

RETENCIÓN DE CLORUROS, BARIO Y CROMO EN DOS ESPECIES DE MANGLE *AVICENNIA GERMINANS* Y *RHIZOPHORA MANGLE* DESARROLLADAS EN AGUAS DE PRODUCCIÓN DE LA INDUSTRIA PETROLERA MEDIANTE LA TÉCNICA DE CULTIVO HIDROPÓNICO

J. L. GROSSO, L. E. SÁNCHEZ[‡], D. AVENDAÑO[‡] y R. RESTREPO*

[‡] Biosfera EAT, Carrera 3 N° 65-58, Crespo Real, Apto 102, Cartagena, Bolívar, Colombia.
Ecopetrol - Instituto Colombiano del Petróleo, A.A. 4185 Bucaramanga, Santander, Colombia
E-mail: rrestrep@ecopetrol.com.co; E-mail: luchamangle@yahoo.com

El objetivo del presente estudio fue determinar el tipo de mecanismo de fitorremediación (fitoextracción y/o Rizofiltración) dado por los manglares *Rhizophora mangle* y *Avicennia germinans*, al estar expuestas a las aguas de un campo de producción petrolera, aplicando la técnica de hidroponía como sistema de siembra. Mediante la determinación de la bioacumulación de cloruros, bario y cromo en tejidos de ambas especies, y el análisis de contenido de cloruros, bario y cromo de un sustrato inerte con y sin presencia de manglar. Se presentan los resultados de la retención de cloruros, bario y cromo en tejidos de *A. germinans* y *R. mangle*, expuestas durante 308 días a aguas de producción con contenidos de bario ($1,25 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$) y de cromo ($0,002 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$), bajo condiciones de salinidad de 2.000 a $3.000 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. Se registra bioacumulación de los elementos estudiados (cloruros, bario y cromo) en tejidos en ambas especies y se relaciona su acumulación con el incremento en biomasa de cada especie, así como con el estado general de las plantas. Se registran tasas de sobrevivencia mayores al 95% de las plantas expuestas a las aguas de producción; incrementos en biomasa de hasta $5,88 \text{ gr}\cdot\text{día}^{-1}$ y concentraciones internas de cloruros de hasta $170.000 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ durante el período considerado, sin mostrar marcadas diferencias entre las especies. La bioacumulación en tejidos no provocó síntomas de deficiencia en las plantas estudiadas, comparadas con los estándares observados en la naturaleza. Igualmente los análisis de sustrato inerte sembrado con manglar registra retención tanto de cloruros como de bario. Se concluye que para las dos especies se dan ambos mecanismos de fitorremediación.

Palabras clave: manglar; tratamiento de aguas residuales; rizofiltración; fitoextracción; agua de producción; industria petrolera; metales pesados; cloruros.

* A quien debe ser enviada la correspondencia

The objective of the present study was to determine the phytoremediation mechanism (phytoextraction y/ o rhizofiltration) given by the mangroves *Rhizophora mangle* and *Avicennia germinans*, when exposed to waters from an oil production field applying the hidroponia technique like system for growing the species. Determination of chlorides, barium and chromium bioaccumulation in tissues of mangrove species under study was compared with content of these elements in an inert substrate without mangroves. Bioaccumulation of the targeted elements was measured after 308 days exposure of the mangroves to production waters with initial barium and chromium contents of $1.25 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$ and $0.002 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$ respectively, and salinity in the range of 2,000 to 3,000 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. Bioaccumulation of the studied elements (chlorides, barium and chromium) in tissues of both species was correlated to the increment in biomass of each species, as well as to the general physical condition of the plants. Survival rates higher than 95% of the exposed plants to production water during the time of study, increment in biomass of up to $5.88 \text{ g}\cdot\text{day}^{-1}$, and concentrations of chlorides in tissues in the 0 – 170,000 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ during the considered period were observed. No significant difference between the two mangrove species was obtained. Bioaccumulation in tissues does not cause symptoms of deficiency in growing rates in the studied plants compared to natural rate indexes. Similarly, the analyses of inert substrate around the mangrove roots showed chloride and barium concentrations, contrary to the results of the targeted elements in the inert substrate when mangroves are not present. Both phytoremediation mechanisms were observed for the two mangrove species.

INTRODUCCIÓN

Las plantas son un verdadero laboratorio de experimentación de la contaminación por metales pesados gracias a su fisiología abierta al medio ambiente y a su gran flexibilidad adaptativa (Barceló y Paschenrieder, 1989). Entre las razones que explican lo anterior están la especificidad genética a la tolerancia de ciertos niveles tóxicos de algunos elementos, los caracteres, que responden a los problemas de minerales específicos, son hereditarios, y el ser seres eficientes en la toma y absorción de los nutrientes (Christiansen & Lewis, 1991).

