

Informe final* del Proyecto M076

Recuperación con mangle blanco (*Laguncularia racemosa*) de áreas impactadas por hidrocarburos y su manejo como agrosilvo-ecosistema en la zona costera de Huimanguillo y Cárdenas, Tabasco

Responsable: Dr. Randy Howard Adams Schroeder
Institución: Universidad Juárez Autónoma de Tabasco
Dirección: Km 0.5 carretera Villahermosa-Cárdenas entronque Bosque de Saloya, Villahermosa, Tab, 86000 , México
Correo electrónico: randy@tukan.ujat.mx
Teléfono/Fax: (93)54 4308
Fecha de inicio: Octubre 15, 1997
Fecha de término: Julio 18, 2000
Principales resultados: Informe final, Cartografía
Forma de citar el informe final y otros resultados:** Adams Schroeder, R.H., 1999. Recuperación con mangle blanco (*Laguncularia racemosa*) de áreas impactadas por hidrocarburos y su manejo como agrosilvo-ecosistema en la zona costera de Huimanguillo y Cárdenas, Tabasco. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. **Informe final SNIB-CONABIO proyecto No. M076.** México D. F.

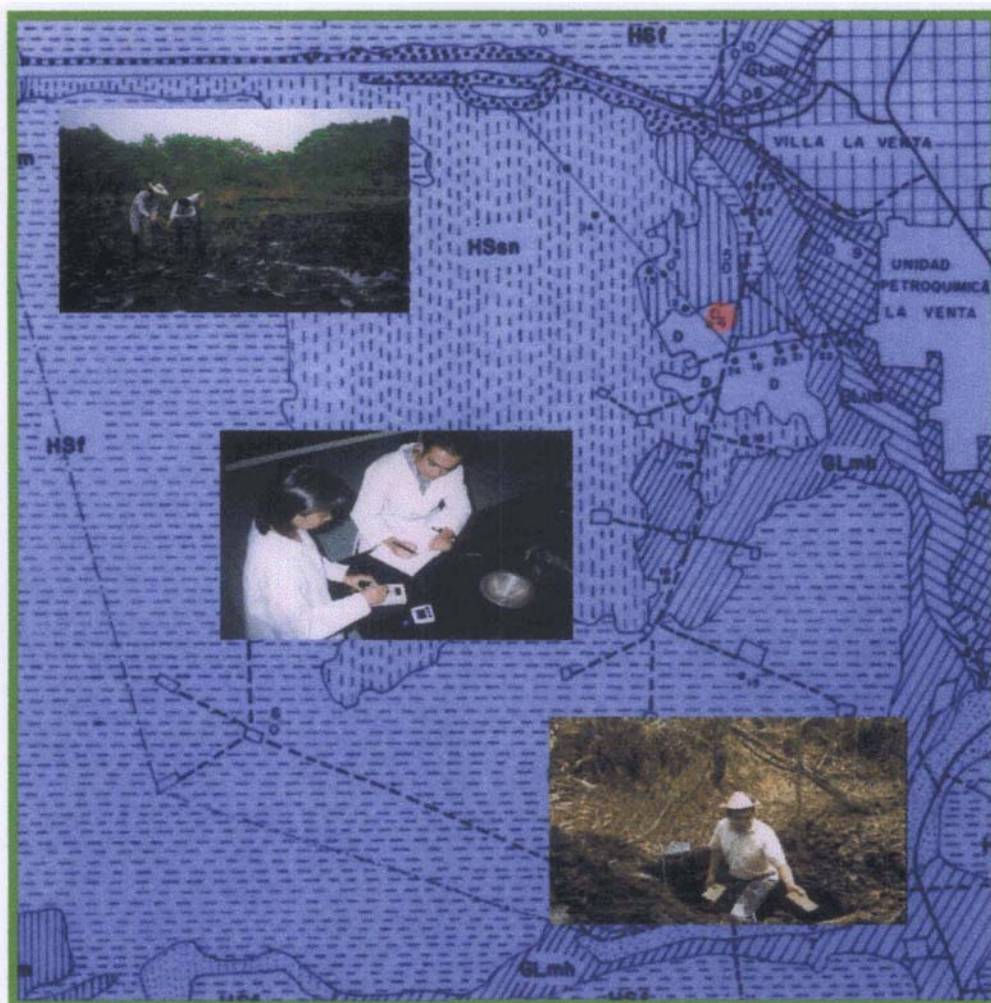
Resumen:

Proyecto financiado parcialmente con recursos de la Fundación MacArthur Debido a la explotación petrolera intensiva de varias décadas, durante las cuales no existía una conciencia ambiental, hoy en día el Sureste Mexicano se encuentra con una serie de problemas ecológicos; entre ellos es la contaminación de alto grado en varios sitios; a veces alcanzado a cubrir casi en su totalidad varias hectáreas, resultando prácticamente una especie de desierto biológico en donde el crecimiento de especies vegetales es descriptible, al igual que las especies animales dependientes de ellas. Típicamente se encuentra en uno de estos una capa superior desde 15 cm. a un metro del suelo o sedimentos. En algunos de estos lugares se observa una recolonización con mangle blanco (*Laguncularia racemosa*) después de varios años, supuestamente debido a la capacidad de esta planta de establecerse en sedimentos anóxicos. Relacionado a esta problemática está la depredación no razonable de la madera de mangle, resultando en el empobrecimiento del ecosistema. En Tabasco y Campeche hemos observado la tala clandestina de mangle, así como la acopladura completa de selvas. La madera de manglar es muy apreciada en las comunidades rurales debido a su dureza y resistencia para cercas y construcciones tradicionales. También se ha evolucionado un mercado urbano para el carbón hecho de mangle debido a la alta generación de calor y a su lenta combustión. Estos fenómenos sociales han resultado en la extinción de manglar en esta región. Como una posible solución en el deterioro del medio ambiente por la contaminación petrolera, así como extinción de ecosistemas de manglar, se propone la recuperación con mangle blanco de las áreas altamente impactadas por petróleo y su subsecuente manejo como agro silbo-ecosistema. Además de reforestar áreas que actualmente son casi exentas de vida, esta propuesta tiene el beneficio de aprovechar un recurso natural tradicional de la zona (madera de mangle) de una manera razonable y sustentable. El manejo adecuado de este recurso tendría el beneficio de reducir la depredación de selvas de manglar naturales y además proporcionará hábitats nuevos para la fauna característica de este ecosistema único. Cabe mencionar que se obtendría un beneficio económico para las comunidades afectadas, así que convertiría campo deteriorado por contaminación petrolera en plantaciones de siveicultura.

-
- * El presente documento no necesariamente contiene los principales resultados del proyecto correspondiente o la descripción de los mismos. Los proyectos apoyados por la CONABIO así como información adicional sobre ellos, pueden consultarse en www.conabio.gob.mx
 - ** El usuario tiene la obligación, de conformidad con el artículo 57 de la LFDA, de citar a los autores de obras individuales, así como a los compiladores. De manera que deberán citarse todos los responsables de los proyectos, que proveyeron datos, así como a la CONABIO como depositaria, compiladora y proveedora de la información. En su caso, el usuario deberá obtener del proveedor la información complementaria sobre la autoría específica de los datos.

PROYECTO M076 REPORTE FINAL

**“RECUPERACIÓN CON MANGLE BLANCO
(*Laguncularia racemosa*) DE ÁREAS IMPACTADAS POR
HIDROCARBUROS Y SU MANEJO COMO AGROSILVO-ECOSISTEMA
EN LA ZONA COSTERA DE HUIMANGUILLO Y CÁRDENAS, TABASCO**



OCTUBRE 1999

**PROYECTO FINANCIADO POR:
LA COMISION NACIONAL PARA EL CONOCIMEINTO Y USO DE LA BIODIVERSIDAD Y
THE JOHN T. AND CATHERINE D. MACARTHUR FOUNDATION**

**Dr. Randy H. Adams Schroeder y
M. en C. Ofelia Castillo Acosta
División Académica de Ciencias Biológicas
Universidad Juárez Autónoma de Tabasco
Villahermosa, Tabasco**

**M. en C. Joel Zaval Cruz y
Dr. David Jesús Palma-López
Colegio de Posgraduados
Cárdenas, Tabasco**

**tels: (93) 54-43-08 (UJAT) y 51-04-19 (dom.), fax: (93) 54-43-08
e-mail: susan@mpsnet.com.mx**

CONTENIDO

RESUMEN	1
INTRODUCCIÓN	3
OBJETIVO GENERAL	3
ANTECEDENTES	4
<u>Proyectos e Investigaciones Relacionados</u>	4
<i>Ecología e Importancia de Manglares</i>	4
<i>Recuperación de Ecosistemas de Manglares</i>	4
<i>Impacto de Manglares por Derrames de Hidrocarburos de Petróleo</i>	5
<i>Fitorremediación</i>	5
<u>Manejo de Plantaciones de Manglar en Áreas Pantanosas de Baja Salinidad o de Agua Dulce</u>	5
METODOLOGÍA	6
<u>Selección de Sitios para Siembra del Mangle Blanco</u>	6
<u>Evaluación de la Geomorfología, Edafología, y Caracterización de Contaminación</u>	6
<u>Colecta de Plántulas</u>	7
<u>Preparación de Sitios y Siembra</u>	7
<u>Evaluación de Plantaciones</u>	7
RESULTADOS	8
<u>Selección de Sitios para la Siembra</u>	8
<u>Selección de Sitios para la Colecta de Plantas, Siembra de Plantas</u>	12
<u>Preparación de Sitios para Siembra, Colecta de Plantas, Siembra de Plantas</u>	13
<i>Preparación de Sitios: Plantación La Venta</i>	13
<i>Colecta y Transporte de Plántulas: Plantación La Venta</i>	13
<i>Siembra de Plántulas en La Venta</i>	14
<i>Colecta de Plantas y Siembra del Lote Mecoacán - Oeste, La Venta</i>	16
<i>Colecta de Plantas para la Plantación en el Campo Sánchez Magallanes</i>	17
<i>Siembra de Plantas y Descripción de la Plantación Sánchez Magallanes</i>	19
<u>Estudio Edafológico: Descripción y Cartografía de Unidades Geomórficas y Suelos de las Plantaciones y Área de Influencia</u>	2 2
<i>Determinaciones de Características Edafológicas</i>	22
<i>Determinación de Parámetros Edafológicos</i>	25
<i>Geomorfología y Usos Potenciales del Suelo</i>	27

<u>Caracterización de Contaminación en las Plantaciones</u>	29
<i>Evaluación de Contaminación en el Area de La Venta</i>	29
<i>Adecuación del Método EPA 9074 para la Determinación de Hidrocarburos Totales de</i> <i>Petróleo Intemperizados y su Calibración para La Venta</i>	29
<i>Evaluación de Toxicidad en La Venta</i>	33
<i>Evaluación de Factores Físicos Ambientales en la Plantación La Venta</i>	35
<i>Caracterización Químico - Toxicológico de Suelo en la Plantación Sánchez Magallanes.</i>	37
<u>Evaluación de Mortalidad, Parámetros de Crecimiento en las Plantaciones</u>	40
<i>Plantación La Venta. Primer Período (Feb- Abr., 1998)</i>	40
<i>Plantación La Venta. Segundo Período (Mayo - Ago., 1998)</i>	43
<i>Plantación La Venta. Tercer Período (Sep.'98 - Ene.'99)</i>	46
<i>Plantación La Venta. Cuarto Período (Feb- Jun., 1999)</i>	48
<i>Plantación La Venta. Quinto Período (Jul. - Sep., 1999)</i>	50
<i>Plantación Sánchez Magallanes, Tercer Período (Sep.'98 - Ene.'99)</i>	51
<i>Plantación Sánchez Magallanes, Cuarto Período (Feb- Jun., 1999)</i>	53
<i>Plantación Sánchez Magallanes, Quinto Período (Jul- Sep., 1999)</i>	53
<u>Evaluación de Diversidad Florística</u>	55
<i>Plantación La Venta. Tercer Período (Sep.'98 - Ene.'99)</i>	55
<i>Plantación La Venta. Cuarto Período (Feb. - Jun., 1999)</i>	56
<i>Plantación La Venta. Quinto Período (Jul. - Sep., 1999)</i>	58
<i>Plantación Sánchez Magallanes, Cuarto Período (Feb- Jun., 1999)</i>	63
<i>Plantación Sánchez Magallanes, Quinto Período (Jul- Sep., 1999)</i>	63
<u>Observaciones Sobre Procesos de Recuperación Natural</u>	67
CONCLUSIONES GENERALES Y RECOMENDACIONES	69
BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA	71
ANEXO 1. GEOMORFOLOGÍA Y SUELOS DE LOS CAMPOS PETROLEROS	75
SÁNCHEZ MAGALLANES Y LA VENTA, TABASCO	
ÍNDICE (DEL ANEXO)	

RESUMEN

Como una posible solución a los problemas de una sobre-explotación de los ecosistemas de mangle, y a la vez, la recuperación de áreas altamente contaminadas por hidrocarburos, se ha propuesto el establecimiento de plantaciones de una especie de mangle (*Laguncularia racemosa*, mangle blanco) muy resistente a alteraciones físicas como toxicológicas y su subsecuente manejo como ecosistema y para la recolección de madera.

