

COMPORTAMIENTO DE LA RELACIÓN ADSORCIÓN SODIO (RAS) EN EL BIOTRATAMIENTO DE RIPIOS Y LODOS DE PERFORACIÓN PETROLEROS

Elizabeth Marín¹, Alberto Martín²

^{1,2}Instituto Universitario Politécnico “Santiago Mariño”,
Extensión Costa Oriental del Lago, Cabimas
investigación@psmcabimas.edu.ve

Resumen

En las operaciones de perforación de la industria petrolera es necesario el tratamiento de los desechos generados para evitar la contaminación ambiental. Una de las técnicas empleadas es el biotratamiento, proceso en el que intervienen una serie de variables que necesitan ser controladas para que los parámetros físico-químicos en los suelos mezclados con desechos cumplan con los límites establecidos por la normativa del Ministerio del Poder Popular para el Ambiente en su Decreto 2635. En el desarrollo de esta investigación se evaluó el comportamiento del RAS durante el proceso de biotratamiento efectuado en CETRAPECA, siendo necesario acudir a la información histórica del control de las variables del proceso así como a los análisis de los muestreos realizados a las parcelas. La investigación se tipificó de campo y descriptiva; la información recopilada se constituyó como la población de estudio, mientras que la muestra fue de tipo variable en función de los objetivos propuestos al inicio de la investigación. La evaluación del comportamiento del RAS generó resultados concretos que evidenciaron el grado de incidencia de las condiciones del suelo donde se realiza el biotratamiento, así como la influencia que tiene el tipo de desechos según su origen y su formulación en la evolución del biotratamiento, y se estudiaron las consecuencias del empleo de horas máquina en la mezcla de los desechos, como la aplicación del fertilizante triple 15 para enmendar los suelos.

Palabras clave: ambiente, biorremediación, biotratamiento, lodos, Relación Adsorción Sodio (RAS), ripios, salinidad, sodicidad, suelos.

BEHAVIOR OF SODIUM ADSORPTION RATIO (RAS) IN BIOTREATMENT CUTTINGS AND DRILLING MUD OIL

Abstract

In the drilling of the oil industry treatment of waste generated is necessary to prevent environmental pollution, one of the techniques used is the biotreatment, this process involves a number of variables that need to be controlled to physicochemical parameters chemicals in soil mixed with waste comply with the limits dictated by the rules of his decree MPPAMB in 2635. In developing this research RAS behavior was evaluated during biotreatment made in CETRAPECA was necessary to apply to historical information control of process variables as well as the analysis of samples taken to the plots, research and descriptive typified field. The information collected is constituted as the study population while the sample was variable rate depending on the objectives proposed at the beginning of the investigation. The assessment of the behavior of RAS generated concrete results where the degree of incidence of soil conditions where biotreatment is performed is detected and the influence of the type of waste according to its origin and development in the evolution of bioprocessing, and the consequences of the use of machine hours in the mixture of waste and the implementation of triple fertilizer 15 to amend the soils studied.

Key words: environment, bioremediation, biotreatment, mud, Sodium Adsorption Ratio (SAR), soil salinity, sodicity, gravel.

Introducción

En el contexto mundial la industria de la explotación de los hidrocarburos juega un papel determinante para las actividades productivas de los seres vivos; la misma es la principal fuente de recursos energéticos y económicos para muchos países. Está conformada por un conjunto de elementos que al unirse de manera coordinada permiten la producción del crudo de manera comercial, identificando básicamente las actividades de exploración, perforación, producción, manufactura y mercadeo.

La búsqueda de evidencias demuestra que el ambiente no es inerte a la explotación de los hidrocarburos; al contrario, este en oportunidades se ve afectado por dichas actividades debido a la generación de desechos sólidos, líquidos y emisiones gaseosas. Por consiguiente se producen efectos desfavorables en el ambiente, alterando las condiciones iniciales del mismo.

Cabe destacar que la actividad que mayormente contribuye a generar desechos es la perforación, compuesta por cinco sistemas fundamentales: levantamiento, potencia, seguridad, rotación y circulación. Este último está integrado por equipos que permiten el flujo de los fluidos utilizados durante las operaciones, e incluye los fluidos de control y los lodos de perforación.

En este marco de ideas es necesario exponer que los fluidos de perforación poseen funciones indispensables en el proceso, mencionando la lubricación de la mecha, la generación de una columna hidráulica capaz de contener los fluidos de formación, la transmisión de potencia hidráulica y el enfriamiento a la mecha, además la remoción y levantamiento de los cortes de formación, entre otras.

El levantamiento de los ripios, cuyo buen desempeño produce una ventaja muy importante al proceso de perforación, a su vez, es el principal causante de la generación de desechos. Si bien es cierto, que esta mezcla lodo-ripios puede ser tratada constantemente mediante el uso de sistemas

de control de sólidos, llega un momento en el cual el lodo pierde sus propiedades sin poder recircularse al pozo, originando un problema en cuanto a la disposición de estos desechos. Durante la formulación de los fluidos se agregan aditivos cuyos componentes orgánicos e inorgánicos generan efectos no deseados en el ecosistema.