Los manglares son plantas leñosas que se desarrollan a lo largo de toda la franja tropical y subtropical del mundo. Debido a su especial diseño y a sus características fisiológicas han logrado colonizar y sobrevivir en áreas hostiles donde ningún otro vegetal podría desarrollarse satisfactoriamente (Avenidaño y Sánchez, 1995). Gracias a esa capacidad innata su aplicación ha despertado un interés en procesos de fitorremediación, depuración y control de contaminantes (Silva *et al.*, 1990; Grosso *et al.*, 1996). Los costos cada vez más elevados de la energía, así como la conservación de ésta y la ecología hacen que este enfoque sea atractivo y revolucionario en el ámbito tecnológico, permitiendo además la conservación y permanencia de estas especies para futuras generaciones.

Este trabajo busca determinar mediante qué tipo de mecanismo de fitorremediación: fitoextracción (Bioacumulación) y rizofiltración (Inmovilización de elementos a nivel de rizosfera) se da en el manglar al estar expuestos a aguas de producción y hace parte de un estudio global que busca la aplicación industrial del manglar en procesos de depuración y control de metales pesados y cloruros provenientes de los efluentes de los campos de producción petrolera y, con el antecedente de los resultados preliminares obtenidos en el estudio realizado por Grosso *et al.*, (1996).

El objetivo del presente estudio es determinar la bioacumulación de cloruros y metales pesados (específicamente de bario y cromo) en un campo de producción petrolera aplicando la técnica de hidroponía como sistema de siembra.

ZONA DE ESTUDIO

El trabajo se realizó en el campo de producción Toldado de la Empresa Colombiana de Petróleos

ECOPETROL, ubicado en el municipio de Ortega (Tolima, Colombia) a 1.350 m.s.n.m. y a más de 900 km, de la costa más cercana. La clasificación climática de la zona corresponde a un clima cálido seco, con temperaturas mínimas de 297,3 K (24,3 °C); con temperatura promedio anual de 300,6 K (27,6 °C). El régimen de lluvias presenta una distribución bimodal, con lluvias entre marzo-mayo y septiembre-noviembre. La humedad relativa promedio anual es de 72%. Los valores de evaporación presentan una media anual de 187mm, un valor máximo mensual de 375,7mm y un mínimo de 77,1mm.

ÁREA DE ESTUDIO

Consiste en una piscina de oxidación con un área de 800 m² y una profundidad promedio de 3 m, la cual recibe las aguas generadas en la extracción del hidrocarburo (5.000 bls · día⁻¹). El piso de la piscina es de tierra y sus paredes están recubiertas por concreto. Sobre las paredes de la misma se encuentra un sistema de aspersion que se utiliza para bajar la temperatura del agua. Adicionalmente, sobre el cuerpo de agua hay dos motores de inyección de aire que, además de oxigenar las aguas, generan una dinámica hídrica en la masa de agua, promoviendo la formación de corrientes cíclicas dentro de la piscina.

METODOLOGÍA

Del medio natural (Bahía de Barbacoas, Bolivar, Colombia) se extrajeron 2.640 embriones (960 de *R. mangle* o 'mangle rojo' y 1.680 de *A. germinans* o 'mangle salado'). El trabajo se dividió en cuatro fases.

Fase 1. Etapa de Activación

Se realizó antes del contacto con las aguas de producción.

El objetivo era asegurar la fijación y el contacto de las raíces de los embriones en el momento de colocarlos en la piscina de oxidación.

Los embriones fueron sembrados en canastas hidropónicas plásticas, así: 168 embriones · m⁻² de *R. mangle* y 284 embriones · m⁻² de *A. germinans*, según Jiménez (1994), aunque estas densidades se consideran altas para procesos de reforestación son las que se presentan en el medio natural y aseguran la selección natural. Como sustrato de sostén en cada canasta se emplea-

ron materiales inertes como cascarilla de arroz y aserrín.

Con el fin de acelerar la activación radicular en el momento de la siembra se agregaron a cada embrión 2 g de sustrato orgánico enriquecido con el hongo *Glomus fasciculatum*, especie registrada para los suelos de manglar por Palomino (1995). Los embriones se regaron dos veces al día con agua dulce, durante un mes, hasta que su sistema radicular llegó al fondo de la canastilla.

Fase 2. Montaje en la Piscina de Oxidación

El total de canastas de siembra se colocaron sobre la superficie de la piscina mediante sistemas de flotación, asegurando que las raíces quedaran en contacto directo con las aguas de la piscina.

Fase 3. Monitoreo Biológico

Se hizo un seguimiento por 308 días, basados en lo sugerido por Banus, (s.f.) acerca de la mayor vulnerabilidad de las plantas en sus etapas más tempranas. A los 50, 101, 153, 192, 252, 272 y 308 días de exposición a las aguas de producción se evaluó la supervivencia, el incremento foliar y el crecimiento en talla, mediante conteos y mediciones de cada una de las plantas presentes en las canastas. Finalmente, se cuantificó la biomasa para cada especie, tomando muestras representativas de las mismas, utilizando el método de cosecha total.

