

Caracterización del efluente en el proceso de transformación de bauxita a alúmina en la empresa Corporación Venezolana de Guayana – Bauxilum, Ciudad Guayana, Venezuela

Characterization of the effluent in the transformation process of bauxite to alumina at the company Corporación Venezolana de Guayana - Bauxilum, Ciudad Guayana, Venezuela

Jorge Abud¹, Luis Araya^{2*}, Jessica López³

¹ Departamento de Geología, Universidad de Oriente, ² Departamento de Ingeniería de Minas, Universidad de Oriente,

³ Departamento de Minas, Universidad Central de Venezuela.

¹ Jorgeabuds@yahoo.com, ² le.araya@udo.edu.ve, ³ jessimerlop@gmail.com

Resumen- El área de descarga que sirve como cuerpo receptor del efluente industrial que se genera en la planta de alúmina de la empresa Bauxilum, recorre un canal abierto de aproximadamente 650 metros de longitud. Sin embargo, se observan flujos de agua que llevan consigo partículas sólidas y sustancias químicas que se dirigen al canal. Se tomaron 15 muestras de suelo, se seleccionaron 6 de ella. Los análisis granulométricos indican que estos suelos son del tipo SC (suelos arenosos con tamaños de partículas uniformes, con arcillas inorgánicas de baja plasticidad y material gravoso de transición entre roca descompuesta y el suelo). En relación con los análisis químicos se determinó que los suelos son altamente alcalinos, presentando altas concentraciones de sodio (rango entre 5,59% y 8,22%), hierro (rango entre 5,56% y 7,53%) y aluminio (rango entre 10,15% y 18,36%), considerándose ser suelos alcalinos. Estos sedimentos tienen altos niveles de contaminación ambiental, por lo tanto, se deben valorizar para su uso industrial, de esta forma se podría disminuir la potencial afectación de las áreas aledañas a la planta de alúmina.

Palabras clave- Área de descarga, sedimento, efluente, partículas sólidas.

Abstract- Discharge area that serves as a receiving body of industrial effluent produced in the alumina plant Bauxilum company, runs an open channel of approximately 650 meters long. However, water flows that carry solid particles and chemicals that target channel are observed. 15 soil samples were taken, 6 are selected. According to the granulometric analysis obtained, these soils are SC type (sandy soils with uniform particle sizes, with inorganic clays of low plasticity and gravel material between broken rock and soil). In relation to chemical analysis it was determined that the soils are highly alkaline, having high concentrations of sodium (range from 5,59% to 8,22%), iron (range from 5,56% to 7,53%) and aluminum (ranging from 10,15% to 18,36%), which are considered to be alkaline soils. These sediments have high levels of environmental contamination, therefore, they must be valued for their industrial use, in this way it could reduce the potential impact of the areas surrounding the alumina plant.

Keywords- Discharge area, sediment, effluent, solid particles.

Tipo de Artículo: Original

Fecha de Recepción: 22 de febrero de 2017

Fecha de Aceptación: 25 de septiembre de 2017

1. Introducción

La bauxita es un material heterogéneo que consiste principalmente en uno o más minerales de hidróxido de aluminio, tales como gibbsita [Al(OH)₃], boehmita [AlO(OH)] o diaspore [HAlO₂], además de diversos

combinaciones de sílice [SiO₂], aluminosilicatos (por ejemplo, arcilla), óxido de hierro [Fe₂O₃], óxido de titanio [TiO₂] y otras impurezas en cantidades traza [1]. Las cantidades de bauxita laterítica formada en climas ecuatoriales comprenden aproximadamente el 90% de

las reservas mundiales de bauxita explotables [2]. Los procesos de meteorización han dado lugar a un perfil típico en el que el material aluminoso valioso radica en su parte superior de una base de aluminosilicato (a menudo arcilla) y se ha formado a través de la lixiviación de sílice [3].

El lodo rojo es el residuo sólido generado por la refinación de alúmina del mineral de bauxita, principalmente mediante el proceso Bayer, que utiliza sosa cáustica para disolver el silicato de aluminio. La producción de 1 tonelada de alúmina genera entre 1 y 1,5 toneladas de lodo rojo [4]. En el proceso Bayer, la bauxita se disuelve en una solución de hidróxido de sodio a temperaturas que van desde 100 °C a 250 °C, dependiendo de la forma de la alúmina, corindón y esmeril, en la bauxita [5]. Con la creciente demanda de alúmina en todo el mundo, la generación de lodo rojo se estima en más de 120 millones de toneladas anuales, sobre una proyección de la tasa de producción para año 2015 [6]. El contenido sódico alcalino también causa la formación de superficies de polvo [7].