Actualmente la contaminación ambiental afecta el planeta, por lo que se han creado leyes, normas, procedimientos, reglamentos y restricciones, para minimizar el grado contaminante de los residuos generados por las actividades petroleras. También se han realizado estudios e investigaciones cuyo propósito principal es el tratamiento de los mismos, para que estos puedan ser reincorporados al ambiente sin que dañen las condiciones de vida existentes.

Por tal motivo, una de las técnicas utilizadas es el biotratamiento de desechos que consiste en la exposición de los mismos a microorganismos que, mediante su proceso metabólico, degraden los componentes contaminantes convirtiéndolos en dióxido de carbono, el cual es un gas que no ataca el entorno. Partiendo de esta técnica se han formulado un conjunto de métodos de tratamiento entre los cuales se pueden mencionar la bioremediación, landfarming, compostaje, biopiling, fitorremediación, entre otros.

Es necesario acotar que durante el proceso de biotratamiento es imprescindible controlar variables que inciden directamente en el tratamiento de los desechos, entre estas se tienen: el contenido de humedad mediante la aplicación de agua, el control de la temperatura, la oxigenación del suelo a través de la aireación de la mezcla suelo-desechos utilizando maquinaria de rastra, el contenido de nutrientes por la aplicación de fertilizantes como enmiendas del suelo, la presencia de microorganismos, las concentraciones de compuestos orgánicos y de metales pesados, el pH, el clima, la flora y la fauna.

Por otro lado, también es oportuno indicar que el control de las variables nombradas en el proceso de biotratamiento se realiza para evaluar la

incidencia sobre los residuos tratados, mejorando las condiciones de los mismos; al hablar del mejoramiento de las condiciones de los ripios y lodos tratados se hace referencia a la disminución de los parámetros críticos hasta llevarlos a norma, es decir, a los límites permitidos por los entes reguladores ambientales.

Al respecto, en el Decreto 2.635, Artículos 50 y 53, publicado en Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela, se expone que pueden utilizarse las técnicas de biorremediación y esparcimiento en suelos para el tratamiento de desechos, los cuales deben llegar hasta sus límites permisibles en la evaluación de los siguientes parámetros: porcentaje de aceites y grasas, relación adsorción sodio (RAS), conductividad eléctrica, cloruros, pH, contenido total de hidrocarburos, sodio, magnesio, calcio, cadmio, zinc, bario, arsénico, entre otros.

El parámetro de la relación adsorción sodio (RAS), es por definición el cociente de la concentración de iones de sodio entre la raíz cuadrada de la sumatoria de las concentraciones de calcio y magnesio. El efecto de la misma es altamente nocivo para los suelos, pues contribuye al deterioro de la estructura y a la reducción de la permeabilidad, lo que conlleva a la alteración de sus características físico-químicas, causando un grave impacto ambiental.

Específicamente en los terrenos de la empresa Centro de Tratamiento Petrolero, C.A (CETRAPECA), a lo largo de los años se ha demostrado que la relación adsorción sodio es el parámetro que predominantemente necesita de mayor tiempo de tratamiento a propósito de su ubicación dentro de los límites permitidos por el Ministerio del Ambiente, el cual es de 8 unidades adimensionales, convirtiéndose en un problema para la empresa debido a que los desechos no cumplen con la adecuada disposición final, última etapa del proceso de biotratamiento.

Es por ello que se hace necesario evaluar el comportamiento del RAS en los terrenos de la empresa CETRAPECA, pudiendo así establecer los índices de este parámetro presente en los desechos provenientes de las

actividades de perforación de la industria petrolera. A los fines pertinentes, se planteó el siguiente Objetivo General: Evaluar el comportamiento de la relación adsorción sodio en el biotratamiento de ripios y lodos en los terrenos de la empresa Centro de Tratamiento Petrolero, C.A. (CETRAPECA).

El objetivo antes referido requiere para su logro, la formulación de los Objetivos Específicos que se mencionan a continuación:

1. Detectar la influencia de las características del suelo virgen en los valores finales del RAS.
2. Analizar la incidencia de los ripios y lodos base agua y base aceite en el comportamiento del RAS.
3. Establecer el efecto de las horas máquinas aplicadas en la mezcla suelo-desecho en el RAS.
4. Determinar la consecuencia del uso del fertilizante triple 15 para la RAS.

Referentes Teóricos

Biotratamiento

Para Glazer y Nikaido (1995), el biotratamiento o bioremediación es una tecnología que utiliza el potencial metabólico de los microorganismos (fundamentalmente bacterias, pero también hongos y levaduras) para transformar contaminantes orgánicos en compuestos más simples poco o nada contaminantes, por tanto se puede utilizar para limpiar terrenos o aguas contaminadas.

El Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente-UNEP-(1992) plantea que cuando los hidrocarburos de origen petrolífero entran en el medio ambiente, una variedad de microorganismos participa en su biodegradación. En los suelos las bacterias son las degradadoras

predominantes seguidas por los hongos. En la descomposición de hidrocarburos en agua fresca, participan tanto bacterias como hongos, levaduras y moho. Existen más de 25 géneros de bacterias y hongos que degradan hidrocarburos (Leahy y Colwell, 1990).