Fase 4. Monitoreo de Bioacumulación

Se colectaron por duplicado muestras de tejidos de los embriones de cada especie, antes de ser sometidos a las aguas de la piscina de oxidación (0 días) y a los 50, 192 y 308 días de estar expuestos a las aguas, con los cuales se determinó el contenido de Ba, Cr y cloruros.

Como marco de referencia se tomaron muestras del agua en donde se midieron contenidos de sodio, calcio, magnesio, hierro, cloruros, bario y cromo, además de pH, dureza, fenoles e hidrocarburos.

Metodología para el Análisis del Agua y los Tejidos

Para el análisis de metales se utilizaron los métodos estandarizados de la APHA, AWWA y WPCF, 1985. Para el bario total, se utilizó el método 3500-Ba y para el cromo total, el 3500-Cr, ambos con la técnica de Espectrofotometría de Absorción Atómica. Para el fenol,

se utilizó el método fotométrico 5530D y para cloruros el método Argentométrico número 4500-Cl-1 B.

Los equipos utilizados fueron: espectrofotómetro HACH DR-2000, pHmetro, titulador automático y espectrofotómetro de absorción atómica.

Para el análisis de tejidos se tomaron 35 gr. de material seco para posterior digestión según el método recomendado por The Hach Digesdahl Digestion System For Plant Tissue y posterior análisis, (APHA *et al.*, 1985).

Monitoreo de Sustrato (rizofiltración)

Se realizó una prueba entre el contenido de metales y cloruros en un sustrato (cascarilla) libre de la presencia de mangle, pero en contacto con el agua de producción y el mismo sustrato expuesto al agua de producción, con presencia de mangle.

Fase 5. Análisis de Resultados

Los datos obtenidos en campo fueron promediados, se evaluó la desviación estándar y se elaboraron gráficos en el tiempo con el fin de observar el comportamiento a lo largo del período de muestreo.

Resultados Físicoquímicos

Las aguas de producción presentes en la piscina del campo se caracterizan por presentar una temperatura promedio de 309 K (36 °C), ser básicas (pH = 7.7) y presentar valores altos de magnesio ($71,75 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$) y fenoles ($0,41 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$), con valores de bario y cromo dentro de las normas para vertimientos. Las características físicas y químicas de las aguas presentes en la piscina se observan en la Tabla 1.

RESULTADOS BIOLÓGICOS

Supervivencia

De acuerdo con los resultados obtenidos durante el período de muestreo (porcentajes superiores al 95%), se puede asegurar que el agua de producción no afectó la supervivencia de las plantas, Figura 1. La estabilidad de las curvas en el transcurso del tiempo es una prueba de lo anterior ya que las variaciones registradas para la variable dentro de la piscina no superan el 2%.

Tanto *A. germinans* como *R. mangle* presentaron un leve descenso en su porcentaje de supervivencia en

Tabla 1. Valores de los parámetros físicos y químicos de las aguas de la piscina de oxidación.

Parámetro	Valor	Unidades	Parámetro	Valor	Unidades
Temperatura	36	°C	Grasas y aceites	37,9	g·m ⁻³
pH	7,7	Unidades	Bario	1,25	g·m ⁻³
Conductividad eléctrica	4890	μS·cm ⁻¹	Calcio	135	g·m ⁻³
Alcalinidad Total	374,2	g·m ⁻³ CaCO ₃	Cromo	0,002	g·m ⁻³
Dureza Total	628,6	g·m ⁻³ CaCO ₃	Hierro	0,4	g·m ⁻³
Turbidez	16,5	U.N.T.	Magnesio	71,75	g·m ⁻³
Oxígeno disuelto	2,5	g·m ⁻³ O ₂	Níquel	0,005	g·m ⁻³
D.Q.O.	4,24	g·m ⁻³ O ₂	Sodio	1400	g·m ⁻³
D.B.O ₅	3,15	g·m ⁻³ O ₂	Plomo	0,045	g·m ⁻³
Fenoles	0,41	g·m ⁻³	Sulfatos	4,35	g·m ⁻³
Sólidos totales	3561	g·m ⁻³	Cadmio	0,01	g·m ⁻³
Sólidos suspendidos	137,5	g·m ⁻³	Cloruros	2241	g·m ⁻³