La bauxita es el principal mineral para la producción de metal de aluminio a través de un proceso de dos etapas que implica, en primer lugar, el refinado de la bauxita en alúmina por un proceso de lixiviación cáustica químico húmedo (el proceso Bayer) y, en segundo lugar, la reducción electrolítica de alúmina a metal aluminio (el proceso Hall-Hérault) [8].

El proceso Bayer es el principal método para la producción de alúmina a partir de bauxita en todo el mundo. La versión moderna del proceso (desarrollado en la década de 1880) todavía mantiene los pasos clave para la disolución de alúmina con presencia de minerales a través del proceso de solución cáustica caliente, es decir la separación de la insoluble mediante las fases de transformación de la bauxita a la alúmina, seguido de precipitación de gibbsita y la calcinación de la gibbsita a alúmina [9].

Como consecuencia de la descarga del efluente proveniente de la planta de alúmina de Bauxilum, el área que sirve como cuerpo receptor del mismo ha sufrido perturbaciones; ya que el líquido vertido se infiltra en la capa más superficial del suelo, acelerando su proceso de erosión por el aumento del agua de escorrentía durante la época de lluvia; el cual se ve acentuado debido a la baja presencia de cobertura vegetal. En tal sentido, en la búsqueda de alternativas de solución para la adecuación ambiental del canal colector de la planta de alúmina, se ha tomado la iniciativa de

realizar una caracterización del efluente en el proceso de transformación de la bauxita a alúmina.

En la empresa Bauxilum, el área de planta se encarga de los procesos de transformación de la bauxita a la alúmina mediante el proceso Bayer; durante este proceso de transformación se generan contaminantes sólidos y disueltos, producto de las actividades industriales, específicamente las actividades que realizan en el Área 55 (Lavado de Oxalato), Área 58 (Filtración de Semilla Gruesa y Producto), Área 45 (Calcinación) y Área 77 (Silos de alúmina); que se encuentran cercanas al efluente en estudio y que de alguna manera contribuyen a través de sus procesos de transformación a la contaminación del mismo. El principal problema es la alteración de la calidad del efluente producto de las actividades industriales, adicionalmente, este efluente descarga en un área donde se observa la degradación del suelo.

2. Materiales y métodos

La metodología que se utilizó en el área de descarga es de tipo analítica y de campo, se realizaron varias visitas preliminares para el reconocimiento y diagnóstico. A través de la observación directa se describieron las características del efluente y del área donde descarga este vertido. Para la caracterización de los suelos se realizaron análisis químicos de las muestras tomadas a lo largo del canal colector, con la finalidad de determinar los elementos químicos que contengan en los sedimentos.

Las muestras de sedimentos fueron tomadas en las zonas de mayor representatividad y de fácil acceso, los sitios para la toma de muestras se seleccionaron mediante un muestreo. Luego se procedió a la elaboración de calicatas de 40 cm de ancho x 40 cm de largo, y la profundidad que se alcanzó fue la máxima permitida por el terreno, con un promedio de 30 cm.

En total se tomaron 15 muestras de suelo, se realizaron los análisis granulométricos, de los cuales a través de un muestreo aleatorio considerando el espaciamiento del terreno, se seleccionaron cada 100 m seis de ellas para realizarle los análisis físicos y químicos.

En la tabla 1 se presentan las herramientas que se utilizaron en campo para la recolección de muestras de suelo y de agua.

Tabla 1. Materiales y equipos utilizados para el muestreo

Tipo de muestra	Herramienta utilizada
Muestras de suelo	<ul style="list-style-type: none"> ○ Posicionador satelital (GPS) ○ Cinta métrica ○ Bolsas plásticas ○ Marcador ○ Libreta ○ Cámara fotográfica digital ○ Pala ○ Machete
Muestras de agua	<ul style="list-style-type: none"> ○ Posicionador satelital (GPS) ○ Marcador ○ Libreta ○ Cámara fotográfica digital ○ Muestreador de aguas ○ Envase para captar las muestras

Para tener un resultado confiable la muestra debe ser representativa de la masa de suelo. Como no es posible físicamente determinar el tamaño real de cada partícula independiente de suelo, a través de la práctica del tamizado se agrupa los materiales por rangos de tamaño. Para lograr esto, se obtiene la cantidad de material que pasan a través de los tamices por una malla determinada y que quedan retenidos en cada tamiz de acuerdo al tamaño del grano.