En el presente trabajo se realizaron plantaciones experimentales en dos localidades con diferentes aspectos de contaminación. La primera está entre un ecosistema joven de manglar que presenta una costra aceitosa (de 80 % aceite) encima de suelo orgánico fibroso contaminado a 19 % de hidrocarburos totales de petróleo. En esta localidad la toxicidad de la costra así como del suelo contaminado no fue mayor que la toxicidad natural de ecosistema alrededor (Concentración Efectiva 50, por Microtox de 56,592 ppm vs. 51, 059 ppm), pero la temperatura en el suelo contaminado fue aprox. 3 - 5 °C mayor que en el bosque de manglar, alcanzando temperaturas mayor a 42 °C. Esto resultó en una baja sobrevivencia (< 10 %) de las plantas sembradas, y fue aún menos en la parte de la plantación más hacia el interior del derrame (en donde se calienta más). Se recomienda para proyectos de fitorremediación futuros, que se aplique materiales orgánicos encima de la costra aceitosa en el área sembrada para reducir este impacto.

La segunda plantación experimental está en una área pantanosa, predominado por "molinillo" (*Cyperus giganteus*), en donde la contaminación es de aprox. 45 - 70 % de hidrocarburos y alcanza una profundidad de más de 75 cm. En esta localidad la captación de humedad es menos que en la otra plantación, debido a un mayor concentración de hidrocarburos (que ocupan micrositos en el suelo y reducen efectivamente la capacidad de campo), así como su lugar en el paisaje que es un poco más alto. La toxicidad en el área de la plantación es menor que en el pantano poco alterado alrededor (Concentración Efectiva 50, por Microtox de > 35,200 ppm vs. 13,400 ppm), pero debido principalmente a problemas por la falta de humedad, la sobrevivencia fue menor a 10 % en todas las secciones.

En el segundo sitio experimental, durante los meses cuando había suficiente humedad, la sobrevivencia estaba relacionada al grado de intemperización del aceite en las diferentes secciones de la plantación. Cuando el aceite era poco intemperizado y más fluido, parece que cubría los raíces, limitando la absorción de humedad y nutrientes. Pero cuando el aceite era muy intemperizado, se presentaba en forma muy dura, y tampoco permitía el desarrollo de los raíces. El óptimo de intemperización se observó cuando aprox. 16 % del hidrocarburo aún no estaba muy intemperizado y era extraíble por metanol. En las secciones de la plantación con estas características la sobrevivencia de las plantas (durante el período con humedad) era bastante aceptable, a 72 - 73 %. Es probable que si hubiera manera de controlar la hidrología de este lugar, o si se podría incorporar un sistema de riego para los meses más calorosos, se podrían esperar tazas de sobrevivencia

similares. También, podrían esperarse tasas de supervivencia altas si se sembraran las plantas en una localidad con mayor humedad.

Con respecto a la biodiversidad vegetal, hubo mayor evolución de la misma en la primera plantación con mayor humedad, sobre todo en la parte más alejado del centro del derrame, en donde se encuentra a menos calentamiento. En estas partes de la plantación se alcanzaban frecuencias de vegetación secundaria herbácea de hasta 78 % en conjunto, y coberturas de hasta 22 % en períodos más húmedos. Las especies prevalentes eran principalmente del género *Cyperus* y pastizales (*Fimbristylis* sp. y *Parpalum* sp.). Estas parecen ser de los más resistentes a las condiciones adversas en los derrame (sequía, calor, salinidad, inundación) y podrían ser importantes en proyectos futuros de fitorremediación. Se establecieron principalmente en el suelo utilizado en el trasplante de los manglares, así que sería recomendable de agregar un poco de suelo encima de la costra aceitosa para promover su desarrollo.

Otra observación fortuita del proyecto fue con respecto a la colecta accidental y trasplante de algunos individuos de mangle negro (*Avicenna germinans*). Todas estas sobrevivieron y se han mantenido en estado vigoroso. Parece que son más resistentes que el mangle blanco a las condiciones extremas, y se recomienda su investigación como otra especie para la fitorremediación.



INTRODUCCION

Debido a la explotación petrolera intensiva de varias décadas, durante las cuales casi no existía una conciencia ambiental, hoy en día se encuentra en el Sureste Mexicano una serie de problemas ecológicos. Entre ellos es la contaminación en alto grado de varios sitios; a veces alcanzando a cubrir casi en su totalidad varias hectáreas, resultando prácticamente en una especie de desierto biológico en donde el crecimiento de especies vegetales es despreciable, al igual que las especies animales dependientes de ellas. Típicamente, se encuentra en una de estas áreas una capa superior desde 15 cm a un metro de suelo o sedimento impregnado con aceite, lo que no permite el intercambio normal de gases y resulta en la anoxia de los sedimentos. En algunos de estos lugares se observa una recolonización con mangle blanco (*Laguncularia racemosa*), después de varios años, supuestamente debido a la capacidad de esta planta de establecerse en sedimentos anóxicos.

Relacionado a esta propuesta es la depredación no razonable de madera de mangle, resultando en el empobrecimiento del ecosistema. En Tabasco y Campeche hemos observado la tala clandestina de mangle así como la acopadura completa de selvas. La madera de manglar es muy apreciada en las comunidades rurales debido a su dureza y resistencia para cercas, y construcciones tradicionales. También se ha evolucionado un mercado urbano para el carbón de mangle debido a la alta generación de calor y su lenta combustión. Estos fenómenos sociales han resultado en la extinción de varias selvas de manglar en esta región.

Como una posible solución al deterioro del medio ambiente por la contaminación petrolera, así como la extinción de ecosistemas de manglar, se propone la recuperación con mangle blanco de las áreas altamente impactadas por petróleo, y su subsecuente manejo como agrosilvo-ecosistema. Además de reforestar áreas que actualmente son casi exentas de vida, esta propuesta tiene el beneficio de aprovechar un recurso natural tradicional de la zona (madera de mangle) de una manera razonable y sustentable. El manejo adecuado de este recurso tendría el beneficio de reducir la depredación de selvas de manglar naturales, y además proporcionaría hábitats nuevos para la fauna característica de este ecosistema único. Cabe mencionar que se obtendría un beneficio económico para las comunidades afectadas, así que convertiría campos muy deteriorados por contaminación petrolera en plantaciones de silvicultura.

OBJETIVO GENERAL

Evaluar la factibilidad de recuperar áreas altamente impactadas con hidrocarburos de petróleo por fitorremediación con mangle blanco (*Laguncularia racemosa*), estableciendo a la vez agrosilvo-ecosistemas para el aprovechamiento razonable y sustentable de maderables y fomentar la recolonización florística y faunística de dichas áreas para incrementar y sostener un nivel alto de biodiversidad.

ANTECEDENTES

Proyectos e Investiaaciones Relacionadas

Se han elaborado varios proyectos e investigaciones relacionados a este trabajo. Estos se pueden catagorizar de cuatro tipos: 1) Investigaciones sobre la ecología e importancia de ecosistemas de manglar en el entorna ecológico así como su aprovechamiento por el hombre, 2) recuperación de ecosistemas que eran manglares, que fueron destruidas previamente, 3) impacto a los manglares por derrames de hidrocarburos de petróleo, y 4) estudios sobre el empleo de fitorremediación usando varias especies vegetales. A continuación se describen brevemente algunos de los estudios más relevantes.

1) Ecología e Importancia de Manglares

En las últimas décadas se han dado más importancia a los manglares y se han elaborado varios estudios (Lugo y Snedeker, 1974; Rützler y Feller, 1996; Clark, 1996; Mitch y Glosselink, 1986). Algunos investigadores han encontrado que juegan un papel muy importante en ecosistemas, sobre todo en la producción primaria de lagunas costeras. Aumentan los nutrientes en estas áreas, favoreciendo el crecimiento de algas y otras plantas acuáticas (y subsecuentemente, a través de la cadena trófica, la producción pesquera y de mariscos), y proveen refugio para muchos peces de talla menor. Además, se han elaborado vario proyectos, sobre todo en Asia, en donde usan manglares para "ganar tierra" del mar y para estabilizar zonas costeras amortiguadores de tormentas catastróficas y ciclones. Además de estos, existen otros usos sustentables. Entre los más comunes se consideran, la producción de madera para construcciones rurales, y la elaboración de carbón para mercados más urbanizados.

2) Recuperación de Ecosistemas de Manglares

Se han elaborado muchos proyectos para la recuperación de ecosistemas que anteriormente eran manglares pero que fueron destruidos. En casi todos los casos, estas áreas fueron destruidas por cambios en al hidrología del lugar, causados por la construcción de caminos, rellenos, diques, etc. La manera más común para recuperar estas áreas ha sido la de restablecer las condiciones hidráulicas que existieron antes y sembrar plántulas o semillas de mangle. En algunos casos solo fue necesario restablecer las condiciones anteriores y esas áreas fueron recolonizadas naturalmente desde bancos de semilla natural que todavía existieron cerca (Lewis, 1990, 1990a; Clark, 1996).

En los proyectos de donde utilizaron manglares para ganar tierra del mar observaron que era importante quitar las aigas marinas y otras malezas desde abajo del mangle por que tienen la tendencia de ahogar las plántulas o de quitarle la luz suficiente para un buen crecimiento.

Hasta la fecha conocemos un solo proyecto de recuperación de manglares que fueron dañados por derrames de hidrocarburos, el cuál fue realizado en la isla de Saint Croix (Santa Cruz), en las Islas Vírgenes (EE.UU.). En

este proyecto el objetivo principal fue restablecer un ecosistema de mangle rojo (*Phizophera mangle*) pero aparentemente no evaluaron el potencial de usar esta especie para fitorremediación en términos de reducción en toxicidad o aislamiento de los sedimentos contaminados de la biósfera.

3) Impacto de Manglares por Derrames de Hidrocarburos de Petróleo

Entre estos factores figuran su tolerancia a condiciones anóxicas, y su sensibilidad a derrames de hidrocarburos (Clark, 1996; Glooshenko, 1996; Van Fleet, 1994). Parece que los manglares son sensibles a contaminación reciente por hidrocarburos, probablemente a las fracciones de hidrocarburos monoaromáticos y n-alcanos de bajo peso molecular. En otras ocasiones se ha observado que pueden ser resistentes a concentraciones altas. Aparentemente, esto sucede con hidrocarburos menos tóxicos, después de un período de intemperización y cuando la concentración de los hidrocarburos de bajo peso molecular se ha reducido.

4) Fitorremediación

La fitorremediación es una ciencia en desarrollo. Las especies más estudiadas con respecto a los hidrocarburos hasta ahora son algunos pastizales y "malezas", que mejoran las condiciones en suelo superficial para la biodegradación de hidrocarburos a través de bacterias (Grey, 1994; Rodríguez, 1996). También se ha investigado el uso de árboles de raíces profundas que "limpian" acuíferos por transpiración de contaminantes en concentraciones relativamente bajas, y que controlan la hidrología de mantos acuíferos (Anderson y Coats, 1994).