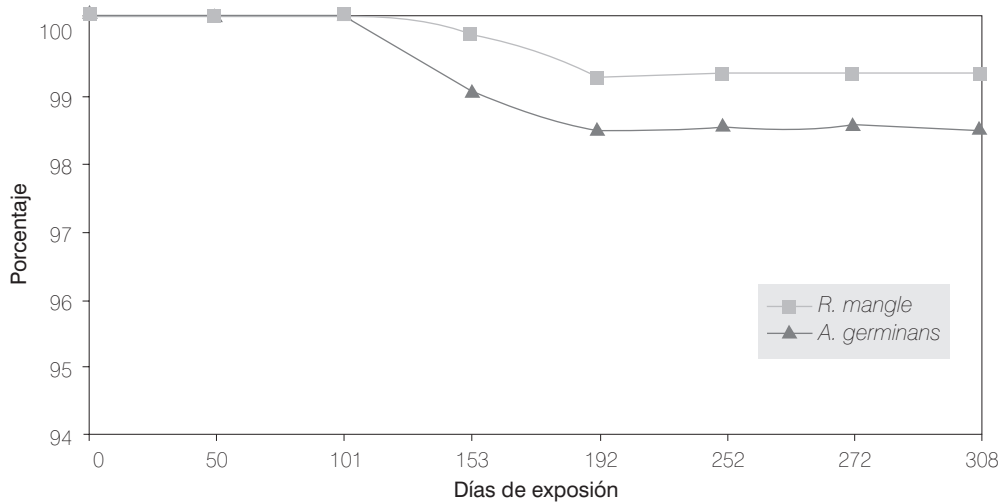


Figura 1. Supervivencia de las especies utilizadas a lo largo de todo el período de muestreo.

la época de sequía (monitoreo de los días 101 y 192). A partir de este período la curva vuelve a estabilizarse.

Incremento foliar

El 100% de las plantas de la especie *A. germinans*, al ser colocadas en la piscina, presentaban hasta 10 hojas (Figura 2a). A medida que transcurren los días en contacto con el agua de producción, las plantas empie-

zan a presentar incrementos de la variable. Se observa un aumento de los porcentajes de plantas a rangos de mayor número de hojas (por ejemplo, a los 153 días de exposición al agua de producción, el mayor porcentaje se encuentra en el rango de 31 ó más hojas). Al mismo tiempo se da una disminución de los porcentajes de plantas con rangos de menor número de hojas (a los 153 días el rango de hasta 10 hojas no alcanza a tener un 10% del total de las plantas). Esta tendencia se

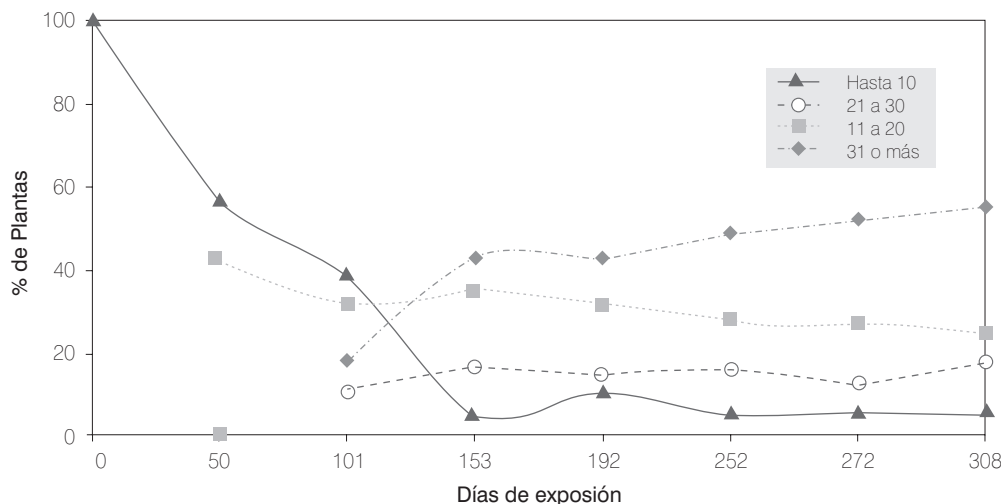


Figura 2a. Variación por rangos en el número de hojas de *A. germinans* a lo largo de todo el período de monitoreo.

mantiene a lo largo de todo el período de muestreo, con excepción del período de sequía (de los 153 a 192 días), donde hay una disminución general del número de hojas debido a la necesidad de disminuir las superficies de evapotranspiración (Devlin, 1980). Esta misma tendencia se observó para la especie *R. mangle*. La única diferencia radica en que la especie presentó un número diferente de hojas y un ritmo diferente de incrementos debido sus características específicas Figura 2b.

La coloración y tamaño de las hojas no presentó alteraciones ni malformaciones durante todo el período de muestreo. En la época de sequía *A. germinans* registró sal en la superficie de sus hojas en forma leve.

Incremento en Altura

En la Figura 3 se puede observar que durante todo el período de muestreo se presenta un crecimiento continuo el cual se suaviza levemente durante la época de sequía (monitoreos de los días 101, 153 y 192). Los incrementos presentados por la especie *A. germinans* son mayores al comparar con *R. mangle*, lo cual es atribuible a sus necesidades intrínsecas. En ningún caso se dió enanismo. Al finalizar el período, ciertas plantas de *A. germinans* presentan crecimiento en varilla debido a la alta densidad de individuos por canasta (supervivencia superior al 95%).