La información obtenida del análisis granulométrico se presenta en forma de curva. Para poder comparar los sedimentos y visualizar más fácilmente la distribución de los tamaños de granos presentes sería necesario recurrir a una representación logarítmica para los tamaños de partículas. Los procedimientos patrones utilizan el porcentaje que pasa (llamado también porcentaje más fino) como la ordenada en la escala natural de la curva de distribución logarítmica [10].

En los análisis químicos realizados se utilizó el método del doble ácido o Mehlich-I [11] para la obtención del contenido de metales a través del espectrofotómetro de absorción atómica: se pesan en un vaso de precipitado de 100 ml aproximadamente entre 0,080g – 0,090g de la muestra de suelo previamente pulverizada y pasada por el tamiz 120 (abertura de 0,125 mm), luego la muestra que queda en el PAN se humedece con agua destilada, se le agrega 40 ml de agua regia (combinación 3:1 de ácido clorhídrico y ácido nítrico), se realiza un proceso de digestión a ebullición lenta sobre una plancha por una hora y media, luego se retira de la plancha y se deja reposar hasta que se enfríe, se diluye en agua en un vaso de precipitado y este contenido se filtra, la sustancia que se obtiene es la que se utiliza para medir y determinar los metales

presentes con el equipo de absorción atómica. Este es un método químico muy específico de gran sensibilidad, que permite detectar elementos distintos a concentraciones tan bajas como partes por millón (ppm). Esta medición se realiza calibrando el equipo con los estándares de cada uno de los metales que se deseen, determinando los elementos químicos en los sedimentos y suelos como son Hg, Cr, Mg, Fe, Mn, Au, Ag, Al, Cu, Ca, Ni, Co, Sb, Zn, Ti, W, Si, Pb, Na, K, Pb, Nb, Li, Bi, Mo; en agua: Fe, Ca, Mg, Mn, Na, K, Al.

3. Resultados

El área de estudio comprende el efluente generado actualmente por la planta de alúmina de Bauxilum, y el área de descarga de este vertido líquido industrial. En la figura 1 se muestra parte del recorrido total que realiza el efluente, que es de aproximadamente 1000 metros de longitud, desde donde se genera el efluente (aguas arriba) hasta la parte final del cuerpo receptor del efluente (aguas abajo).



Figura 1. Vistas del recorrido del efluente a lo largo del canal perimetral dentro de la planta, túnel de salida y área de descarga.

El efluente líquido industrial se genera dentro de las instalaciones de la empresa recorriendo aproximadamente 310 metros de longitud (una parte se observa en la primera imagen de la figura 1), este es denominado canal perimetral, el cual se encuentra adyacente a las áreas industriales: Área 55 (Lavado de Oxalato), Área 58 (Filtración de Semilla Gruesa y Producto), Área 44 (filtración de Producto), Área 45 (Calcinación) y Área 77 (Silos de Alúmina). Finalmente, este líquido es descargado a un canal abierto (parte inferior de la figura 1). De acuerdo a [12], estos subproductos son altamente transformados y representan un impacto ambiental complejo.

El canal perimetral está diseñado como una vía de desplazamiento para las aguas de lluvias, sin embargo se observan flujos de agua que llevan consigo partículas sólidas que se dirigen al canal provenientes del lavado de los filtros del Área 81 (Sistemas de Aguas Industriales), y del Área 82 (Sistema de Agua Potable), además de presentarse situaciones eventuales tales como: la presencia de sustancias químicas y residuos sólidos que se desplazan a lo largo del canal perimetral, como se observa en la figura 2, debido a fallas internas que ocasionalmente ocurren en las diferentes áreas industriales durante el proceso de transformación de bauxita en alúmina de grado metalúrgico. En el canal perimetral también llegan partículas sólidas (alúmina e hidrato de alúmina) por acción de las aguas de escorrentía y/o el viento. Estos factores generan alteración en algunas de las propiedades físico-químicas del efluente en estudio, y por lo tanto afecta su calidad y la del cuerpo receptor hacia donde se desplaza el vertido.