Esta técnica es utilizada para atacar contaminantes específicos en los cortes y lodos provenientes de la perforación que están contaminados con compuestos orgánicos e hidrocarbonados, los cuales se pueden tratar mediante la adición de fertilizantes que contribuyen a estimular el crecimiento y desarrollo de los microorganismos facilitando la descomposición de los agentes contaminantes presentes en los desechos. Los microorganismos pueden incluir bacterias (aeróbicas y anaeróbicas), fungi y actinomicetos (bacteria filamentososa).

El mecanismo de la biorremediación consiste en la destrucción de los contaminantes mientras los microorganismos usan los químicos para crecer y reproducirse. Los componentes químicos orgánicos proveen el carbono (fuente para el material de construcción celular) y las celdas catalíticas de oxidación de los componentes orgánicos causan la transferencia de electrones de los componentes orgánicos a los receptores de electrones. Estos últimos son: la oxidación aeróbica, el oxígeno, y en los nitratos el manganeso, el hierro y los sulfatos. Los microorganismos también necesitan de nutrientes esenciales como el nitrógeno.

Esta técnica consiste en la degradación de hidrocarburos (biodegradables) por la acción de microorganismos (bacterias, hongos, etc.) que los transforman en productos orgánicos degradables sin causar efectos dañinos al ecosistema. Las bacterias y hongos atacan y rompen las largas cadenas hidrocarbonatadas presentes en los hidrocarburos que contienen los desechos de perforación, acortándolas y utilizándolas para su metabolismo; así la degradación ocurre a compuestos más simples, por ejemplo, de azúcares a alcoholes, de alcoholes a ácidos y de ácidos a dióxido de carbono.

El resultado o producto final de la degradación será $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{Biomasa}$.

Cuando este proceso se realiza en la superficie del suelo y la degradación es completa, se obtiene un suelo conformado y limpio; es decir, libre de hidrocarburos biodegradables y que además mejora sus condiciones físico-químicas, resultando totalmente apto para la reforestación posterior. Para conocer cuándo se ha alcanzado la degradación total de los hidrocarburos en los desechos, se hace un seguimiento a través de análisis realizados por laboratorios debidamente autorizados por el Ministerio del Ambiente (MINAMB).

El biotratamiento también debe ser visto y entendido como un proceso aeróbico, pues los microorganismos necesitan oxígeno para vivir y metabolizar los contaminantes, por lo que esta técnica se aplica únicamente en la superficie del terreno, realizando un cultivo de la tierra en sitio (sin excavación), bajo unas condiciones controladas para estimular el crecimiento bacteriano.

El proceso de biotratamiento culminará cuando la mezcla (desecho y acondicionantes) cumpla con las especificaciones del Artículo 50 del Decreto 2.635. Para que el tratamiento sea efectivo se requiere, además, de ciertas condiciones ambientales en los suelos a fin de permitir que los microorganismos presentes degraden rápidamente los hidrocarburos biodegradables (constituidos principalmente por las fracciones de saturados y aromáticos). Estas condiciones son: a) mezcla constante de los desechos con la capa superficial del suelo (pases de rastra), b) contenido de humedad entre el 40 y 60 por ciento (sistema de irrigación o aspersión de agua), c) nivel de oxígeno (aireación), d) presencia de nutrientes (Nitrógeno y Fósforo principalmente), e) Control de pH. Esta técnica es aplicable cuando el contenido en hidrocarburos biodegradables está entre el 1 por ciento y el 10 por ciento en peso. Además, se efectuará cumpliendo con las siguientes condiciones pautadas en el Art. 53 del Decreto 2.635:

- El desecho no deberá exceder las concentraciones máximas permisibles en lixiviados previamente establecidas por las normas

utilizadas como referencias.

- Para la aplicación sobre el suelo arable:

1. El área de disposición final debe estar conformada por suelos de textura franca o franco arenosa o franco limosa o franco arcillosa o acondicionado artificialmente.

2. La profundidad del nivel freático debe ser mayor de 4 metros.

3. El área de disposición final no debe ser inundable.

Procede acotar que el desecho podrá ser acondicionado o tratado para alcanzar las condiciones descritas en este artículo, previo a la aplicación del tratamiento; es decir, en caso de que la concentración supere el límite establecido en el Decreto puede adicionarse suelo limpio para diluir la concentración hasta alcanzar valores inferiores a 10 por ciento.