En zonas tropicales son pocos los proyectos de fitorremediación de compuestos contaminantes, pero se encuentran algunos proyectos en Costa Rica con la empresa Recope (Refinación Costarricense de Petróleo). Esta empresa ha mitigado problemas con residuos de perforación petrolera usando varias especies vegetales, incluyendo el eucalipto. Estas reducen la migración de hidrocarburos por la tolerancia a los mismos y por tener una alta transpiración (Chavez, 1996). Hasta la fecha no se conoce ningún proyecto referente a selvas de manglar, pero hemos observado una recuperación natural por manglares (*Laguncularia racemosa*) en una zona que anteriormente era pantano.

Manejo de Plantaciones de Manglar en Áreas Pantanosas de Baja Salinidad o de Agua Dulce

Se sabe que los manglares son capaces de vivir en sedimentos de muy baja salinidad e incluso de agua dulce, pero no pueden competir con especies de pantano de agua dulce (Glooshenko, 1996; Mitch y Gloesselink, 1986; Rützler y Feller, 1996). En el estado de Tabasco, hemos observado la sobrevivencia de manglares en parte de una cuenca que antes contaba con intrusión por agua salobre en época de sequía, pero que actualmente está constantemente dulceacuícola. Estos manglares se mantienen en lugares que todavía no están perturbados físicamente (por tala, incendios, tormentas), en donde las plantas pantanosas no han podido desplazar a los manglares, y siguen viviendo (las selvas de manglar) aparentemente en un estado vigoroso

(Adams et al., 1996). En base a esto parece que el manejo de un agrosilvo-ecosistema de manglar en agua dulce es posible pero requiere cierto cuidado. Sobre todo es necesario mantener las especies vegetales de pantano dulceacuícolas cortadas hasta que las plantas de mangle alcancen una altura suficiente para poder competir por la luz.

METODOLOGIA

Selección de Sitios para la Siembra del Mangle Blanco

Esta selección fue basada al tipo y concentración del contaminante (concentración, intemperizada), según recomodos en campo, interpretación de fotografías aéreas, y análisis preliminares.

Evaluación de la Geomorfología, Edafología, y Caracterización de Contaminación

En los sitios de colecta y siembra se realizó un estudio de impacto extensión aproximada de contaminación y toxicidad, así como fuentes indicadores para el establecimiento de las plantaciones.

La cartografía de unidades geomórficas se realizó a una escala de 1:20,000, mediante la fotointerpretación de las áreas seleccionadas, utilizando los criterios de Zuidan (1985). Fueron caracterizado por su pendiente, altura, tirante de agua y tiempo de inundación, vegetación, procesos de génesis y relieve.

La cartografía de las unidades y subunidades de suelos se realizaron con base en el mapa geomorfológico. En la primera fase se describieron perfiles de suelos representativos de las áreas de alta, mediana, baja y nula contaminación por derrames de petróleo, utilizando la metodología de Cuanalo (1990). Se obtuvieron muestras de suelo por cada horizonte hasta una profundidad máxima de 1.5 m. Los linderos de las unidades de suelos se verificaron mediante barrenaciones y el mapa final fue elaborada a escala 1:20,000. Las muestras de los horizontes del estudio edafológico fueron analizadas por características físico-químicas, como **pH**, salinidad, conductividad, concentración de materia orgánica, nutrientes inorgánicos y textura.

Se colectaron muestras de suelo superficial (de aprox. 0 - 30 cm) en las áreas de derrames, así como en áreas aledañas de relativamente bajo impacto. Estas muestras fueron analizados por en método EPA 9074 (modificado por Adams y Ramírez, 1999) y por toxicidad aguda usando la prueba de microtox, fase lixiviado (modificado por Kanga, 1998). Esta Última determina toxicidad usando bacterias marinas biolumincentes. Cuando están expuestas a muestras tóxicas se reduce la producción de bioluminencia.

Colecta de Plántulas

Se colectaron plantas de lugares de alto impacto por hidrocarburos de casi nulo impacto. Estos se seleccionaron según recomdos en campo, fotointerpretación y análisis preliminares. Las plantas fueron colectadas con pala recta tratando de sacar cada planta con su pilón de tierra intacto, a una profundidad de aprox. **20** cm. Fueron colocadas en bolsas plásticas y transportadas para su siembra el mismo día.

Preparación de Sitios y Siembra

Se excavaron áreas pequeñas (aprox. 30 cm en diámetro) con pala recta y escavahoyo en el suelo contaminado (o costra aceitosa) a una profundidad de aprox. 25 cm. Las plantaciones fueron establecidas a una densidad de una planta por metro cúbico en lotes de 10 x 30 m, o **5** x 60 m. Para cada tipo de tratamiento de colecta/manejo se sembraron aprox. 250 - 300 plantas.

Evaluación de Plantaciones

Periódicamente se realizaron censos en las plantaciones para determinar sobrevivencia de las plantas, condiciones generales de defoliación o vigor, y para medir la altura y diámetro de los individuos sobrevivientes. Las mediciones de diámetro se realizaron utilizando un vernier milimétrica y la altura fue determinado con una cinta métrica. Estos datos fueron analizados por evaluaciones de promedios de los parámetros en diferentes lotes o secciones de las plantaciones, y por regresiones simples y curvilineales.

Después de desarrollarse una vegetación secundaria herbácea, esta misma fue evaluada, determinando especies por comparación de hojas y frutos con claves preestablecidos, y determinado cobertura. La cobertura fue medido determinando el diámetro de cada planta por dos ejes perpendiculares, promediando el diámetro, y calculando el área de cada planta como un círculo. Las áreas de todas las plantas de cada especie fueron sumados para determinar la cobertura de cada especie en cada lote o sección de una plantación.

RESULTADOS

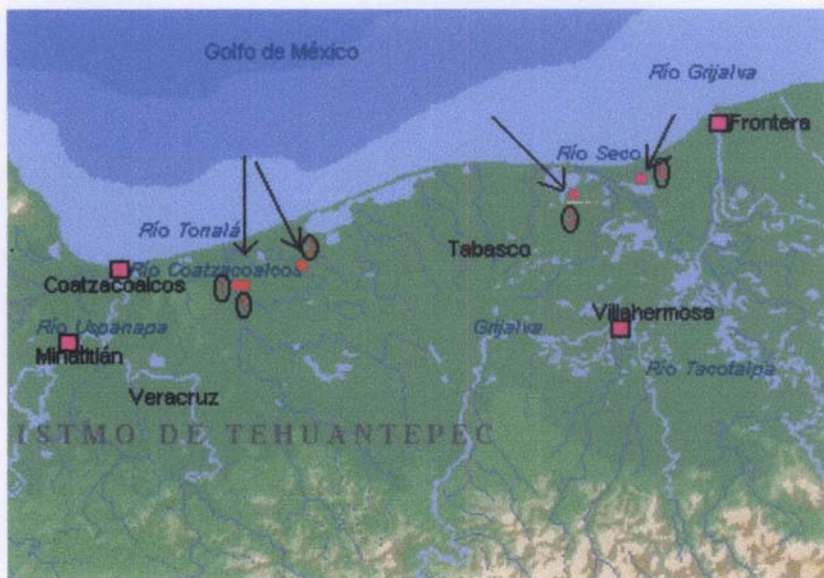
Selección de Sitios para la Siembra

A través de varios recorridos en campo se seleccionaron dos sitios para la siembra de las plantaciones. Uno de ellos se encuentra en el Municipio de Huimanguillo, Tabasco, atrás del Complejo Petroquímico La Venta en la población del mismo nombre. Es un área altamente impactada por hidrocarburos, en donde se encuentra una costra aceitosa y viscosa de una profundidad de aprox. 10 cm y es casi exento de vegetación. Este sitio está sujeto a la influencia diaria de la marea por un canal que llega al Río Tonalá. Adyacente al área de siembra se encuentra un bosque de mangle blanco. Este bosque se ha establecido encima de sedimentos muy aceitosos. Parece que esta área es en un ecotono entre ecosistemas predominado por mangle blanco hacia el río y pantano de tule (*Typha sp.*) hacia la petroquímica. Ver figuras 1 y 2 para la ubicación de sitios y aspecto general del sitio La Venta.

El otro sitio está ubicado en el campo petrolero Sánchez Magallanes, al SE de la población de Benito Juárez, en Cárdenas, Tabasco. El sitio se encuentra atrás de una batería de separación (No. 4) en una zona pantanosa dulceacuícola dominada por espadaño (*Typha sp.*) popotillo (*Cyperaceae gigantea*), varios helechos y pastizales, y un poco de popal (*Thalia geniculata*) y un arbusto frecuentemente indicativo de alteración, *Myrica serifera*. El aspecto de la contaminación en este sitio es similar a lo antes descrito por el sitio en La Venta. A diferencia de La Venta, esta área ha recibido hidrocarburos no solo desde hace muchos años, sino también recientemente (entre los últimos dos años). Ver figuras 1 y 3.

(continuación a la página siguiente)

FIGURA 1. Sitios de colecta de plántulas y siembra



1. LA VENTA, COLECTA 1. LA VENTA, SIEMBRA 2. S. MAGALLANES, SIEMBRA
3. MECOACAN, COLECTA 4. STA. ANITA, (COLECTA)

Flechas indican sitios de colecta y siembra. Vea leyenda de colores al pie de la figura y el texto para detalles. Modificado de MS Encarta Virtual Globe, ed. 1998, Microsoft Corp., Redmond, Washington, E.E.U.U.

FIGURA 2. Aspecto General del Sitio La Venta



Vista hacia el Este y el Complejo Petroquímico La Venta. La costra aceitosa que se observa en la figura proviene de un descontrol crónica de las aguas residuales de la planta.

FIGURA 3. Vista aérea Sitio Sánchez Magallanes



Vista hacia el S - SW del sitio Sánchez Magallanes. En la parte izquierda de la figura se observa principalmente derrames por tubería corroída. En la parte central de la figura hay dos presas de desechos aceitosos que han experimentado desbordes. Al norte de las presas se puede observar la descarga de desechos aceitosos en una área pantanosa. Se ubicó la plantación experimental cerca de la esquina NW de las presa norte.

Selección de Sitios para la Colecta de Plántulas

Originalmente se había escogido dos sitios para la colecta de plántulas: uno de una área salobre, muy contaminado, y el otro de un área con casi nulo impacto petrolero pero de una zona recientemente (entre los últimos 30 años) convertida en una zona dulceacuícola. (Ver Figura 1 por la ubicación de sitios de colecta.) Para la selección del sitio contaminado salobre se eligió una área muy cerca (aprox. 200 m) al sitio de siembra La Venta, que tiene un bosque reciente de mangle blanco encima de sedimentos con varios grados de contaminación (de muy alta a mediana). Se colectaron algunos individuos en el bosque adyacente a las plantaciones pero el mayor número de plantas se colectaron de una área sobre el canal en donde se está extrayendo árboles. En esta área quedan un número de individuos adultos suficientes para sembrar el suelo pero a la vez bastante luz para la propagación de una gran cantidad de plántulas de un tamaño adecuado para recolecta y transplantación. Es probable que este tipo de manejo de la área de colecta (con menor densidad de árboles, adultos) servirá para viveros naturales de plantas para transplantar, y será una manera sencilla y eficiente para la extensión de la tecnología de fitorremediación y silvicultura.