Figura 2. Sustancias químicas cáusticas y residuos de alúmina que llegan al canal perimetral.

Con respecto a las condiciones del área de descarga, en la figura 3 se observa el impacto negativo causado por el vertido líquido industrial, el cual trae consigo contaminantes que actúan en contra de la estabilidad del suelo y la vegetación, y las aguas producto de las escorrentías que también contribuyen al deterioro acelerado del área.

El color turbio de las aguas, la presencia de sosa cáustica y cantidades considerables de desechos sólidos, son factores que pueden ser apreciados con claridad en la zona de descarga, además, de la poca vegetación, el lavado sustancial de los suelos y la acumulación de sedimentos erosionados. Esta situación ha provocado la degradación del área de descarga del efluente y por ende, la modificación de la capa superficial del suelo.



Figura 3. Área de descarga contaminada, las flechas indican la presencia de sosa cáustica solidificada.

En la tabla 2 se presentan los análisis granulométricos efectuados a las muestras de sedimentos.

Las muestras de sedimentos arrojaron en promedio un porcentaje total de arena de 78,61% con una desviación típica de 8,1%; de finos, el promedio de las

muestras correspondió a 11,24% con desviación típica de 4,9%. Las muestras MB 4, MB 6 y MB 8, tomadas en el área de descarga inmediata al efluente, presentan un porcentaje de grava muy heterogénea con media 14% y desviación estándar 11,8%; el porcentaje de arena es homogéneo con media de 81% y desviación estándar de 11,1%; el porcentaje de finos es heterogénea con media 5% y desviación estándar 2,6%. Los sedimentos en esta zona del área de descarga son predominantemente arena de grano medio a fino con poca presencia de grava. Las muestras MB 11, MB 13 y MB 15, que se encuentran en el área de descarga donde el efluente recorre

aproximadamente 650 m, tiene un porcentaje de grava muy variable con media 8% y desviación estándar 5,8%; el porcentaje de arena es homogénea con media 76% y desviación estándar 4,3%; el porcentaje de finos en esta zona es mayor que en la cercana a la descarga inmediata del efluente, con media 16% y desviación estándar 1,8%, es decir, su distribución es homogénea.

Los sedimentos de esta zona más alejada son predominantemente arena fina. Estos suelos son moderadamente permeables debido a la cantidad de arena que presentan.

Tabla 2. Resultado de los análisis físicos de los sedimentos del Área de Descarga del efluente de la planta de alúmina de la empresa C.V.G Bauxilum

Muestra	Granulometría total	Granulometría arena		Límites		S.U.C.S	
MB4	% Grava	30,55	% A. Gruesa	37,97	LL	-	SP
	% Arena	65,44	% A. Media	40,43	IP	-	
	% Finos	4,01	% A. Fina	21,59			
MB6	% Grava	4,70	% A. Gruesa	13,42	LL	-	SW – SP
	% Arena	86,71	% A. Media	47,50	IP	-	
	% Finos	8,59	% A. Fina	39,07			
MB8	% Grava	6,54	% A. Gruesa	15,23	LL	-	SW
	% Arena	90,85	% A. Media	51,99	IP	-	
	% Finos	2,61	% A. Fina	32,78			
MB11	% Grava	5,86	% A. Gruesa	5,60	LL	26,8	SC
	% Arena	78,73	% A. Media	33,18	IP	16,5	
	% Finos	15,41	% A. Fina	61,21			
MB13	% Grava	15,59	% A. Gruesa	25,23	LL	33	SC
	% Arena	70,22	% A. Media	46,98	IP	9	
	% Finos	14,19	% A. Fina	27,80			
MB15	% Grava	1,77	% A. Gruesa	10,33	LL	27	SC
	% Arena	79,70	% A. Media	41,39	IP	14,2	
	% Finos	18,54	% A. Fina	48,28			

Granulometría: distribución granulométrica de la muestra.
 Granulometría arena: distribución granulométrica de la arena.
 Límites: límites de Atterberg
 LL: límite líquido.
 IP: índice de plasticidad.
 S.U.C.S.: sistema unificado de clasificación de suelo.