Relación de adsorción de sodio (RAS)

La relación de adsorción de sodio (RAS) es un parámetro que refleja la influencia del ión sodio sobre las propiedades del suelo, ya que tiene efectos dispersantes sobre los coloides del suelo y afecta la permeabilidad. Sus efectos no dependen sólo de la concentración en sodio, sino también del resto de cationes. Se basa en una fórmula empírica que relaciona los contenidos de sodio, calcio y magnesio, y expresa el porcentaje de sodio de intercambio en el suelo en situación de equilibrio; este parámetro denota la proporción relativa en que se encuentra el sodio respecto al calcio y magnesio, cationes divalentes que compiten con el sodio por los lugares de intercambio del suelo.

$$RAS = \frac{[Na]}{\sqrt{\frac{[Ca + Mg]}{2}}}$$

Ecuación 1. Relación de Adsorción de sodio

Cuando en un suelo predomina el ión sodio sobre el calcio y el magnesio ocurre la degradación del mismo, haciendo que pierda su estructura y su permeabilidad. La importancia que tiene el RAS radica en que el ión sodio tiene por característica una fuerte tendencia a desestabilizar arcillas, taponando con ello los poros del suelo, y coadyuvando a los fenómenos negativos que pueden ocurrir en los mismos. Adicionalmente el sodio y el cloruro acumulado en el perfil del suelo ocasionan problemas de tipo osmótico en la vegetación.

Materiales y Métodos

En el desarrollo de la investigación se identificó como unidades de análisis un total de 68 parcelas que se encuentran actualmente bajo la técnica de biotratamiento en la empresa CETRAPECA. De éstas se seleccionaron para estudio las parcelas que contaban con una cantidad de muestreos mayor o igual a tres.

Metodología

Para obtener los resultados de la investigación se utilizó una metodología que se derivó del análisis de los objetivos específicos y determinó el logro de éstos. Se inició con la recopilación toda la información relacionada con la investigación, la cual fue estudiada y analizada posteriormente.

Basados en la información recolectada se analizaron los resultados de los muestreos y se observó el comportamiento de los parámetros físico-químicos de las parcelas seleccionadas, identificándolas, codificándolas y comparándolas con lo expuesto en los Artículos N° 50 y 53 del Decreto 2.635 emanado del MINAMB de la República Bolivariana de Venezuela, así como también la descripción del biotratamiento y de las técnicas aplicadas a los ripios y lodos base agua y aceite según su porcentaje de concentración en aceites y grasas y los hidrocarburos totales de petróleo (TPH) contaminantes.

La información recabada en CETRAPECA fue ordenada en cuadros y se codificó tal como se muestra en el Cuadro 1, con el fin de facilitar y manejar de forma simplificada la misma información en los gráficos, facilitando igualmente su observación. Los resultados se presentaron en forma de gráficos de barras, construidos mediante la aplicación de Microsoft Excel.

Cuadro 1

Codificación de información CETRAPECA

P_i	Parcela_i
LBS _i	Línea Base Suelo
MID	Muestra inicial del desecho en la primera capa en tratamiento
MSD _i	Muestra suelo desecho de la parcela i en primera capa de biotratamiento
2MID	Muestra inicial del desecho en la segunda capa en tratamiento
2MSD _i	Muestra suelo desecho de la parcela i en segunda capa de biotratamiento
HM	Horas consumidas en máquina para mezclas suelo-desecho (horas)
F	Cantidad de fertilizante (Kg).
NR	Parámetro no registrado

i: 1,2, 3,..., n parcelas, donde n=18.

La información referente a las parcelas en biotratamiento fue organizada y codificada de acuerdo al tipo de desechos según su origen (lodos y ripios) y según su formulación (base agua y base aceite), tal como se muestra en el Cuadro 2.

Cuadro 2

Codificación de los desechos

Grupo	Tipo de desecho		Código	Parcelas
	Origen	Formulación		
1	Lodo	Base agua	L	P5, P6, P7, P8, P9, P10, P11, P13, P15, P16, P17, P18, P20, P22, P23, P24, P25, P30, P34, P38, P46, P55, P50, P66, P67
2	Ripio	Base Agua	R	P1, P2, P3, P19, P21, P29, P33, P37, P41, P42, P45, P49, P53, P54, P58, P65
3	Lodo	Base Aceite	LA	P26, P28, P31, P35, P39, P43, P47, P50, P51, P56, P60, P62, P63
4	Ripio	Base Aceite	RA	P4, P12, P14, P27, P32, P36, P40, P44, P48, P52, P57, P61, P64, P68

Resultados y Discusión

Influencia de las Características del Suelo Virgen en los Valores Finales del RAS

En primer lugar, se analizaron las características del tipo de suelo (desde el punto de vista textural), indicando que según calicatas realizadas en diversos puntos del terreno perteneciente a la empresa CETRAPECA, los suelos del área del proyecto presentan texturas de liviana a media, con

incremento de arcilla en profundidad del perfil, cuyo color varía de marrón a amarillo claro en el horizonte superficial a marrón amarillo oscuro y marrón amarillo en el resto del perfil, con pH fuerte a moderadamente ácido que va de 4,3 a 5,4.

La estructura es moderada, no presenta problemas de salinidad, su coeficiente de permeabilidad va desde 10^{-6} a 10^{-8} siendo su permeabilidad muy baja y taxonómicamente se clasifican como Paleustalfs medios, hay presencia frecuente de raíces en los primeros 50 cms y pocas en el resto del perfil.

Según lo indicado anteriormente, se infiere que los suelos desde el punto de vista textural son ideales para realizar sobre ellos biotratamiento de desechos tipo recortes de perforación por ser arenosos, pero desde el punto de vista estructural no son ideales, porque el coeficiente de permeabilidad es muy bajo, lo cual indica que la capacidad del lavado del suelo es baja, representando un inconveniente para el tratamiento de los desechos sobre todo cuando estos contienen grandes concentraciones de sales.