Incremento en Biomasa

La biomasa es la cantidad de materia viva que po-

see un organismo. El ritmo de incorporación de biomasa depende de numerosos factores, tanto genéticos como nutricionales y ambientales. Sin embargo, en términos generales, se sabe que un organismo vegetal normalmente tiende a incrementar su biomasa.

Lo anterior fue válido tanto para *A. germinans* como para *R. mangle* durante todo el período de muestreo. En las dos especies (Figura 4) se observa un mayor incremento a partir de los 272 días de exposición al agua de producción, alcanzando valores de hasta $5,88 \text{ g} \cdot \text{día}^{-1}$ para *A. germinans* y $4,17 \text{ g} \cdot \text{día}^{-1}$ para *R. mangle*.

Estado Fitopatológico

Las plantas puestas en contacto con las aguas de producción presentan un aspecto vigoroso, corroborado por la coloración que presentan sus tallos Figura 5, la presencia de brotes, la falta de clorosis (amarillamiento) o marchitamiento de las hojas y la ausencia de síntomas de deficiencias o intoxicaciones. No se registraron signos de plagas o infecciones entre las especies a lo largo de todo el período de muestreo. Así mismo durante este período, las plantas presentaron buen vigor (presencia continua de brotes) y no se observó ningún síntoma de saturación o envenenamiento.

BIOACUMULACIÓN

Cloruro

Antes de exponer las plantas de ambas especies al

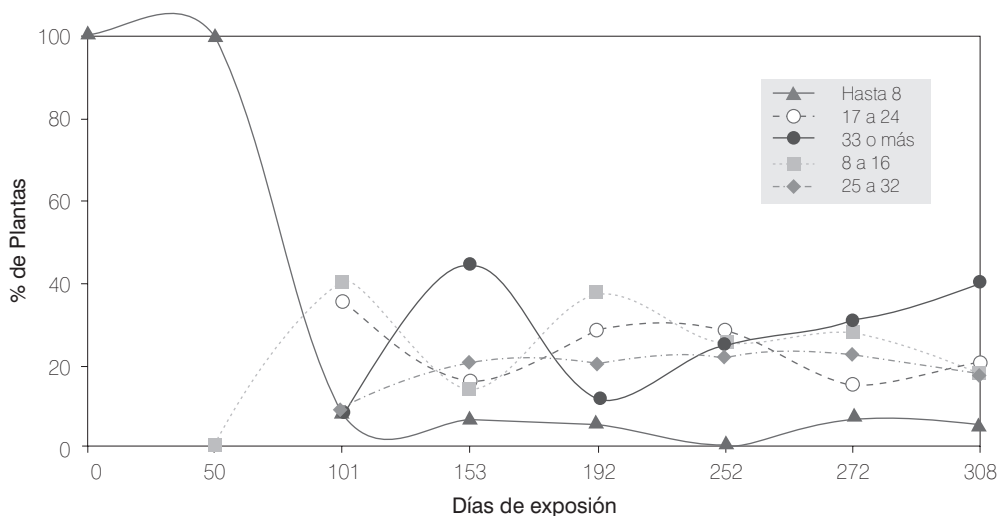


Figura 2b. Variación por rangos en el número de hojas de *R. mangle* a lo largo de todo el período de monitoreo.

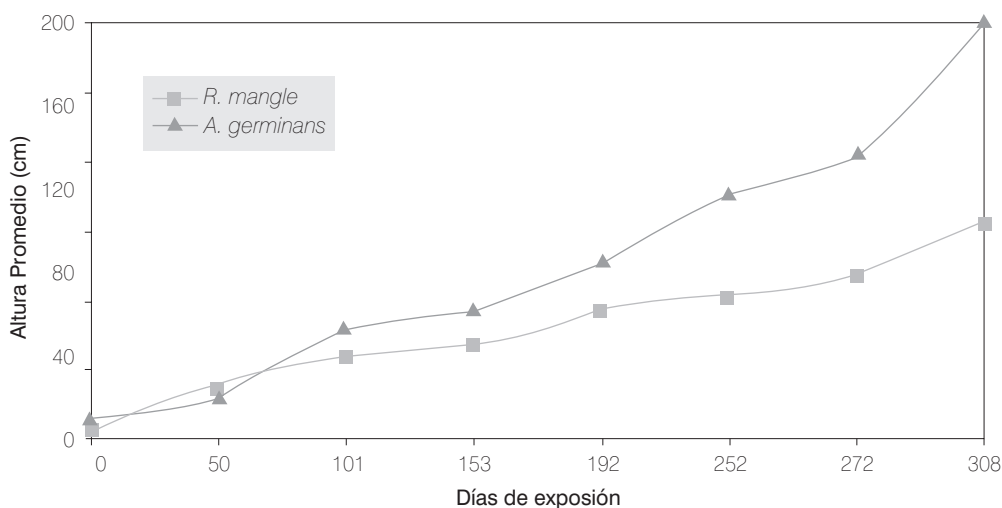


Figura 3. Curvas de crecimiento en altura a lo largo de todo el período de muestreo.

agua de producción (día 0) se registró un bajo contenido ($<1\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) de ion cloruro; durante los primeros 50 días se registró una acumulación de $36\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ para *R. mangle* y de $54\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ para *A. germinans* Figura 6. A medida que transcurre el tiempo de exposición es evidente una tendencia positiva a acumular cloruros. Las mayores tasas de bioacumulación coincidieron con la mayor velocidad de crecimiento (biomasa, foliar, talla).