La tabla 3 resume los valores obtenidos de los análisis químicos realizados a las muestras de sedimentos del área de descarga del efluente.

pH: los valores para las muestras de sedimentos analizados, se encuentran en el rango de los 7,75 a 9,05, siendo estos indicativos de que el suelo es moderadamente alcalino; esta alcalinidad puede ser explicada por la alta concentración de soda cáustica utilizada en el proceso de transformación de la bauxita. Según [13], el pH es altamente amortiguado por la presencia de sólidos alcalinos (varios hidróxidos, carbonatos, aluminatos y aluminosilicatos) que se

forman por la acción de la sosa cáustica en la bauxita durante el proceso Bayer. La presencia de tales procesos sólidos característicos del proceso Bayer, hace muy complejo el comportamiento de neutralización de ácido de los residuos y poco práctica la eliminación de la alcalinidad por simple lavado con agua.

Materia orgánica: los valores obtenidos se encuentran en el rango de 3,62% a 5,83 %, esta diferencia de valores en las muestras de sedimentos se debe a la afectación por factores geológicos, aporte de desechos sólidos y materia orgánica que son depositados al área de descarga. La alta concentración

de materia orgánica se debe a las aguas negras que son vertidas en el efluente y a las que provienen de las zonas aledañas al área de descarga.

Alúmina: con respecto a los elementos presentes en el suelo del área de descarga, estos resultados muestran que el principal componente de estos sedimentos es el aluminio, encontrándose en un rango entre los 10,15% a 18,36%, valores considerados como altos, que pueden ser explicados por el vertido directo de las aguas del efluente al área de descarga del mismo, ya que dichas aguas contienen alto contenido de este elemento producto de las labores de transformación, que se realizan en la planta de alúmina.

Hierro: los valores obtenidos, se encuentran en un rango entre 5,56% a 7,53%, estos valores se consideran

elevados tomando en cuenta que los sedimentos pertenecen a la Formación Mesa, la cual posee cantidades menores del elemento hierro.

Sodio: el contenido de sodio se encuentra en el rango de 5,59% a 8,22%; las mismas razones de un valor relativamente alto para el contenido de hierro, en los sedimentos del área de descarga, son válidas para el contenido de sodio. Los valores altos del elemento sodio se explican por la cantidad de soda cáustica que se utiliza en la planta para el proceso Bayer.

Potasio, calcio y magnesio: se determinó que la presencia de estos elementos en los sedimentos del área de descarga del efluente es muy baja, porcentualmente corresponde a menos de 2%.

Tabla 3. Parámetros químicos de los sedimentos del Área de Descarga del efluente de la planta de alúmina de la empresa C.V.G. Bauxilum

Muestra	Parámetros											
	pH	M. Org. (%)	Elementos mayoritarios (%)						Elementos trazas (ppm)			
			Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O	MgO	CaO	Cu	Zn	Ni	Cr
MB 4	9,05	5,83	28,36	7,53	8,22	1,08	0,78	0,37	9,91	21,24	1,76	0,212
MB 6	8,24	5,11	25,94	6,92	8,15	1,06	0,72	0,30	8,87	17,25	1,38	0,211
MB 8	8,12	5,03	18,82	6,81	7,59	1,10	0,74	0,32	9,88	12,62	1,05	0,195
MB 11	8,26	4,03	16,19	6,36	6,48	0,99	0,62	0,33	6,72	7,2	0,73	0,153
MB13	8,04	3,79	15,78	5,92	5,93	1,01	0,65	0,35	4,78	6,35	0,51	0,145
MB 15	7,75	3,62	13,15	5,36	5,59	0,98	0,63	0,37	4,22	4,09	0,45	0,135

4. Discusión

Con respecto a las condiciones del área de descarga, en ella se observa el impacto negativo causado por el vertido líquido industrial, el cual trae consigo contaminantes que actúan en contra de la estabilidad del suelo y la vegetación, y las aguas producto de las escorrentías que también contribuyen al deterioro acelerado del área.

Los valores descritos anteriormente para las muestras MB 4, MB 6 y MB 8, tomadas de los sedimentos del área de descarga inmediata al efluente, indican que estos sedimentos son predominantemente arena de grano medio a fino con poca presencia de grava. Mientras que para los sedimentos representados por las muestras MB 11, MB 13 y MB 15, hay un predominio de arena fina; estos valores pueden ser explicados por el transporte al cual son sometidas las

partículas, debido a la acción del agua que es descargada en el área, y en concordancia al sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS), se determinó que los suelos presentes en el área de descarga que sirve como cuerpo receptor del efluente son generalmente del tipo SC (suelos arenosos, mal gradados, con arcillas inorgánicas de baja plasticidad y material gravoso de transición entre roca descompuesta y el suelo).