Para el sitio de colecta de bajo impacto petrolero dulceacuícola se seleccionó el área al Norte de la Laguna Santa Anita (Centla, Tab.), pero durante visitas preliminares se observó que, aunque hay muchos ejemplares de esta especie en la zona, no se encuentran plantas jóvenes (de aprox. 5 - 30 cm de altura). Aparentemente no se está reproduciendo en esta área y se está convirtiéndose en un bosque inundable de agua dulce, predominado por pukté (*Bucida buceras*) entre otras especies. Está reportado por varios investigadores (entre ellos Glooshenko, 1996; Mitsch y Glosseiii 1986; Rutzler y Feller, 1996) que los manglares son capaces de sobrevivir en condiciones de agua dulce aunque no pueden competir con otras especies pantanosas. Según nuestras observaciones parece que con respecto a *Laguncularia racemosa*, esta necesita agua salobre para florear y llevar a cabo su reproducción.

Estas observaciones tienen implicaciones importantes en un futuro manejo de viveros naturales de árboles pequeños para transplantación. Parece que si se contempla establecer una especie de fitorremediación - silvicultura de mangle blanco en áreas dulceacuícolas, será necesario manejar independientemente el vivero natural en una área con influencia de agua salobre.

Debido al problema de reproducción en la Laguna Sta. Anita se escogió una área al SE de la Laguna Mecoacán, en Paraíso, Tab. Esta se encuentra cerca a un campo petrolero del mismo nombre, en un ecosistema de mangle mixto (mangle rojo, negro y blanco) predominado por mangle blanco con un poco de mangle negro. En los sitios específicos de colecta el impacto por hidrocarburos era de bajo a muy bajo y es una zona con influencia marina.

Se seleccionó un claro cerca a una "pera" (levantamiento de relleno, plataforma de perforación) de un pozo petrolero y el bosque alrededor para futuras colectas. Sin embargo, y muy oportunamente, miembros del Ejido

"La Solución" en esta área nos notificaron sobre el crecimiento de una gran cantidad de mangles pequeños sobre un dragado para una línea de Pernex al sur del campo Mecoacán propio. Visitamos esta área y encontramos muchos árboles pequeños de un tamaño muy adecuado para trasplantar. Utilizamos plantas de este borde para sembrar en La Venta.

Preparación de Sitios para Siembra, Colecta de Plantas, Siembra de Plantas

Preparación del Sitio: Plantación La Venta

Antes de colectar y sembrar las plantas era necesario establecer las dimensiones de los lotes experimentales. Estos se dividieron en dos lotes: un lote sembrado por plantas de La Venta, y un lote sembrado por plantas de Mecoacán. Las dimensiones fueron establecidas a aprox. 10m x 30m con cuerdas y los perímetros marcados en unidades de un metro utilizando una pintura rosada en forma de spray sobre la costra aceitosa.

En este sitio se encontraron muchas dificultades sobre acceso a la área debido a su inundación y, sobre todo su aspecto aceitoso. No fue posible acceder al área en botas tipo pantaneras debido a la viscosidad de la costra, y fue necesario buscar una manera para caminar encima de la costra sin hundirse. Para superar este problema se utilizaron troncos de árboles y tablas de triplay (9mm), los cuales se colocaron encima de la costra para poder caminar. Además, fue necesario seleccionar un equipo de trabajo de individuos fuertes y a la vez ligeros. Personas de complejión media-pesada (incluyendo el responsable del proyecto y su principal colaboradora) no pudieron caminar sobre la mayoría de la área de siembra.

No fue posible trabajar en el sitio Sánchez Magallanes durante los primeros periodos del estudio debido a ciernes por la comunidad de la "Colonia La Trinidad". Hay un conflicto entre los lugareños y Pemex sobre la tenencia de la tierra y contaminación. Esta área fue decretada a Pemex para usos industriales, pero también por la Secretaría de Agricultura a agricultores, propietarios privados. El presidente de la Colonia y uno de sus hijos, en colaboración con el Comisario Agrícola mantenían los accesos a esta área cerrados esporádicamente y por periodos indeterminados según su conflicto con Pemex. Cuando intentamos presentarnos con ellos, trataron de evitar una reunión y no respondieron a nuestras solicitudes.

Colecta y Transporte de Plántulas: Plantación La Venta

Las plantas de La Venta fueron removidas de su lugar utilizando una pala, tratando de sacar con ellas una cantidad suficiente de tierra para cubrir adecuadamente sus raíces. Ellos fueron transportadas a pie en guacales y trasplantados de inmediato. Además de estos se seleccionaron algunos individuos muy pequeños para trasplantar, principalmente del bosque adyacente a las plantaciones. Estos se seleccionaron para probar la eficiencia de utilizarlos en la trasplantación debido a su abundancia, fácil manejo, y la reducida demanda de humedad (por tener menos volumen). Estas plantas muy pequeñas se guardaron en bolsas plásticas (para

mantener la humedad) hasta su siembra, normalmente entre una hora. La colecta, transporte y transplatación de las plantas siembre fue realizado en la mañana, entre las 06:00 y 14:00 hrs.

Las plantas de Mecoacán fueron removidas de su lugar utilizando la técnica antes mencionada pero fueron puestas en bolsas plásticas. Fue necesario de transportarlas a pie en guacales aprox. 200 m a una camioneta tipo pickup en donde fueron colocadas para su inmediato transporte a La Venta. La colecta de la plantas se realizó entre las 06:00 y 08:30 hrs. Fueron transportadas en la camioneta cubierta por una caseta para reducir daños en camino por viento y sequía. Llegaron al sitio de siembra a aprox. las 10:00 hrs.

Siembra de Plántulas en La Venta

Utilizando una cuerda marcada a distancias de un metro y las cuerdas preestablecidas de los perímetros de los lotes, se sembraron las plantas a una por cada metro cuadrado en filas. Las plantas muy pequeñas de La Venta se sembraron a tres en cada metro cuadrado. No fueron sembrados áreas con aceite líquido (sin costra) que correspondieron a canaletas antiguas utilizadas por Pemex para remover una mayor cantidad del aceite fluido derramado. Utilizando un cava-hoyo se rompió la costra (hasta una profundidad de aprox. 20 - 40 cm) hasta encontrar los sedimentos mas húmedos y menos impregnados por hidrocarburos. En el hueco resultante se colocó turba (suelo orgánico)colectado del bosque de manglar adyacente a las plantaciones experimentales. Este suelo estaba mucho menos contaminado y contenía muchas raíces y hojarasca en descomposición. Además, en los primeros 20 cm, contenía agregaciones más duras, aparentemente residuos de hidrocarburos altamente interperizados ya con una semblanza a partículas de asfalto y probablemente con muy baja toxicidad. Encima y adentro de la turba se depositaron las plantas (una en cada hueco) de manera que lo que antes correspondía al superficie del suelo (de la área de colecta) aproximadamente estaba a nivel del superficie de la costra aceitosa. Cabe mencionar que fue necesario de utilizar el sistema antes descrito de troncos y tablas para acceder el área de siembra. Ver Figura 4.

Durante las siembras y las primeras evaluaciones en La Venta se notaba una sequía en el lote que fue más que lo esperaba y observada en otros años. Durante estos meses se presentaba un estiaje mucho más severo que en otros años en Sureste Mexicano, posiblemente debido al fenómeno meteorológico de "El Niño". Durante el medio día era notable el estrés de las plantas que se cayeron un poco, sobre todo por el viento. Por tal motivo se decidió observar la mortalidad en los lotes ya plantados y esperar a la época de lluvias (Junio o Julio) para sembrar las demás plantas.

Con respecto a las condiciones de sequía en el sitio Sánchez Magallanes en estos meses, cuando tuvimos acceso al área seleccionada para las plantaciones experimentales se observó demasiado sequía para la propagación de manglares, lo que tampoco se ha observado en otros años. Por tal razón se decidió esperar los periodos de lluvias para sembrar en esta localidad.

FIGURA 4. Plantación Experimental La Venta



Siembra de plantas en la costra aceitosa. Vista es hacia el Este. En la figura la mitad del lote está sembrado. En la parte atrás de las plantas se observa una canaleta con aceite fluido en donde no se sembraron plantas. Con algunas plantas se colocaron un poco de paja del bosque adyacente para proteger la planta de extremas de temperaturas.

Colecta de Plantas y Siembra del Lote Mecoacán - Este, La Venta

Debido a los problemas encontrados por la sequía y extremo calor, se decidió de sembrar la segunda mitad del lote Mecoacán (denominado lote Mecoacán - Este) después de que empezaron las lluvias más fuertes, después del canicular (período de sequía al final del verano). Sin embargo, la colecta de plantas y siembra fue muy difícil en este período debido a la misma intensidad de lluvia y las inundaciones. No fue posible colectar plantas del mismo bordo en donde fueron tomadas antes por falta de acceso (por el agua), y por tal razón colectamos plantas de una área en recuperación cerca a una pozo petrolero. Este sitio está muy cerca al sitio correspondiente al segundo perfil de suelo del reporte edafológica, en un suelo orgánico.

Debido a la inundación, solo los últimos centímetros de las plantas colectadas en este sitio estaban arriba del agua. Como las plantas estaban prácticamente flotando, sus tallos eran muy flexibles y delgados. Parecía que las plantas se habían esforzado para poder extenderse rápidamente y alcanzar tener un poco de follaje arriba del agua.

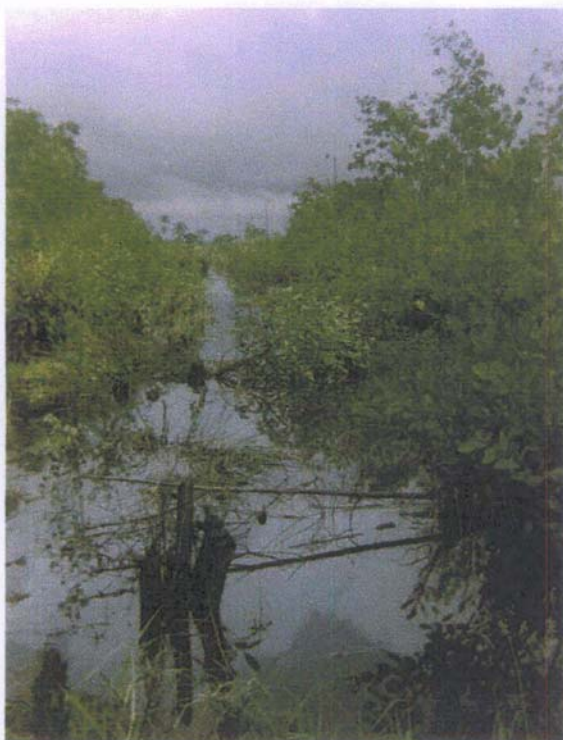
Otra problema que se encontró fue que el suelo, siendo orgánico e inundado, no estaba muy consolidado, y era casi imposible extraer una planta con su pilón de suelo intacto. Es probable que estos factores estresaban a las plantas durante el transplante. Aún con estos problemas, se sembraron casi cien plantas para terminar este lote. Más adelante se describen los resultados de esta siembra.

