ninguna*

Nota 1: Estos resultados son válidos únicamente para las muestras analizadas y reportadas por el laboratorio.

Nota 2: En caso de ser copia del resultado original se realizará la siguiente aclaración: Copia del resultado original.

Estimado cliente: Para nosotros es muy importante conocer sus inquietudes, sugerencias, felicitaciones, quejas y/o reclamos en los servicios prestados por el laboratorio, con el propósito de mejorar nuestros servicios. Le agradecemos que se comunique con el laboratorio, donde un miembro del personal amablemente recibirá su solicitud y pronto estaremos en comunicación con usted para aclarar y/o resolver su requerimiento.

Elaboró:

Johanna Riveros
Analista del Laboratorio Químico
Certificado de Inscripción Profesional
No 68663005907STD

Revisó y aprobó:

Luz Yolanda Vargas Fiallo
Directora del Laboratorio
Química, Msc Química UIS
MP PQ 1144