La meteorización de los silicatos y su lavado de los suelos residuales, es lo que proporciona tales cantidades de elementos trazas presentes en los sedimentos, los cuales luego han de ser disueltos y forman iones en solución en las aguas. En la figura 4 se puede observar, que a mayor distancia del área inmediata donde es vertido el efluente, disminuyen los porcentajes de los elementos que se consideran representativos (aluminio,

sodio e hierro) y de materia orgánica, esto se debe al transporte y lavado del suelo.

De acuerdo a los resultados físicos y químicos, los criterios tomados relacionados a las diferentes áreas industriales son los siguientes:

Filtración del Producto –Área 44. La primera fracción que se obtiene (suspensión de producto), se bombea al área 44 donde es filtrada al vacío en cinco filtros horizontales. Estos filtros poseen un sistema de lavado con condensado que permite recuperar la máxima cantidad de soda cáustica y minimizar la humedad de la torta que pasa a la sección de secado y calcinación. En esta área se recupera soda cáustica de

las suspensiones de producto a través del lavado de los sólidos precipitados.

Evaporación –Área 46. El licor agotado que sale del proceso se envía a una serie de intercambiadores de calor donde su concentración de soda cáustica se vuelve al valor requerido al evaporar una cantidad de agua equivalente a la que se introdujo en el circuito de los licores.

Esta es una de las áreas donde se produce la mayor recuperación de soda cáustica, con una evaporación de agua según diseño, entre 12 y 20 g/L, lo cual permite concentrar aún más el licor de procesos y no utilizar soda cáustica concentrada para regenerar.