Adicionalmente, CETRAPECA cuenta con cinco muestreos de parámetros físico-químicos de suelo virgen, tomados aleatoriamente en cinco puntos diferentes del terreno por laboratorios externos debidamente inscritos ante el Ministerio del Poder Popular del Ambiente, denominados “Líneas Base de Suelos” (LBS). Una vez codificados, se tomaron los valores de las cinco Líneas Base de Suelos realizados y se determinaron las características promedio del suelo virgen para cada uno de los parámetros, según promedio aritmético. En el Cuadro 3 se presentan los resultados obtenidos. Cabe destacar que los parámetros analizados son los contemplados en el Decreto 2.635 en sus Artículos 50 y 53.

$$\bar{X} = \frac{\sum_{LB1}^{LB5} Magnitud_{parametro_{muestreo}}}{5}$$

Ecuación 2. Características promedio del suelo virgen

Cuadro 3

Condiciones promedio del suelo virgen CETRAPECA

Parámetro	Límite decreto 2635	LBS1	LBS2	LBS3	LBS4	LBS5	Promedio Suelo virgen
pH (Unidad)	5-8	3.74	4.3	4.88	7.1	4.33	4.87
Conductiva (mmhos/cm)	<3.5	0.808	0.471	0.17	0.1	4.37	1.18
Humedad (%)	**	3.39	3.65	5.69	-	3.36	4.02
Cloruros Totales (mg/Kg)	<2500	80.83	81.05	3.05	106	126	79.386
R.A.S (Adimensional)	<8	0.184	0.11	0.14	0.13	2.73	0.6588
Aluminio intercambiable (meq/100g)	<1.5	1.13	0.375	1.85	<0.01	0.31	0.735
Saturación con Bases (mg/Kg)	>80	57.24	87.76	47.15	100	92.65	76.96
Aceites y Grasas (% en peso base seca)	≤1	<0.05	<0.05	<0.005	<0.10	<0.005	0.042
Hidrocarburos Totales del Petróleo (TPH) (% en peso base seca)	≤1	<0.05	<0.05	<0.005	-	<0.005	0.040
Arsénico (As)	25	0.06	<0.05	<0.05	<1	<1.75	0.582
Bario (Ba)	20000	8.51	46.36	9.27	198	2.58	52.944
Cadmio (Cd)	8	0.51	0.4	0.07	<0.1	1.16	0.448
Mercurio (Hg)	1	<0.05	0.05	<0.05	<0.1	<0.85	0.22
Selenio (Se)	2	0.32	<0.05	<0.05	<1	<2.00	0.684

Cuadro 3 (Continuación)

Parámetro	Límite decreto 2635	LBS1	LBS2	LBS3	LBS4	LBS5	Promedio Suelo virgen
Plata (Ag)	5	< 0.05	<0.05	< 0.05	<0.1	<0.24	0.098
Cromo (Cr)	300	1.38	4.89	22.47	21.35	13.1	12.638
Zinc (Zn)	300	23.17	18.34	73.72	70	70.96	51.238
Plomo (Pb)	150	1.38	1.15	9.12	9.93	54.28	15.772
Fenoles	14.4	-	-	-	-	<0.1	0.1

En el Cuadro 3 se observa un valor promedio de pH de 4,87 indicando que es un suelo muy ácido, lo que afecta su integridad y disminuye su habilidad para los cultivos. Sin embargo, este factor se convierte en un beneficio adicional al proceso de biotratamiento ya que los desechos poseen pH muy alto y esto produce un equilibrio en el suelo, por lo que tiende a neutralizarse en las mezclas suelo-desecho. Más adelante se verá que frecuentemente se obtienen valores ideales.

También se logra observar que el valor de conductividad eléctrica del suelo es 1,18 mmhos/cm que está muy por debajo del límite establecido en la norma, lo cual es preocupante porque el parámetro de conductividad es un indicador directo del grado de salinidad que poseen los suelos como se expuso en las bases teóricas, quedando confirmado con la caracterización de los suelos de CETRAPECA. Tal característica hace que el proceso de biotratamiento sea rápido en los suelos de la compañía y contrarreste las altas concentraciones de sales que poseen algunos desechos. Por lo demás, cabe mencionar que en el suelo virgen se detectan, aunque en valores ínfimos, cantidades de aceites y grasas y TPH, lo cual se explica debido a los contenidos minerales esenciales de las plantas ahí existentes.

Posteriormente y considerando que en CETRAPECA se reutilizan las parcelas de tratamiento a través de capas, encontrándose para el

momento de la realización de la investigación 4 parcelas en segunda capa de biotratamiento, identificadas como P15, P17 y P18, se procedió a comparar los resultados promedio de las LBS frente al valor referencial como “suelo virgen” para la segunda capa, que está constituida, a su vez, por los resultados finales de los muestreos de la primera capa (MSDI). Los resultados comparativos de los parámetros más representativos por incidencia directa en los resultados finales del biotratamiento, se expusieron en cuadros, en los cuales se muestran los valores del RAS para cada una de las 4 parcelas analizadas. Sus resultados se presentan en el Cuadro 4.