(continuación a la página siguiente)

Colecta de Plantas para la Plantación en el Campo Sánchez Magallanes

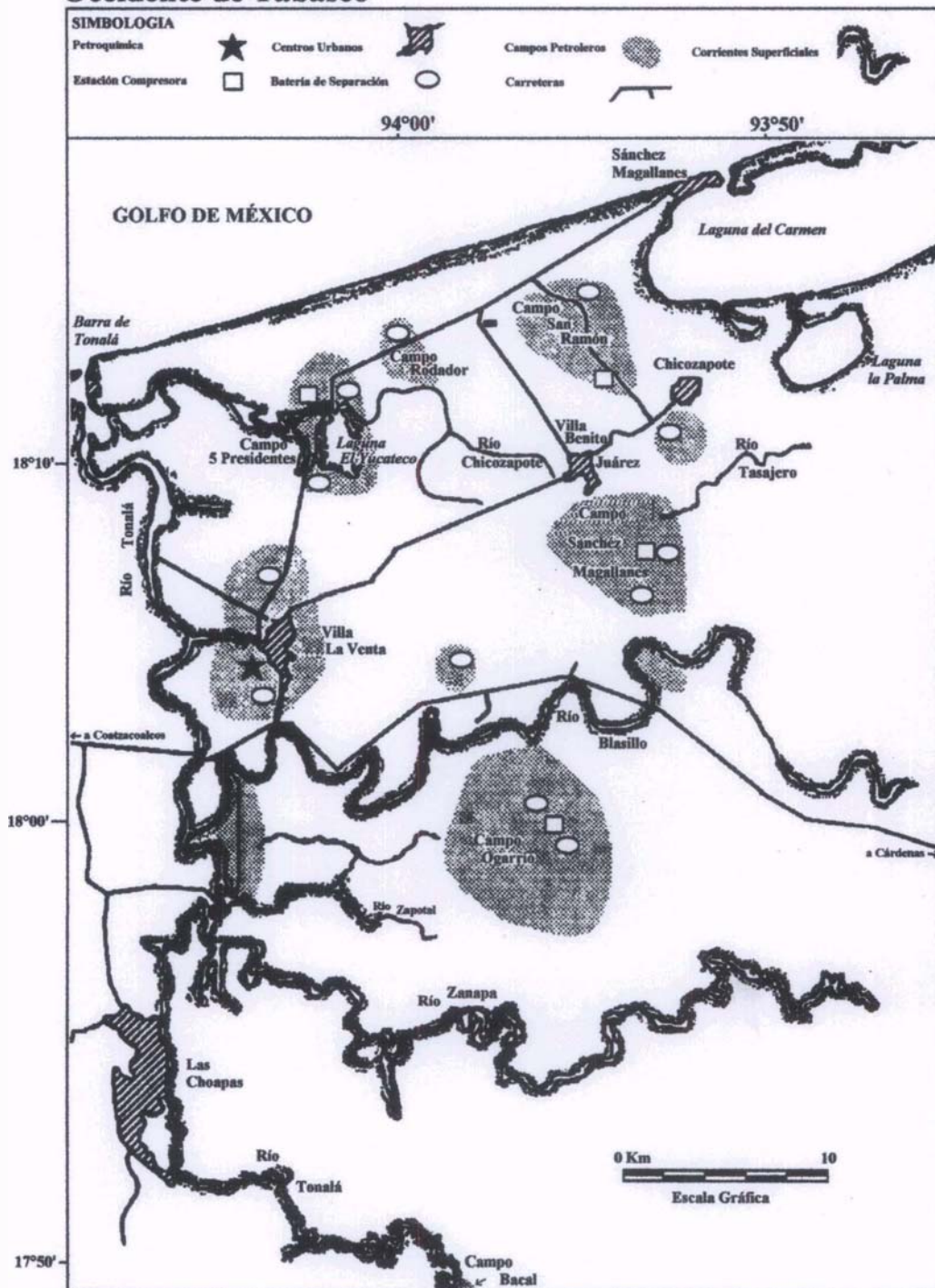
Según los resultados preliminares de la plantación en La Venta, sobre todo que parece que el origen (en términos de localidad) no es significativo para la sobrevivencia y crecimiento, se decidió de sembrar árboles de una sola localización. También, según las observaciones con respecto a la mayor sobrevivencia de plantas tomadas de bordos, se colectaron plantas de un bordo más cerca al Campo Sánchez Magallanes. El sitio de colecta seleccionado está cerca a la Batería de Separación No. 6 en el Campo Petrolero Cinco Presidentes, aprox. 3 kilómetros al sur del Río Chicozapote sobre la carretera La Venta - Sánchez Magallanes (ver mapa). Las plantas fueron tomadas de bordos formado por material dragado de un canal de tubería, similar pero menos elevado que el bordo utilizado en Mecoacán. (Ver Figura 5.)

FIGURA 5. Área de Colecta para la Plantación Sánchez Magallanes



La fotografía a la izquierda presenta una vista sobre el canal producido cuando se realizó un dragado para colocar una línea de Pemex. A los dos lados de este canal, sobre el material dragado, se había producido una gran cantidad de plantas de mangle blanco de un tamaño apropiado para transplantar; se observa la colecta de estas mismas en la fotografía (arriba).

FIGURA 6. Localización de Áreas de Colecta y Siembra en el Occidente de Tabasco



Fuente: modificado de Zavala, 1996.

Siembra de Plantas y Descripción de la Plantación Sánchez Magallanes

En el área de derrame se observa mucha heterogeneidad con respecto al nivel y tipo de hidrocarburos, textura e inundación. Por tal razón, se decidió de elaborar una plantación alargada que cruzaba varios regiones adentro del área del derrame, de aprox. 5 x 60 m (en vez de 10 x 30 m como en La Venta). A continuación se describe las áreas de siembra del sur al norte:

S1 - PRESA: Esta área está cerca a una presa de desechos y tiene una consistencia muy firme. Fue muy difícil la excavación de la costra en este parte para sembrar. Cuando se camina encima ~~se~~ siente como que ~~se~~ está caminando sobre hule. El superficie es relativamente seca y hay cierta escasez de humedad debido a la alta concentración de petróleo. (Ver Figura 7C.)

S2 - TRANSICIÓN I: Consiste de una área de transición entre la sección S1 y la C. Está más húmeda que la S1 y más suave, aunque parece tener concentraciones de hidrocarburos altas (aunque no tanto como en la sección S1).

C - CHARCO: Esta está situada en una área un poco más baja y tiene tendencia de formar un charco. Parece que ha recibido escumamientos de desechos de perforación muy arcillosos que fueron botados al pantano hasta hace aprox. dos años. La superficie consiste un una capa de material mineral arcilloso fracturado por secas. Es relativamente firme. Tenia mucha agua durante las fechas de siembra y no fue posible sembrar todo el área. (Ver Figura 7B.)

N1 - TRANSICIÓN II: Es muy similar a la sección S2, siendo una transición entre las secciones C y N2. Parece ligeramente menos húmeda y tal vez menos impactada que la sección S2.

N2 - TRONCOS: Esta área está ligeramente más aita que las demás y parece tener relativamente poco cantidad de aceite. Es muy fibrica y contiene troncos viejos, posiblemente de apompo. Es más seca que las demás secciones.

Esta siembra fue realizada en días de lluvias intensas que probablemente ayudó en mantener bien húmedas las raíces y reducir el estrés sobre las plantas durante la colecta y transplatación.

FIGURA 7. Plantación Sánchez Magallanes

A



B



La fotografía "A" presenta el aspecto general del área del derrame; el cuadrículo representa los límites aproximados de la plantación. La vista es hacia el norte.

La fotografía "B" es de una área en donde se han escurrido desechos arcillosos de perforación que corresponda a la sección C-CHARCO (ver texto).

FIGURA 7. - Continuación -

C



La fotografía "C" presenta una vista de la sección de la plantación cerca a la presa de desechos - S1-PRESA.

En la fotografía "D" se observa plantas muy pequeñas de mangle blanco recién germinado. Ver texto para detalles.

D



Estudio Edafológico:

Descripción y Cartografía de Unidades Geomórficas y Suelos de las Plantaciones y Área de Influencia

Determinación de Características Edafológicas

Como parte del proyecto se considera que es importante determinar las características edafológicas de las áreas de colecta de plantas y de siembra; esto para conocer abajo que condiciones se puede establecer estos tipos de plantaciones, y para tener datos de referencia para plantaciones futuras. Para tal fin se realizó la descripción en campo de varios perfiles de suelo, entre ellos: una en cada área afectada por restaurar (2), dos de bancos de plantas (uno en La Venta y uno en Mecoacán), y dos de áreas relativamente poco alteradas de pantano y manglar (en Sánchez Magallanes y Mecoacán).

El primer perfil pertenece a un bordo de excavación formado de materiales extraídos por la construcción de un canal, para la colocación de una línea de Pemex. Sobre este bordo se nacieron una gran cantidad de mangle blanco (y algunos de mangle negro) después de las operaciones de Pemex. Por tal razón, se lo utilizó como un banco de plantas para la plantación experimental en La Venta. Este banco tiene un relieve de aprox. 1 metro más arriba de la llanura de inundación en donde se encuentra y está formado en su primer horizonte (0-70 cm) por materiales de textura más gruesas (arcillo - limoso) que el suelo nativo superficial (de textura arcillosa). (Ver Figura 8.)

El segundo perfil es de una área relativamente poco alterada, también cerca de la Laguna Mecoacán, cerca de donde se contempla tomar más plantas. Está en un bosque de mangle mixto pero predominado por mangle blanco. El suelo es sumamente orgánico en este lugar. (Ver Figura 9.)

(continuación a la página siguiente)

FIGURA 8. Aspecto General del Banco de Plantas en Mecoacán y Perfil de Suelo del Bordo de Dragado de Pemex



En la fotografía a la izquierda se puede apreciar el bosque de manglar en el fondo y el bordo con perfil en frente. Esta área es una mezcla de pantano y porteros con manchas de mangle (predominante *Laguncularia racemosa*). El bordo está a una altura de aprox. 1 metro arriba de la llanura de inundación alrededor. En la fotografía a la derecha se presenta el perfil, en donde se puede apreciar la colocación de materiales con textura más gruesa encima del suelo original.

FIGURA 9. Descripción del Perfil de Suelo de Manglar



En la fotografía superior se puede observar el aspecto general del manglar en Mecoacán. La fotografía a la izquierda presenta el perfil de suelo. Como se observa en la fotografía, es sumamente orgánico.

Se realizó la descripción del tercer perfil en el banco de plantas de La Venta, cerca al canal pequeño que drena el área. Es una área de bosque de mangle blanco en recuperación, con manchas asfálticas de petróleo altamente intemperizado. Es un suelo con un poco de acumulación de materia orgánica en el primer horizonte, pero compuesto en su mayoría por sedimentos limosos.

El perfil 4 se realizó en el área de derrame, en donde está situada la plantación La Venta. Está compuesta de un horizonte de costra aceitosa intemperizada de aprox. 11 cm, muy firme cuando seco, sobre horizontes orgánicos altamente contaminados por hidrocarburos. Una observación no esperada de este perfil fue la presencia de galerías de fauna en un horizonte orgánico profundo lleno de petróleo líquido. Es probable que estas galerías son importantes en el transporte subterráneo de hidrocarburos en este medio. (Ver Figura 10.)

La descripción del quinto perfil también se realizó en un área de derrame, en el campo petrolero Sánchez Magallanes, cerca de la población V. Benito Juárez, Cárdenas. Este suelo también es principalmente orgánico y muy contaminado por petróleo. En general el aceite que se encuentra en este lugar es menos intemperizado (más fresco) y la impregnación por aceite alcanza una profundidad mayor.

El perfil 6 es de una área relativamente poco alterada de pantano en la periferia del campo S. Magallanes. El suelo superficial está compuesta principalmente por materiales orgánicos fibricos.

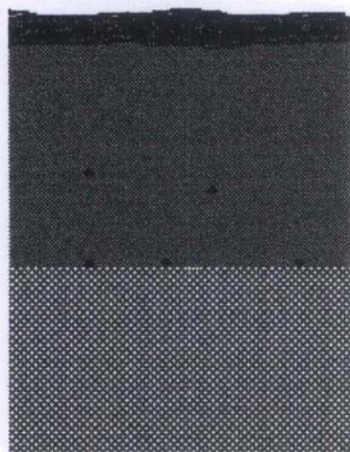
Una descripción detallada de estos perfiles se encuentra en el Anexo 1.

Determinación de Parámetros Edafológicas

Se determinaron varios parámetros de áreas de colecta y siembra correspondientes a los perfiles de suelo antes descritos, incluyendo textura, pH, conductividad, capacidad de intercambio catiónico, materia orgánica, y varios nutrientes. Son datos importantes porque establecen las condiciones en donde se obtuvieron y sembraron plantas, y pueden servir como criterios para el establecimiento de plantaciones futuras. Estos datos se encuentran en el Anexo 1. Desafortunadamente, no fue posible determinar las propiedades físico-químicas en algunas muestras debido a su alta concentración de hidrocarburos, que interfirieron con los análisis.