Entre especies no se registra una diferencia marcada en bioacumulación. Sin embargo, es importante

anotar que *R. mangle*, a pesar de ser considerada una especie excluidora de sal, prácticamente iguala a *A. germinans*, especie no excluidora (Mallery y Teas, 1984), lo cual se puede deber a la baja concentración de sales contenida en el agua (menor a la décima parte del agua de mar, Tabla 1), que crea una mayor avidez en la toma del cloruro (Pannier, 1959).

Bario

La especie *R. mangle* registra una mayor concentra-

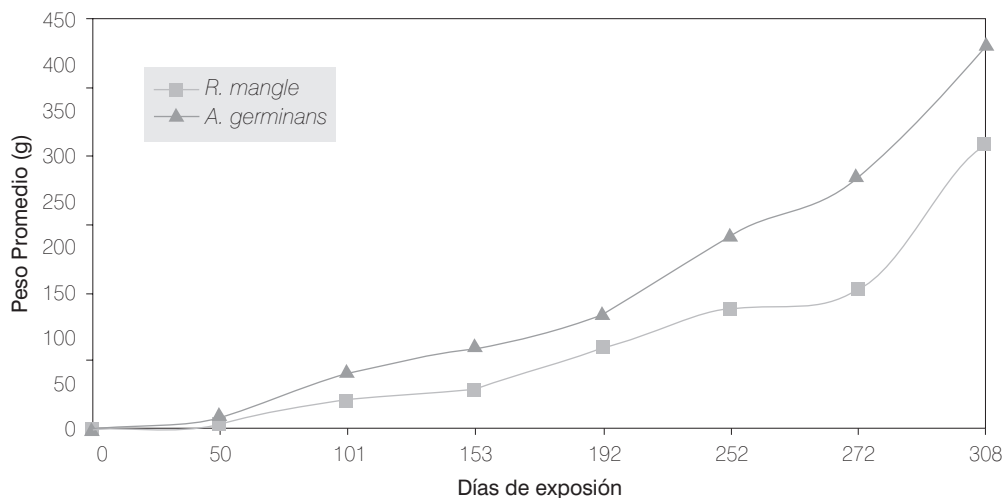


Figura 4. Biomasa a lo largo de todo el período de muestreo.



Figura 5. Estado fitopatológico de las plantas que se encuentran en contacto con las aguas de producción.

ción final de bario. En un mismo período de tiempo presentó diferente tasa de acumulación: del día 50 al 192 (4 meses) la cantidad acumulada casi se duplica, pero a partir de los 192 días la tasa de acumulación aumentó casi 4 veces, calculada a partir de la concentración de absorción en cada período de tiempo evaluado Figura 7.

Las curvas de acumulación presentan una mayor pendiente a partir del día 192 de exposición para ambas especies. Para dicho período se registran los mayores incrementos en crecimiento, tanto foliar, biomasa y talla, lo cual descarta que haya signos de saturación o envenenamiento por algunos de los elementos estu-

diados. La acumulación de los iones en ambas especies es hasta tres veces mayor a la registrada por Grosso *et al.*, (1996) para las mismas especies.

De acuerdo con el International Programme on Chemical Safety (WHO, 1990), si hay bario disponible en un agua con presencia de calcio, el bario compite con el calcio y lo desplaza, gracias a su menor radio atómico y a su mayor poder retenedor. Sin embargo, durante todo el monitoreo no se dieron muestras de deficiencias de Ca (hojas marchitas, enroscadas, torcidas en exceso, quebradizas y con pequeñas vesículas pegajosas, raíces viejas y nuevas con puntas cerdosas, de color pardo y menor número de fibras) (Christiansen y