Cuadro 4
Comportamiento del RAS por capa P15

P15	Decreto	Prom. LBS	MID	MSDI		2MID	2MSDI
Parametro				→HM=NR y F=NR			→HM=25h y F=5Kg
R.A.S (-)	8	0.6588	1.59	3.2	1ra → 2da Capa	28.23	64.68
Sodio (ml/L)	-	-	-	-		18.3	129.7
Calcio (ml/L)	-	-	-	-		0.41	6.46
Magnesio (ml/L)	-	-	-	-		0.42	1.58
Cond. (mmhos/cm)	3.5	1.18	0.48	1.42		2.73	7.71
pH	5	4.87	6.9	6.71		11.41	8.35
Aceites y Grasas (% en peso base seca)	1	0.042	0.1	0.005		0.005	0.005
TPH (% en peso base seca)	1	0.040	-	-		0.005	0.005

Procede acotar que en la primera capa de desechos los valores del

RAS de las MID se encontraron entre 0,22 y 1,59, mientras que en el primer muestreo realizado para MSDI los valores están entre los 3,22 y 3,63. En ambos casos, los valores de RAS se encuentran por debajo de 8, valor establecido como límite en el Decreto 2.635; esto indica que los desechos se encuentran dentro de la norma. Las variaciones que se dan en la primera capa de desechos en biotratamiento entre los valores del RAS de MID y MSDI son mínimas, observándose un ligero aumento a medida que se mezclan los desechos, contrario a lo que se espera, puesto que el promedio de RAS de LBS es de 0,7. Es decir, aparentemente el RAS se acumula en lugar de contrarrestarse.

Por otra parte, en los mismos Cuadros que se elaboraron las columnas que reflejan los valores del RAS para la segunda capa de desecho, presentan valores para 2MID que van desde 14,03 hasta 28,23. No obstante, los resultados más concluyentes se encontraron al analizar las 2MSD, donde se reportaron valores que van desde 10,875 a 64,68 que están muy por encima de los límites establecidos en el Decreto 2635. Se observó que en la segunda capa, luego de realizadas las mezclas suelo-desecho, los valores del RAS se incrementan muy considerablemente, a excepción de la P16, lo que implica una tendencia negativa en los valores del RAS.

Comparativamente se observa que las condiciones iniciales del suelo al recibir la segunda capa son diferentes a las condiciones de LBS, donde se parte de unas condiciones más desfavorables con valores de RAS en torno a 3, frente al valor promedio de LBS de 0,6.

En otras palabras, el proceso de biotratamiento es más efectivo cuando es realizado en suelos vírgenes, esto debido a una razón muy lógica, cuando se mezclan los desechos en tales suelos, los cuales se encuentran en condiciones idóneas para el biotratamiento ya que no han sido alterados por ninguna sustancia ocurre una dilución de los compuestos tóxicos de los desechos en el suelo donde son tratados; mientras que los desechos cuando son tratados en suelos donde las condiciones físico-químicas han sido previamente alteradas, la dilución mencionada anteriormente es más lenta, el proceso por tanto es menos efectivo.

Por otra parte se observó que al contrario de disminuir el valor del RAS en la mezcla suelo- desecho de las parcelas mencionadas, este aumentó. Como se sabe el sodio no se degrada en el tiempo, es decir es acumulativo, produciéndose un aumento; fenómeno que resulta seriamente negativo al proceso de tratamiento de los desechos. Se concluye que no solo el tipo de suelo afecta; al contrario, existen otras variables que posiblemente estén afectando de manera negativa el biotratamiento al aumentar los niveles de sodio en los desechos las cuales requieren ser estudiadas con más detenimiento.

Incidencia de los Ripios y Lodos Base Agua y Base Aceite en el Comportamiento de la Relación Adsorción Sodio

Para el análisis de la incidencia del tipo de desechos de acuerdo a su origen y formulación en el comportamiento del RAS se elaboraron Cuadros con la información de los muestreos realizados a cada parcela por grupo. Debido a la gran cantidad de información obtenida fue necesario elaborar promedios aritméticos de los valores del RAS para cada muestreo, en función de facilitar la presentación de los resultados.

A manera de ejemplo, a continuación se presenta el Cuadro 5 correspondiente al grupo I de las parcelas estudiadas; en éste se refleja el comportamiento del RAS en el tiempo, y ofrece los resultados de los muestreos realizados a dicha parcela. En los mismos se encuentra la identificación del grupo, el parámetro reportado (RAS), la identificación de las muestras iniciales de los desechos, las muestras de la mezcla suelo desechos que reportaron los laboratorios después de su respectivo análisis, se encuentra la identificación de las parcelas, en cada celda están los valores del RAS, cuando el valor se encuentra identificado con letras negritas representa el último valor 61 muestreado en correspondencia con la norma establecida. Se calcularon los valores promedios de los muestreos con la finalidad de representarlos de manera más visible en los gráficos que al efecto se elaboraron, los cuales no se incluyen en el presente artículo.