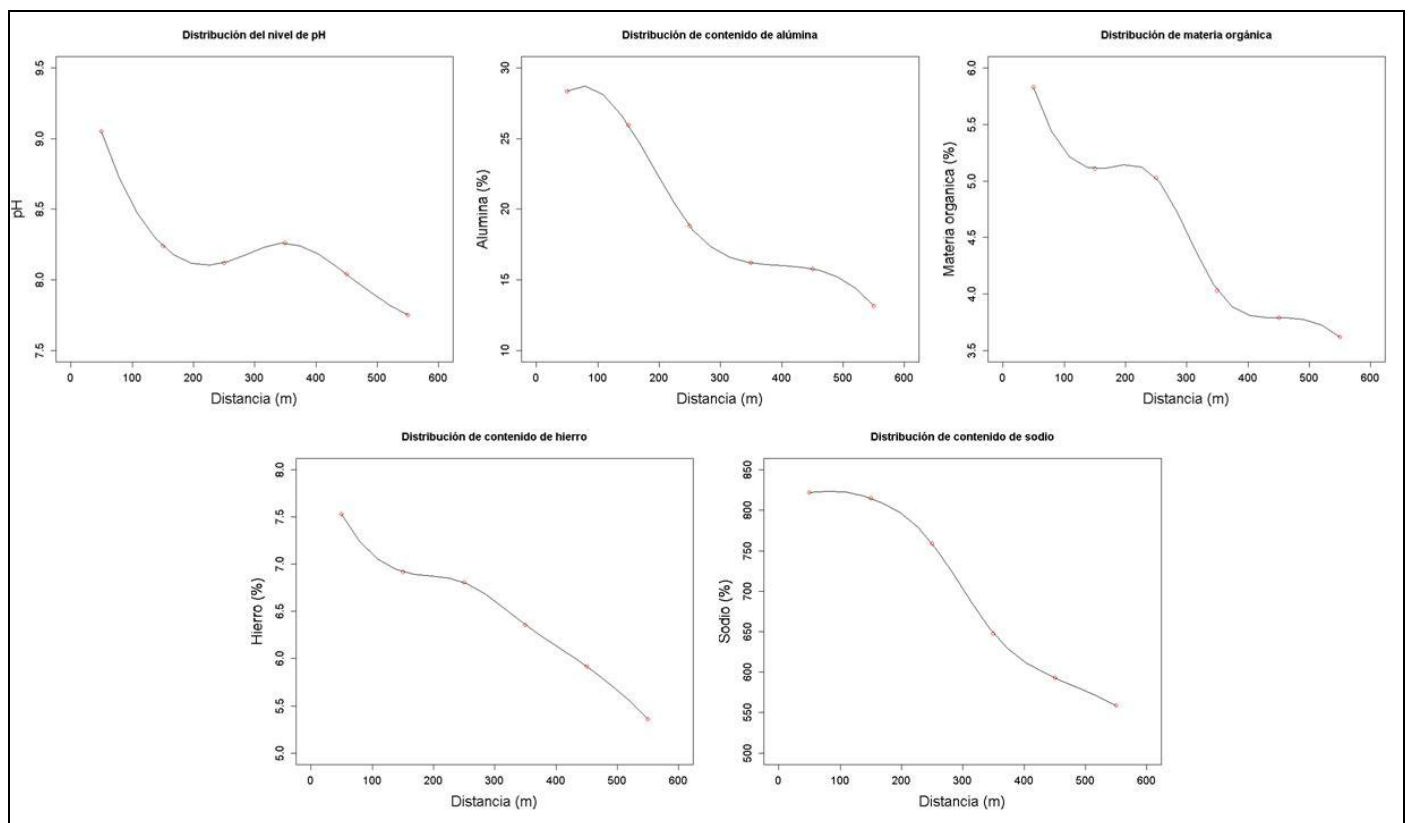


Figura 4. Comportamiento de los parámetros químicos mayoritarios del suelo de acuerdo a la distancia de separación de la descarga inmediata del efluente.

Control de Oxalatos – Área 55. El proceso en la planta de oxalato consiste en deslicorizar y lavar la semilla fina y gruesa provenientes del Área 42 (Clasificación de Hidratos), para remover el oxalato y otras impurezas orgánicas que precipitadas en la superficie impiden una buena aglomeración y crecimiento de las partículas durante el proceso de precipitación. Esto se realiza a través de la deslicorización de la semilla en los filtros

deslicorizadores, y donde la torta resultante es lavada con agua a 90°C, aproximadamente. La torta lavada se descarga a los tanques de lavado de semilla, donde se mezclan con un volumen de licor filtrado y con agua de lavado; de aquí se transfiere a los filtros donde se realiza un proceso de lavado con agua caliente y desaguado de la torta, la cual se envía a unos tanques donde se resuspende con Licor Madre proveniente del Área 39 para luego ser transportado al Área 41.

Filtración de Semilla Gruesa y Producto – Área 58.

La finalidad del Área 58 es deslicorizar toda la semilla gruesa y producto proveniente de la descarga inferior de ciclones, una parte se resuspende con la Suspensión de Aglomeración y enviada al Área 41; otra parte con filtrado proveniente del Área 44, y es enviada al área de filtración de producto.

Calcinación – Área 45. Esta es la última etapa del proceso Bayer, cuya finalidad es producir alúmina de grado metalúrgico a partir del hidrato proveniente de la filtración de producto. Las tortas obtenidas son precalentadas y secadas en un secador Venturi, una vez seca, la alúmina es enviada a un calcinador de lecho fluidizado que opera con gas natural o aceite liviano. Los sólidos obtenidos son descargados y enfriados a temperatura de 80°C en un ciclón de aire, posteriormente son enfriados a temperatura ambiente y luego descargados en un sistema de cintas transportadoras siendo trasladados hasta el silo de Alúmina en el Área 77 para su almacenamiento.

La mayor pérdida de soda cáustica se encuentra reflejada en los afluentes que van hacia las lagunas de Lodo Rojo de Planta (Área 75), la cual es más difícil de recuperar y el costo es aún mayor que el de las áreas 55, 58, 44 y 46.

5. Conclusiones

En el análisis de la situación actual del efluente, se determinó que estas aguas se ven afectadas directamente por la adición de sustancias químicas (licor cáustico e hidrato de alúmina) y residuos sólidos provenientes de las áreas industriales adyacentes.

El vertido de las aguas del efluente en el área de descarga incide en las condiciones naturales del ambiente, por cuanto produce la remoción acelerada de la vegetación, lo cual contribuye al lavado o erosión del suelo afectando de manera directa la topografía de la zona, además, de alterar las características químicas naturales del suelo.