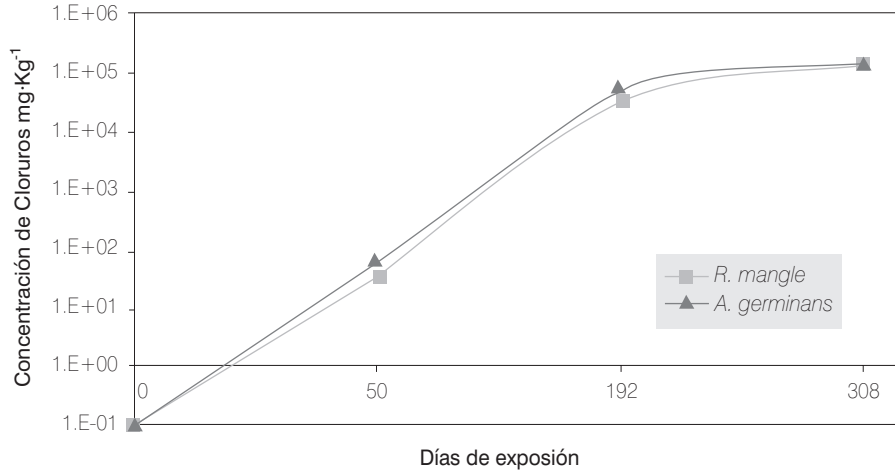


Figura 6. Acumulación de cloruros por especies durante el período de monitoreo.

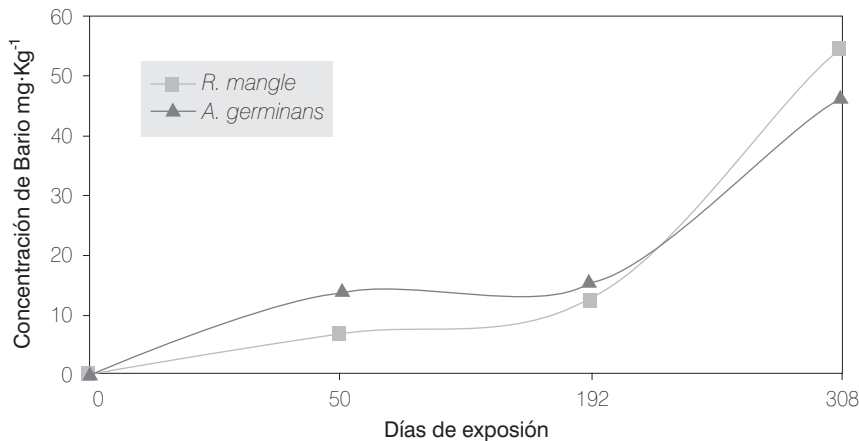


Figura 7. Comportamiento de la concentración de los iones bario.
Nota: del día 50 al 192 se registró época de sequía.

Lewis, 1991). Como justificación de lo anterior se puede mencionar que el bario puede entrar al tejido vegetal sin ninguna dificultad, por un mecanismo denominado “efecto de compensación o de remplazamiento” (Christiansen y Lewis, 1991). Incluso puede competir con otros cationes monovalentes, tales como el sodio, tomados activamente por el manglar (Jayasekera, 1990).

Grosso *et al.*, (1996) expone que ante el nuevo ambiente no costero y las características de aguas de producción, las propiedades del manglar permanecen inalteradas y su forma de acumulación por especie se sigue manteniendo, lo cual se corrobora en el presente

trabajo con los altos porcentajes de sobrevivencia Figura 1 y con las concentraciones de bario alcanzadas en el interior de las plantas de *A. germinans* y *R. mangle* Figura 7. Igualmente, se observó una mayor independencia a las épocas climáticas en cuanto a bioacumulación lo cual puede deberse, según lo expresado por Avendaño y Sánchez (1995), a la técnica de siembra (hidroponía) que asegura una fuente de agua constante, a pesar de ser época de sequía.

Cromo

Se registra una bioacumulación continua durante todo el período de muestreo. Las plantas presentaron

un buen estado fitopatológico. *A. germinans* presentó la mayor bioacumulación, sin embargo, la diferencia con *R. mangle* no es notoria a pesar de ser esta especie considerada como ultrafiltradora Figura 8.

RIZOFILTRACIÓN

Un factor adicional de filtración de metales pesados es el aislamiento de éstos en formas no bioasimilables dentro del sedimento o sustrato (rizofiltración), hechos que ya fueron registrados en manglar en medio natural por Silva *et. al.*, (1990).

Los resultados (Tabla 2) muestran en cada uno de los casos que las mayores concentraciones de los elementos evaluados se observan en el sustrato que tenía presente en el manglar, lo cual es atribuible a los procesos de rizofiltración, generados por las plantas del medio.

CONCLUSIONES

Las dos especies utilizadas durante el estudio son acumuladoras de cloruro, bario y cromo.

- De las dos especies utilizadas, *A. germinans* es la más efectiva para retener iones cloruro y cromo, con las condiciones del área y las características de las aguas del campo.
- De acuerdo con las concentraciones de iones bario y cromo obtenidas a nivel de tejido en las dos especies y a su estado fitopatológico, éstas se pueden considerar como especies metalófitas.
- Las dos especies estudiadas presentan los dos mecanismos de fitorremediación (fitoextracción y rizofiltración).