Cuadro 5

Comportamiento del RAS Grupo 1 (L)

Gupo 1 L		RAS			
Parcela	MID	MSD1	MSD2	MSD3	MSD4
P5	19.00	-	17.56	13.03	28.28
P6	14.03	90.93	32.16	25.95	-
P7	14.03	13.47	25.95	-	-
P8	20.56	32.02	29.99	62.78	-
P9	14.03	19.28	19.11	-	-
P10	14.03	76.12	53.89	-	-
P11	14.03	12.24	19.28	19.11	-
P13	Indeterminado	3.02	34.70	35.28	-
P15	28.23	64.68	-	-	-
P16	28.23	10.88	-	-	-
P17	14.03	36.78	-	-	-
P18	14.03	29.79	-	-	-
P20	157.00	-	-	-	-
P22	-	7.48	4.29	-	-
P23	-	62.52	4.29	-	-
P24	-	15.47	4.38	-	-
P25	-	1.88	-	-	-
P30	-	4.78	3.12	-	-
P34	1.59	21.29	3.96	-	-
P38	-	5.29	-	-	-
P46	19.13	5.55	-	-	-

Un resumen del comportamiento del RAS por grupo, se presenta en el Cuadro 6.

Cuadro 6

Comportamiento del RAS por grupo

Grupo	RAS					
	MID	MSD1	MSD2	MSD2	MSD3	MSD4
L	24.45	23.92	19.44	35.78	28.28	-
R	17.55	16.33	9.30	18.92	17.23	-
LA	9.34	6.91	4.81	5.97	-	-
RA	32.74	6.70	8.45	6.72	6.72	1.06

Los resultados obtenidos también permiten concluir que el tipo de desecho según su origen y formulación ejerce una influencia directa sobre el comportamiento y evolución del RAS en el tiempo, siendo notorio en el grupo de desechos con los resultados más negativos que pertenecen a los lodos base agua, donde el RAS aumentó en el tiempo.

Al describir el comportamiento de los lodos base agua conviene describir al mismo tiempo el de los ripios base agua, observándose en el grupo de parcelas un comportamiento similar al de los lodos con esta misma formulación. El caso de los ripios base agua es menos crítico que el de los lodos, esto se debe a que en el suelo respectivo (RA) los valores del RAS son más constantes y no se incrementan en el tiempo, pero si se mantiene un comportamiento sin alteraciones apreciables en el tiempo, lo que resulta en una falla en el proceso de biotratamiento, ya que los valores deben disminuir durante el proceso. La función que mejor describe el comportamiento del RAS en este grupo es de tipo logarítmica con un error de 0,02 por ciento.

El comportamiento del RAS es más positivo en los siguientes dos

grupos, donde se observó una disminución de este parámetro durante el proceso de biotratamiento, en el caso de los lodos base aceite es menos notable que en el de los ripios, puesto que la tendencia es la disminución constante en el tiempo, mientras que no existe función que describa este comportamiento de manera acertada, por otro lado el porcentaje de error en cada caso es alto, con valores que oscilan entre 58 y 62 por ciento.

Para analizar el comportamiento del RAS basado en el tipo de desecho a tratar, se reflejan los valores promedio de la variación del RAS, por grupo de desechos. Además de calcular los valores promedios de la variación del RAS, por grupos de desechos se calcularon los porcentajes de variación del RAS entre cada uno de los grupos que representan cada tipo de desecho tratado en CETRAPECA, considerando además el tiempo de tratamiento a los cuales han sido sometidos los desechos. (Cuadro 7).

Cuadro 7

Variación porcentual del RAS por grupo

Grupo	Desechos con 6 meses de tratamiento %	Desechos con 12 meses de tratamiento %	Desechos con 18 meses de tratamiento %	Desechos con 24 meses de tratamiento %	Variación total del RAS en el tiempo %
L	-9.06	-19.45	+57.8	+32.48	+15.44
R	-4.3	-30.22	-59.58	-63.33	-39.36
LA	-59.76	-15.97	+94.47	-	+6.25
RA	-6.39	+3.87	-15.93	-6.71	-6.29

Para la presentación de los porcentajes de variación del RAS en el tiempo mostrados en el Cuadro No. 7, en primer lugar se calculó la variación del RAS entre un muestreo y otro por parcela, seguidamente se separaron las parcelas tomando en cuenta aquellas que contaban con el mismo tiempo de tratamiento, por último se realizó un promedio aritmético de los valores obtenidos considerando los tiempos de tratamiento, y también para reducir el porcentaje de error y que los valores se acerquen en mayor grado a la

realidad. En los valores anteceditos por el signo positivo la variación fue positiva, por lo tanto, el RAS aumentó; los valores anteceditos por signos negativos indican que el RAS disminuyó su valor en el tiempo.

Del análisis de los datos contenidos en el Cuadro 7 también se concluye que, basados en el tipo de desecho según su origen (ripió o lodo), el comportamiento del RAS en los lodos resulta negativo. Así mismo se comprueba que en ambos casos la tendencia es al aumento, lo que puede confirmarse observando la variación para Ly LA, la cual es positiva; significa esto un aumento en los valores del RAS reportados por los muestreos realizados a cada parcela.