Los suelos presentes en el área de descarga del efluente generado por la empresa, según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos, son generalmente del tipo SC, este tipo de textura fue determinado a las muestras MB11, MB13 Y MB15. Sin embargo, se observó una variación en el análisis de las muestras MB4, MB6 Y MB8, determinándose una textura del tipo SW-SP y SW respectivamente.

El tipo de suelo es residual con pocos cementados, lo que favorece los procesos de erosión, los cuales son muy comunes en estos tipos de suelos.

Químicamente los suelos presentes en el área de descarga, son suelos moderadamente alcalinos, siendo 9,05 el valor más alto de pH, presentado por la muestra MB4, además de presentar altas concentraciones de sodio (rango entre 8,22 % y 5,59%), hierro (rango entre 7,53% y 5,56%) y aluminio (rango entre 18,36% y 10,15%).

Debido a los altos niveles de contaminación ambiental que posee estos sedimentos, de acuerdo a la caracterización realizada en este estudio, es recomendable aplicar medidas correctivas urgentes que minimice la contaminación del efluente que es descargado de la planta de alúmina y considerar un plan urgente de descontaminación del suelo afectado. Adicionalmente, se debe valorizar para su uso industrial estos sedimentos cáusticos, así como también el material de desechos de las lagunas de lodos rojos, con esto se podría disminuir la potencial amenaza de afectación ambiental de las áreas aledañas, entre las cuales se tiene, por ejemplo, el río Orinoco y zonas urbanas. Ciudad Guayana es una urbe asiento de empresas básicas y de servicios, por lo tanto, desarrollar estas alternativas sería beneficioso también para su economía.

6. Referencias

- [1] Plunkert, P. A.: "Bauxite and Alumina". U.S. Geological Survey, 2005 Minerals Yearbook, Vol. I, Metals and Minerals (2007).
- [2] Freyssinet, P.H., Butt, C.R.M., Morris, R.C., Plantone, P.: "Ore forming processes related to lateritic weathering". Economic Geology 100th Anniversary Volume, Vol. 1 (2005) 681-722.
- [3] Bardossy, G., Aleva, G.J.J.: "Lateritic Bauxites". Developments in Economic Geology, Vol. 27 (1990).
- [4] Zhang, R., Zheng, S., Ma, S., Zhang, Y.: "Recovery of alumina and alkali in Bayer red mud by the formation of andradite-grossularhydrogarnet in hydrothermal process". J. Hazard. Mater, Vol. 189, N° 3 (2011) 827-835.
- [5] McCormick, P.G., Picaro, T., Smith, P.A.I.: "Mechanochemical treatment of high silica bauxite with lime". Minerals Engineering, Vol. 15, N° 4 (2002) 211-214.
- [6] Liu, W.: "The developing of red mud utilization in China". Presentada en: Bauxite residue valorization and best practices conference, (Leuven 5-7/10/2015).
- [7] Klauber, C., Harwood, N., Hockridge, R., Middleton, C.: Proposed mechanism for the formation of dust horizons on bauxite residue disposal areas. In: de Young, D.H. (Ed.), Light Metals. TMS, New Orleans, USA. (2008) 19-24.
- [8] Meyer, F., Happel, U., Hausberg, J., Wiechowski, A.: "The geometry and anatomy of the Los Pijiguas bauxite deposit, Venezuela". Ore Geology Reviews, Vol. 20, N° 1 (2002) 27-54.
- [9] Smith, P.: "The processing of high silica bauxites — Review of existing and potential processes". Hydrometallurgy, Vol. 98, N° 1 (2009) 162-176.

- [10] Bowles, J.: “Manual de Laboratorio de Suelos en la Ingeniería Civil”. Mc. Graw-Hill Latinoamericana, Bogotá, 1981.
- [11] McKean, Sh.: “Manual de análisis de suelos y tejido vegetal: documento de trabajo N° 129”. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Palmira, Colombia, 1993.
- [12] Klauber, C., Gräfe, M., Power, G.: “Bauxite residue issues: II. Options for residue utilization”. *Hydrometallurgy*, Vol. 108, N° 1 (2011) 11–32.
- [13] Gräfe, M., Power, G., Klauber, C.: “Bauxite residue issues: III. Alkalinity and associated chemistry”. *Hydrometallurgy*, Vol. 108, N° 1 (2011) 60–79.