AGRADECIMIENTOS

Damos las gracias a la Empresa Colombiana De Petroleos Ecopetrol (ECOPETROL), especialmente al Distrito de Producción, por la financiación de la totalidad de este proyecto. Al doctor Paul Aguas por haber apoyado la realización del proyecto. Al Instituto Colombiano del Petróleo (ICP) por el apoyo logístico que nos brindó, sin el cual hubiese sido imposible realizar este trabajo. A los Ingenieros Germán Ayala, Alberto, Eber

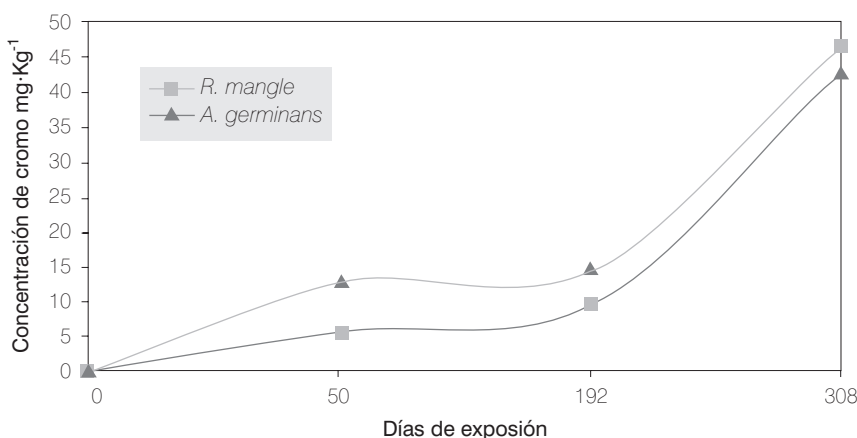


Figura 8. Bioacumulación de cromo por especie.

Tabla 2. Concentración de bario, cromo y cloruros en los sustratos

Sustrato	Bario mg·Kg ⁻¹	Cromo mg·Kg ⁻¹	Cloruro mg·Kg ⁻¹
Sin Mangle	2,4	N.D.	8,3
Con Mangle	8,7	6,2	10,5

y Pedro del Campo en Toldado, por su ayuda incondicional. A Patricia, por su paciencia y colaboración. A nuestro ayudante de campo, Roberto, por todos sus conocimientos.

REFERENCIAS

- APHA / AWWA / WPCF., 1985. "Standard methods for the examination of water and wastewater". 16th edition. 1268 p.
- Avendaño, D., Sánchez, L. E., 1995. "Desarrollo y evaluación de una técnica de recuperación de suelos de manglar afectada por hidrocarburos". *Tesis Profesional Fac. Biología Marina*. Univ. de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, 92p.
- Banus, D., s.f. "The effects of thermal pollution on red mangrove seedlings, small trees, on mangrove reforestation. In: CINTRON, G. & Y. SHAEFFER-NOVELLI. Ecology and Response to Natural and Man Induced Stressors". UNESCO (eds.), s.p.
- Barceló, J. C., Poschenrieder, D., 1989. "Estrés vegetal inducido por metales pesados". *Scientific American*, 154: 54 - 63. Barceló
- Christiansen, M. N., Lewis, C. F., 1991. "Mejoramiento de plantas en ambientes poco favorables". *Edit LIMUSA*. S.A. México, D.F. (México), 534p.
- Devlin, R., 1980. "Fisiología vegetal". Ed. Omega. Barcelona - España, 43 p.
- Grosso, J. L., Restrepo, R., Sánchez, L. E., Avendaño, D. y Mantilla, I., 1996. "Evaluación preliminar de la participación de especies de mangle en el control de metales pesados en aguas de producción". *Rev. Ciencia, Tecnología y Futuro (CT&F)* 1 (2): 55 - 65.
- Jayasekera, R., 1991. "Chemical composition of the mangrove, R. mangle L. J. Plant Physiol". 138: 119 - 121.
- Mallery, CH., Teas H. J., 1984. "The minerals ions relations. Root cell compartments in a salt excluder and a salt secreter species at low salinities". *Plant Physiol*. 25(7): 1123 - 1131.
- Palomino, O. L., 1995. "Tratamiento de suelos contaminados con aguas negras mediante la utilización de mangle micorrizado". *Monografía. U.I.S. Fac. Ingenierías Físico - Mecánicas*. Escuela de Ingeniería Civil. Universidad Industrial de Santander 153 p.
- Pannier, F., 1959. "El efecto de distintas concentraciones salinas sobre el desarrollo de R. mangle L". *Acta Científica Venezolana*, Caracas 10 (3): 68 - 78.
- Silva, C., Lacerda, L. y Rezende, C., 1990. "Metal reservoir in a red mangrove forest". *Biotropica*, 22 (4): 339 - 345.
- WHO 1990., "Barium. Environmental Health Criteria". 107. *Ed. Geneva*, Suiza, 148p.