Este comportamiento ratifica lo planteado en las bases teóricas de la investigación adelantada, y se fundamenta en que los lodos de perforación sin importar su base son mezclados directamente con el suelo para realizar su biotratamiento. Caso contrario ocurre con los ripios, que son mezclados directamente con el suelo, pero se puede considerar que este tipo de desechos ha sido sometido a una pre mezcla, la que se realiza con la matriz de la roca que es extraída durante la perforación de los pozos, haciendo esto que la concentración de químicos por unidad de volumen en este tipo de desecho sea menor a la de los lodos.

Por otra parte, el comportamiento queda sustentado si se observan de nuevo los porcentajes de variación de los grupos R y RA en el Cuadro 7, donde los promedios de variación en ripios son negativos, indicando una disminución de los valores del RAS en el tiempo.

De la incidencia que tiene la formulación de los lodos o ripios que son mezclados en el suelo en el proceso de biotratamiento, y del análisis de la información contenida en los cuadros presentados, se concluye que en los desechos de perforación (ripios y lodos) cuya formulación es base agua, el comportamiento del RAS es negativo al proceso de biotratamiento. Por lo demás, se observa que: a) los lodos de perforación base agua tienen valores promedios de RAS que oscilan entre las 20 unidades, que en algunas oportunidades llegó a ser mayor de 100, b) durante el tratamiento

realizado en CETRAPECA, este valor aumentó.

Los resultados negativos que se observaron en el tratamiento de tales tipos de desechos se deben a la composición química de los lodos de perforación base agua, estos son en muchas oportunidades mezclados con compuestos sódicos, y en algunas ocasiones son mezclas llamadas salmueras que a la hora de perforar un pozo resultan de gran utilidad para el control de los mismos, pero es esta ventaja la que influye de manera negativa al tratar tales desechos, pues el sodio es el elemento que se encuentra en la parte superior de la expresión matemática del RAS, de manera que al aumentar la concentración de este aumenta también la relación de concentración de los iones de sodio con respecto al resto de los elementos del suelo.

La concentración del sodio como se ha referido a lo largo de esta investigación, es factor determinante en el valor del RAS, y este elemento no es degradable por procesos biológicos en el suelo, sino que requiere procesos mecánicos tales como la mezcla, la dilución y el lavado para lograr disminuir su valor, por lo tanto el RAS es acumulativo en el tiempo. Sin embargo, se observó que los valores del RAS no disminuyeron; al contrario, aumentaron durante el proceso de biotratamiento, indicando que durante las operaciones realizadas en CETRAPECA se introdujo una concentración adicional de sodio o se extrajo una concentración de calcio y magnesio, pudiendo también ocurrir una reacción con evidencia de Ca y Mg, donde las concentraciones de iones disponibles para el intercambio que ocurre en el suelo se hayan visto afectadas.

Conclusiones

Las características del suelo virgen perteneciente a la empresa CETRAPECA tienen una influencia directa en el proceso de biotratamiento de ripios y lodos, donde se demostró que aquellos desechos mezclados con el suelo tienen una evolución más acelerada que aquellos mezclados en suelos reutilizados, pues las condiciones físico-químicas del suelo

afectan los desechos. Si este se encuentra sin alteraciones de su estructura y sus propiedades, sucederá un proceso de dilución del desecho; caso contrario ocurrirá si este ya fue sometido a un proceso de mezclado donde sus condiciones iniciales han sido afectadas por la primera mezcla.

El tipo de desecho y su base están directamente asociados al comportamiento de la relación adsorción sodio. Al respecto se demostró que en los desechos base agua el proceso es menos efectivo que en los desechos base aceite, fenómeno influenciado por los químicos y bases utilizadas en la formulación de los lodos de perforación y el uso excesivo de salmueras en esta práctica. Por otra parte, cuando se evaluó el tipo de desechos se notó una mayor eficiencia en el proceso de tratamiento de los ripios, esto debido a la previa dilución del lodo en los cortes de roca, por consiguiente, se indica que la dilución de los lodos es directa en el suelo que es utilizado en su biotratamiento.

Finalmente, el comportamiento del RAS en los desechos tratados en CETRAPECA está siendo afectado por las variables que repercuten en el mismo, siendo las de mayor incidencia las correspondientes al tipo de desecho (origen) que es tratado, y su formulación.

Referencias

- Decreto 2635. Normas para el control de la recuperación de materiales peligrosos y el manejo de desechos peligrosos. *Gaceta Oficial de la República de Venezuela*, 5245. (Extraordinario), agosto 3, 1998.
- Glazer, A.N. y Nikaido, H. (1995). *Microbial biotechnology: Fundamentals of applied microbiology*. New York: W. H. Freeman and Company.
- Leahy, J. y Colwell, R.R. (1990). Microbial degradation of hydrocarbons in the environment. *Microbiol. Rev.* 54, pp. 305-315.
- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (1992). *Chemical Pollution: a global overview*. Suiza: Geneve: IRPTC.