FIGURA 10. Perfiles de Suelo Altamente Contaminados en Plantaciones

Plantación la Venta



0-11 cm costra aceitosa intemperizada
11 - 64 cm horizontes de suelo orgánico impregnado por hidrocarburos, compactado, con muchos raíces muertas, finas y delgadas
32 - 64 cm región de galerías de fauna rellenas con petróleo líquido

64 - 108 cm suelo limoso, menos contaminado, muy poco aceite abajo de 100 cm. Se encontró el manto freático a 103 cm (30/MAYO/98, época de sequía, condiciones extremadamente secas por "El Niño")

Nota: la costra aceitosa tiene aprox. 80 % de hidrocarburos, los horizontes de 11-64 cm tiene aprox. 19 % hidrocarburos.

Plantación Sánchez Magallanes



0-30 cm capa de aceite moderadamente endurecida cubriendo y saturando con aceite el antiguo horizonte fibrico, muy contaminado por aceite.
30-40 cm horizonte fibrico moderadamente impregnado con aceite.
40-78 cm antiguo horizonte hémico (parcialmente descompuesto) de materia orgánica, moderadamente impregnado con aceite, saturado con agua.

Nota: el primer horizonte tiene aprox. 50 -55 % aceite y los horizontes inferiores tienen un poco menos.

Geomorfología y Usos Potenciales del Suelo

El reporte completo del estudio edafológico se encuentra en el anexo 1. Con respecto a la geomorfología y usos potenciales de áreas, las secciones más relevantes del estudio son:

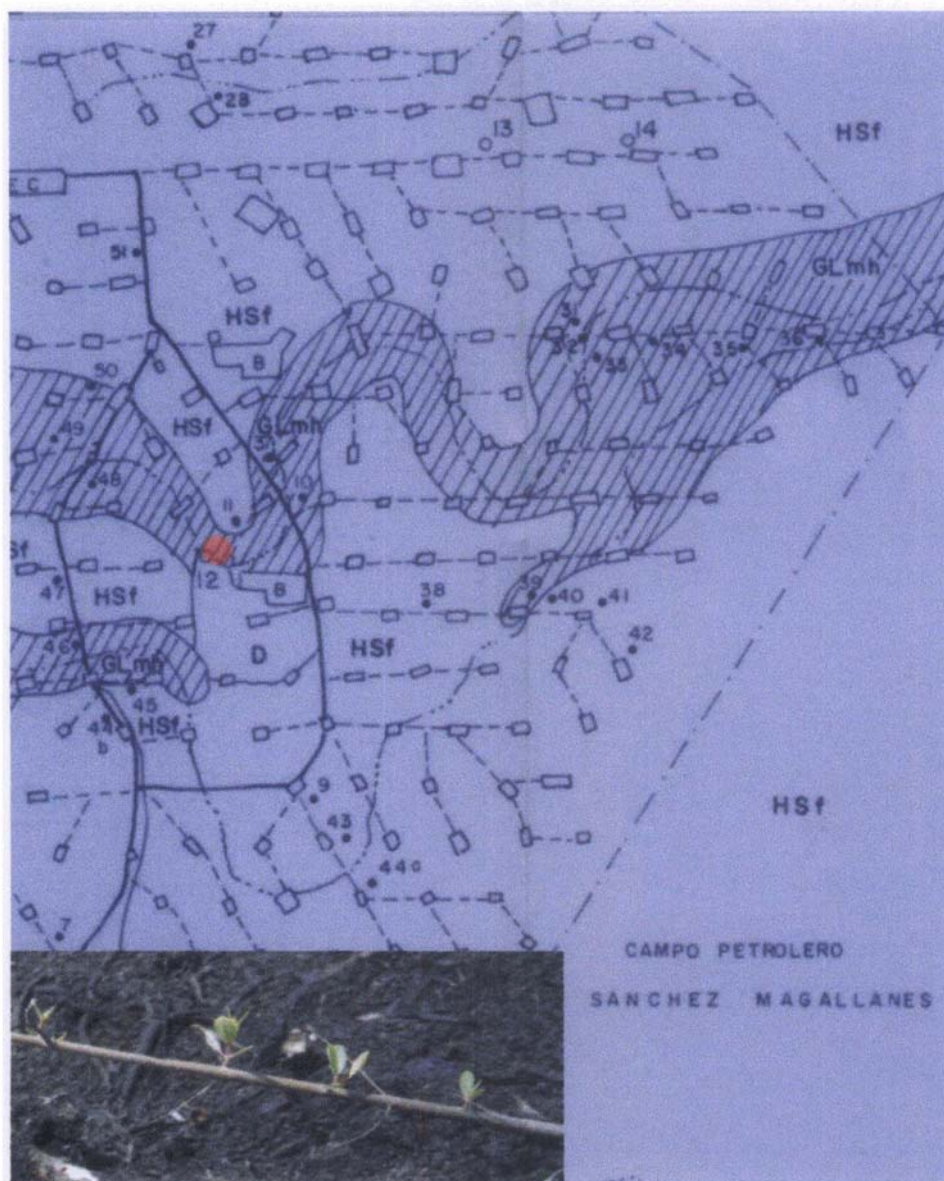
- Geomorfología de la Llanura Palustre (pantanosos)
- las secciones sobre suelos en o muy cerca a las plantaciones ▪ Histosoles, Gleysoles, Vertisoles, Solonchaks, Antrosoles, y sobre todo...
- Cartografía del Área de Estudio

Otras secciones del trabajo también importantes son las descripciones de relación de vegetación natural y posibles usos agrícolas, agropecuarias, de silvicultura y para refugio natural, con respecto a las unidades de suelo.

Una observación muy importante del estudio no esperada fue la ubicación de la plantación en el Campo Sánchez Magallanes, con respecto a la geomorfología. Parece estar situada casi en medio de un antiguo cauce del Río Chicozapote. Probablemente la sección "C - CHARCO de la plantación corresponde a la parte mas bajo del antiguo cauce. Esto resulta en la acumulación de contaminantes (por escurrimiento y migración). Parece que este fenómeno también ha tenido impacto con respecto a la sobrevivencia de los árboles en este parte de la plantación. (Ver secciones de este reporte que refieren a la sobrevivencia y caracterización de la contaminación.)

(continuación a la página siguiente)

FIGURA 11. Geomorfología de la plantación Sánchez Magallanes



Delineación de unidades de suelo en los alrededores de la plantación en el Campo Sánchez Magallanes. El azul rayado corresponde al antiguo cauce del Río Chicozapote. El punto rojo localiza la plantación. Nota: la plantación está ubicada en el antiguo cauce. La fotografía a la izquierda inferior muestra la refoliación de las plantas de mangle blanco antes del último período de sequía.

Caracterización de Contaminación en las Plantaciones

Evaluación de Contaminación en el Área de La Venta

En la elaboración del estudio de contaminación se tomaron muestras de varios horizontes en **diferentes** localizaciones en el área general de La Venta. Se tomaron muestras en el bosque de manglar en donde había poca a nula contaminación por hidrocarburos, en el banco de plantas cerca del canal pequeño que drena el área, y adentro del área de derrame. En el área del bosque se tomaron muestras de hojarasca y del suelo superficial; en el área del banco de plantas se tomaron muestras de suelo superficial; y en el área del derrame se tomaron muestras de la nata de algas secas (como "tierra nueva"), de la costra aceitosa, y del suelo impregnado con petróleo abajo de la costra. De cada tipo de muestra se tomaron cinco ejemplares. (Ver Figuras. 12 y 13.)

Adecuación del Método EPA 9074 para la Determinación de Hidrocarburos Totales de Petróleo Intemperizados y su Calibración para La Venta

Para determinar la cantidad de hidrocarburos presentes en las muestras, fue necesario adecuar el método EPA 9074 (PetroFlag) para los tipos de hidrocarburos presentes en el derrame, así como para el tipo de suelo orgánico que se presenta en esta localidad. Las muestras tomadas del área sin influencia de hidrocarburos fueron analizadas por el método según las recomendaciones del fabricante (Dexsil Corp, 1998). Los resultados de estos análisis indicaron cero concentración de hidrocarburos, lo que indicó que los tipos de compuestos naturales orgánicos presentes en el suelo de esta localidad no interfieren en la reacción.

Subsecuentemente, fue necesario determinar la repuesta de los reactivos utilizados en el método a los tipos de hidrocarburos que se presenten en el área de derrame. Este método está calibrado para hidrocarburos de petróleo en productos refinados (diesel, gasolina, kerosina, etc.), pero era necesario calibrarlo para los hidrocarburos muy intemperizados. Para tal fin se colectó aceite líquido en el área del derrame. Se determinó el porcentaje de aceite extraíble con el solvente del método (metanol) gravimetricamente, utilizando extracciones diferenciales con metanol y dicloruro de metileno (el cuál disuelve la totalidad del aceite). Se repitió este procedimiento para el aceite que se encuentra en la costra aceitosa, debido a que está más intemperizado que el aceite del suelo abajo de la costra. Con estas extracciones fue posible determinar concentraciones de hidrocarburos en soluciones elaboradas para la calibración del método, y factores de conversión de hidrocarburos extraíbles a hidrocarburos totales.

FIGURA 13. Zonación de Área de Muestreo

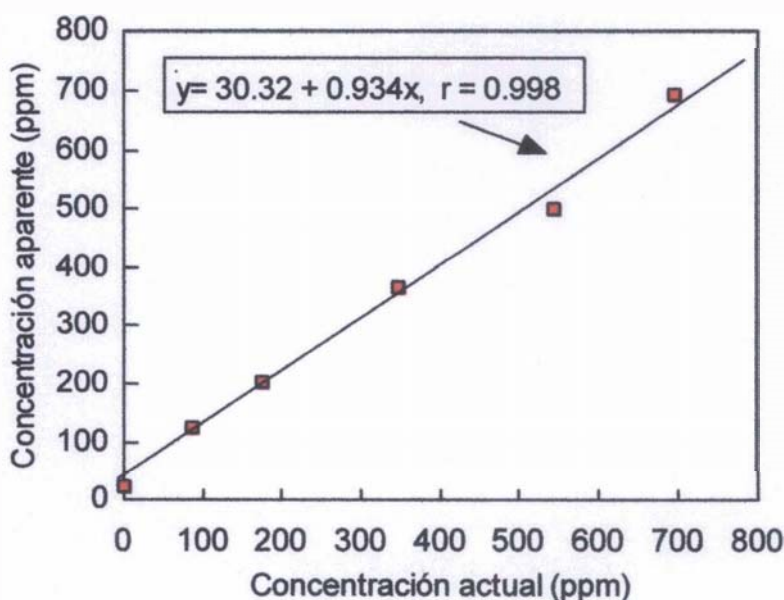


Desde ahí se elaboro una curva de calibración utilizando concentraciones conocidas de aceite extraído. Se preparó una serie de diluciones y se determinó la concentración aparente por el método EPA 9074. La comparación de concentración aparente a la concentración actual fue graficado y evaluado por regresión lineal. Esto dió una correlación excelente, con una coeficiente de determinación de $r^2 = 0.998$. (Ver Figura 14.) Esta correlación fue utilizado para la calibración del método, las concentraciones siendo corregidas posteriormente para compensar por la fracción no extraída.

Cabe mencionar que este método no funcionó para las muestras altamente contaminadas de la costra aceitosa, debido a que dió resultados no reproducibles y en intervalos de concentraciones imposibles (500 % de hidrocarburo). Para estas muestras, se determinaron las concentraciones de hidrocarburos totales gravimetricamente, utilizando dicloruro de metileno como solvente.

Los resultados de determinaciones de hidrocarburos se presentan junto con las determinaciones de toxicidad en la Tabla 1.

FIGURA 14. Calibración del método EPA 9074 para aceite Intemperizado de La Venta



Evaluación de Toxicidad Aguda en La Venta

La toxicidad en las muestras colectadas de La Venta fueron analizadas por el método NMX-AA-112-1995-SCFI modificada por Kanga (1998). Este método utiliza bacterias bioluminocentes marinas, especie *Photobacterium phosphoreum*, como el organismo de prueba. Se realiza diluciones de la muestra y se le agregan las bacterias. Subsecuentemente, se determina el decremento en la bioluminocencia con un equipo similar a un espectrofotómetro, y se determina la relación dosis * respuesta. Según esta relación se calcula la concentración de la muestra que resulta en un decremento de bioluminocencia de 50 % (Concentración Efectiva 50, CE50). Los resultados de los análisis de hidrocarburos totales y toxicidad se encuentra en la Tabla 1.

TABLA 1. Evaluación de Concentraciones de Hidrocarburos Totales y Toxicidad

Muestras	Toxicidad (CE50, ppm)	Concentración de Hidrocarburos (ppm)
Algas (encima de la costra)	\bar{x} = 77,903 I = 29,445-113,000	\bar{x} = 118,675 I = 90,785 - 141,137
Costra aceitosa	\bar{x} =52,129 I = 27,800 - 109,108	\bar{x} = 800,000 (80%) I = 74 - 84 %
Suelo contaminado, derrame	\bar{x} = 37,750 I = 28,663 - 49,008	\bar{x} =190,283 I = 69,241 - 283,102
Hojarasca del bosque	\bar{x} = 44,074 I = 22,121 - 64,966	No determinada
Tierra con poca o nula contaminación	\bar{x} = 35, 254 I = 17,298 - 86,413	Solo dos muestras presentaron una baja concentración (<2000)*
Banco de plantas ligeramente contaminado	No tóxico o abajo del límite de sensibilidad	\bar{x} = 872.27 I = 487 - 1,217

I = Intervalo
* 437 ppm y 1703 ppm en el área poca contaminada

Como se puede observar en la tabla, el suelo del derrame es más tóxico que la costra aceitosa, la cuál es más tóxico que la nata de algas. (En medidas de toxicidad, mientras que es menor la concentración, es mayor la toxicidad.) Parece que la toxicidad de estas muestras depende principalmente en el grado de intemperización del aceite. En el suelo contaminado, 71% del aceite fue soluble en metanol, en la costra aceitosa solo 8.9 % del aceite es soluble en metanol y tiene un aspecto asfáltico, representando un grado de intemperización mucho mayor. La toxicidad de las algas está en un rango ligeramente a moderadamente tóxico según estudios realizados en otras muestras de suelo orgánico de la región no contaminadas (Kanga, 1998; Ricalde y Adams, 1999).

En el bosque, la toxicidad no es debido a hidrocarburos. Nota que en el banco de plantas, con una ligera cantidad de aceite, prácticamente no hay toxicidad, mientras que en el suelo con niveles similares o menores de aceite, se encontraron una toxicidad considerable. Se notó una tendencia entre las muestras de tierra o hojarasca que mientras mas oscura y descompuesta, parece que tiene mayor probabilidad de tener una toxicidad más alta. Se cree que esta toxicidad es natural, y debido a la presencia de antibióticos producidos por hongos y actinomicetos en estos suelos orgánicos durante el periodo de sequía extremada de este año. La ausencia de toxicidad en el suelo mineral del banco de plantas conforme a esta interpretación. También podría haber otras sustancias orgánicas naturales, posiblemente de origen vegetal, que causa esta toxicidad natural. Se sabe que muchas plantas producen plaguicidas naturales para limitar la actividad herbívora de insectos.

Se dio seguimiento a las evaluación de toxicidad en el área para comparar como cambiaba durante los próximos meses. Una sumatoria de los datos colectados en La Venta durante tres períodos se presenta un la Tabla 2. Como se ve en esta tabla, la toxicidad en el área de derrame, así como en el bosque en recuperación, se fue reduciendo (un incremento en la CE50 representa un *decremento* en la toxicidad). Debido a la extrema sequía que se presentó en la región el año pasado, el nivel freático bajó mucho en los pantanos y selvas inundables y muchas áreas que casi siempre están inundadas, quedaron solo húmedas. Estas son condiciones excelentes para el desarrollo de hongos y actinomicetos, mientras que las condiciones de inundación son poco aptos para ellos. Es probable que una parte de la toxicidad que se registró en los meses de mayo y julio se debe a la producción de antibióticos en el suelo por estos organismos. También es posible que las sustancias tóxicas naturales (que sean de origen microbiana o vegetal) se diluyen en la época de lluvias y se reduce la toxicidad.

Es importante notar que la toxicidad del último muestreo (noviembre) es similar en el *área* de derrame, como en el bosque, aunque parece más heterogénea en el área del derrame. Es probable que la toxicidad en el derrame no es significadamente mayor que en el bosque, y el principal impacto ambiental es de formar una barrera física entre plantas que germinan encima de la costra y la humedad y nutrientes abajo. Otro impacto ambiental del derrame es el incremento en calor que se genera por la costra de aceite, resultados del cuál se presentan a continuación.

TABLA 2. Toxicidad Aguda en La Venta

Area de muestreo	Toxicidad (concentración efectiva 50, ppm)		
	periodo		
	mayo 1998	julio 1998	noviembre 1998
derrame	$\bar{x} = 22,810$ I = 19,446 - 26,169 n = 3	$\bar{x} = 52,129$ I = 27,800 - 109,108 n = 5	23,343; 89,840; bajo nivel de deter. $\bar{x} = 56,592$; (promedio de primeras 2 lecturas) n = 3
bosque en recuperación (poca o nula contaminación)	19,188; 28,341; bajo nivel de deter. $\bar{x} = 23,765$; (promedio de primeras 2 lecturas) n = 3	$\bar{x} = 35,254$ I = 17,298 - 86,414 n = 5	$\bar{x} = 51,059$ I = 45,818 - 55,105 n = 3

I = intervalo

Evaluación de Factores Físicos Ambientales en la Plantación La Venta

Durante los primeros meses de seguimiento de los lotes experimentales de la plantación se observaba cierta mortandad, pero durante los meses de Junio, Julio y Agosto fue mucho mayor. Durante uno de las visitas para tomar censos se noto un calentamiento muy elevado en el área del derrame, y se estima que la temperatura en la costra aceitosa fue de aprox. 42+ °C. Algunas semanas después se tomaron temperaturas encima de la costra aceitosa, en la costra propia, y en el suelo, abajo de la costra. Esto se comparó con temperaturas a profundidades adentro del bosque de manglar en recuperación. A continuación se presentan los resultados:

TABLA 3. Evaluación de Temperaturas en la Plantación Experimental La Venta

Lote (origen de plantas)	Temp. encima del suelo (°C)	Temperatura costra (°C)	Temperatura suelo (°C)
La Venta (oeste)	$\bar{x} = 32.5$ I = 32-33	$\bar{x} = 34.3$ I = 34-35	$\bar{x} = 33.6$ I = 33-34
La Venta (este)	$\bar{x} = 31.6$ I = 30-33	$\bar{x} = 34$ I = 33.5-34.5	$\bar{x} = 33.5$ I = 32-34
Mecoacán	$\bar{x} = 33.8$ I = 32.5 -35	$\bar{x} = 34.6$ I = 34-37	$\bar{x} = 35$ I = 35
Bosque	$\bar{x} = 30.7$ I = 29-34	temp. primeros 5 cm $\bar{x} = 33.8$ I = 28.5-34	$\bar{x} = 30.7$ I = 29-34
Agua Estancada	x=32.25, I= 31-33.5		

I = intervalo

Como se puede observar en la tabla, las temperaturas están aprox. 1- 3 °C más elevada encima de la costra que en el bosque, aprox. 1 °C más elevada en las costra aceitosa que en el bosque, y aprox. 3 -5 °C más elevada en el suelo abajo de la costra que en el suelo del bosque. Es importante mencionar que el día en cuando se tomaron estas temperaturas no estuvo muy acalorado, con una temperatura en el aire en el bosque de aprox. 28 - 30 °C. Estas plantas probablemente experimentaron condiciones más extremosas aún en las semanas anteriores. Esto puede ser un factor importante en la sobrevivencia de las plantas durante este período.

Se debe de mencionar que el bosque de manglar también sufría durante este período. Las hojas de las plantas se secaron y cambiaron a un color más amarilla. Se observaba cierto grado de defoliación también. Es probable que esto se debe a la sequía extremada de este año. Durante la elaboración de la descripción de perfiles de suelo, se notó que el nivel freático en el bosque (perfil 3, banco de plantas, ver Anexo 1) estuvo a 91 cm de profundidad y el nivel en el derrame (perfil 4, derrame, ver Anexo 1) estuvo a 103 cm. Este nivel es sumamente bajo considerando que normalmente, aún en sequía, hay cierta cantidad de agua arriba del nivel del suelo, o solo algunos centímetros abajo. Es probable que el escasez relativo de humedad influía también en la sobrevivencia de las plantas en la plantación también (aunque se notó mayor humedad en el suelo impregnado con petróleo que en el suelo del bosque).

Caracterización Químico - Toxicológico de Suelo en la Plantación Sánchez Magallanes

Para complementar el estudio realizado previo en La Venta, se realizó una caracterización del mismo tipo en Sánchez Magallanes. En este estudio se tomaron muestras superficiales (de aprox. 0 - 30 cm) en diferentes secciones de la plantación, así como en una área testigo con poco impacto ambiental. Los resultados se presentan en la Tabla 4.

TABLA 4. Caracterización Químico - Toxicológico en la Plantación Sánchez Magallanes

Sección	Toxicidad (CE50- Microtox)	Hidrocarburos Extraíbles en Metanol ^a	Hidrocarburos Totales ^b	HC - (MeOH) ^c	Sobrevivencia (11/MAR/99)
				HC totales	
S1 - PRESA	$\bar{x} = 35,200 \text{ ppm}$ I = 3,800 - 58,800 n = 3	$\bar{x} = 19,800 \text{ ppm}$ I = 9,400 - 30,700 n = 3	$\bar{x} = 54.5 \%$ I = 49.0 - 60.0 n = 2	35 %	35 %
S2 - TRANS. I	$\bar{x} = 113,000 \text{ ppm}$ I = 107,400 - 122,700 n = 3	$\bar{x} = 80,800 \text{ ppm}$ I = 55,700 - 116,300 n = 3	$\bar{x} = 50.0 \%$ I = 47.4 - 52.5 n = 2	16.2 %	73 %
C - CHARCO	$\bar{x} = 338,400 \text{ ppm}$ I = 24,300 - 460,000 n = 3	$\bar{x} = 123,400 \text{ ppm}$ I = 94,600 - 140,700 n = 3	$\bar{x} = 46.0 \%$ I = 45.0 - 47.0 n = 2	26.8 %	38 %
N1 - TRANS. II	$\bar{x} = 37,900 \text{ ppm}$ I = 8,300 - 59,600 n = 3	$\bar{x} = 81,000 \text{ ppm}$ I = 58,300 - 101,300 n = 3	$\bar{x} = 69.0 \%$ I = 68.3 - 69.7 n = 2	11.7 %	57 %
N2 - TRONCOS	$\bar{x} = 136,000 \text{ ppm}$ I = 23,800 - 265,300 n = 3	$\bar{x} = 99,400 \text{ ppm}$ I = 36,400 - 139,800 n = 3	$\bar{x} = 61.1 \%$ I = 61.1 - 61.1 n = 2	16.3 %	72 %
TESTIGO	$\bar{x} = 13,400 \text{ ppm}$ I = 7,000 - 29,900 n = 8				

I = intervalo

^aMétodo EPA 9074

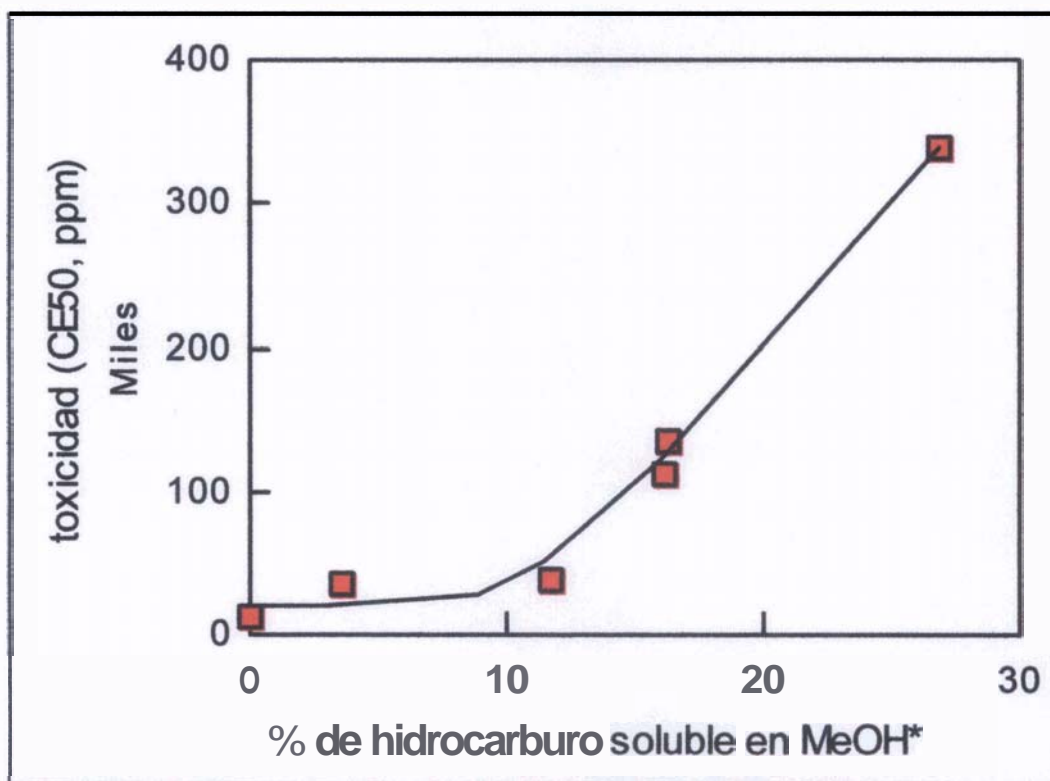
^bPor gravimetría utilizando dicloruro de metileno como solvente

^cProporción de hidrocarburos totales extraíbles en metanol

No hubo relación en esta plantación entre concentración o toxicidad y la sobrevivencia de las plantas. Parece que el suelo natural es más tóxico que el suelo impregnado con hidrocarburos y que los hidrocarburos propios en el sitio tienen muy baja toxicidad. En la Figura 15. Se presenta gráficamente la relación entre intemperización de los hidrocarburos y la toxicidad. En esta figura la intemperización del hidrocarburo se demuestra como un porcentaje de hidrocarburos totales extraíbles en metanol. En la gráfica, mientras esta proporción es mayor, es menos intemperizado el hidrocarburo. Como se va

intemperizando, se incrementa la toxicidad (se reduce la Concentración Efectiva 50) hasta acercarse al nivel de toxicidad del testigo (mostrado en la gráfica como cero). Es probable que mientras que el aceite es menos intemperizado y más fluido, cubre los tejidos orgánicos o partículas del suelo (con sus propias sustancias tóxicas naturales) y reduce su biodisponibilidad, efectivamente reduciendo la toxicidad. Como se van intemperizando, los hidrocarburos se hacen más viscosos y particulados, abriendo áreas del suelo natural y haciendo más biodisponibles las sustancias tóxicas naturales.

FIGURA 15. Relación entre Intemperización del Hidrocarburo y Toxicidad

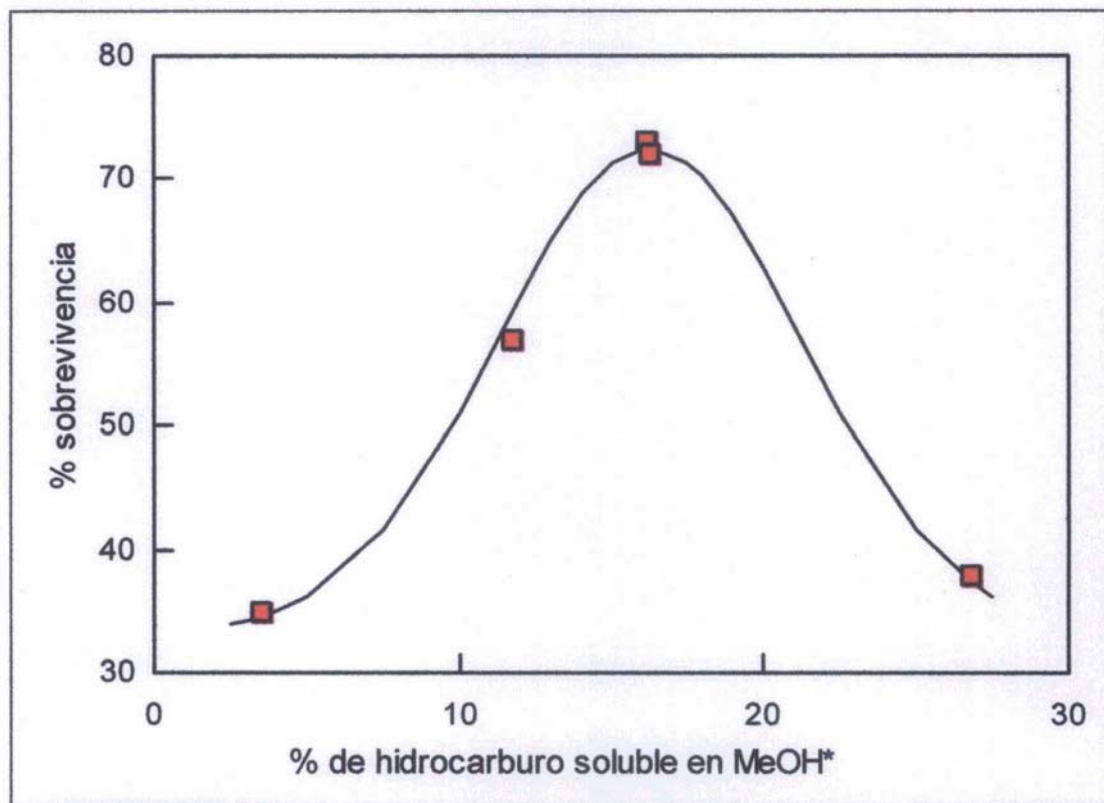


*MeOH = metanol

Un resultado no esperado de esta caracterización fue la relación entre la intemperización y la sobrevivencia en las diferentes secciones de la plantación (ver Figura 16). Parece que hay un óptimo de intemperización para la sobrevivencia de las plantas acerca de 16 % (fracción de hidrocarburo soluble en metanol). El punto en la figura más hacia la derecha corresponde a la sección C - CHARCO, en donde el hidrocarburo es menos intemperizado. Es probable que cuando el hidrocarburo es más líquido, se cubre la mayor parte de las raíces, y no permite un buen intercambio de gases, ni absorción de agua y nutrientes. El punto en la figura más a la izquierda corresponde a la sección S1 - PRESA, en donde el hidrocarburo es más intemperizado. En esta sección observamos que el suelo es muy duro y las plantas demuestran mucha

resequedad. Probablemente, cuando hay concentraciones altas de hidrocarburos y están muy intemperizados, el suelo se hace demasiado duro y se dificulta el desarrollo de las raíces.

FIGURA 16. Relación entre intemperización del Hidrocarburo y Supervivencia



*MeOH = metanol

$$\%S = 39.5 \exp^{-[(\%I - 16.25)^2/50]} + 33, r^2 = 0.998$$

en donde % S = % supervivencia, y %I = % de hidrocarburo soluble en metanol

Evaluación de Mortalidad, Parámetros de Crecimiento en las Plantaciones

Plantación La Venta, Primer Periodo (Feb. - Abr.,1998)

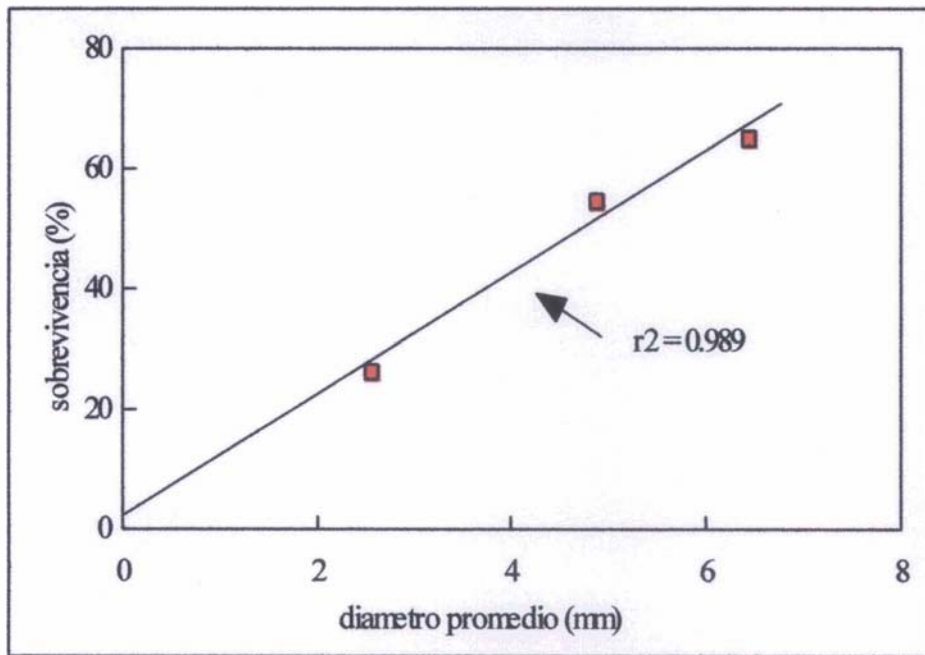
Para llevar un control sobre la mortalidad de las plantas y su crecimiento, se determinaron la cantidad de individuos muertos, así como el diámetro y altura de las plantas. Los resultados de estas evaluaciones se encuentra en la Tabla 51 y la Figura 17. Como se puede observar en la tabla la mortalidad fue alta, sobre todo en las plantas muy pequeñas de La Venta. Además, entre las plantas grandes originarias de La Venta, las menos grandes eran los mas probables a morir, lo que se observa por la altura promedio de los grandes muertos en la primera semana. Así también fue la tendencia en las plantas originarias de Mecoacán, en donde la subpoblación de los muertos tiene una altura promedio menor que la población en general.

Para evaluar de una manera más rigurosa esta tendencia se graficaron promedios de diámetro vs. la sobrevivencia para los tres grupos antes mencionadas (pequeños de La Venta, grandes de La Venta, y los de Mecoacán) y sobre estos datos se realizó una regresión lineal (Ver Figura 17). Esta regresión tuvo un coeficiente de determinación ($r^2 = 0.989$) muy alto, indicando una correlación muy fuerte. Las plantas más gruesas son más resistentes al transplante y las condiciones del sitio, posiblemente porque tienen raíces más profundas que permiten acceder mejor a la humedad en los horizontes mas profundas, o porque resisten el estrés de sequías mejor por algún otro mecanismo. El transporte y aclimatación parecen tener poco importancia en la sobrevivencia en este sitio. Los datos de las plantas de Mecoacán se incluyeron en la regresión lineal y, como se puede apreciar en la figura, no varían de la línea.

Hay otras dos observaciones que son importantes mencionar. En el lote con plantas de La Venta, algunos individuos incrementaron un poco en términos de su altura entre la primera y décima semana y además, tuvieron algunas hojas nuevas, buenas indicaciones para su sobrevivencia y la eventual recolonización de este sitio.

La otra observación viene de un error en la recolección de plantas de Mecoacán y su siembra en La Venta Erróneamente se colectaron y plantaron tres individuos pequeños de mangle negro (*Avicennia germinans*). Estas sobrevivieron muy bien.. Los datos y cálculos presentados en la Tabla 5 y la Figura 17 no incluyen estas plantas.

FIGURA 17. Relación Entre Diámetro y Supervivencia en La Venta



Los puntos de supervivencia y diámetro promedio vienen de los datos presentados en la Tabla 1. Son promedios de 84, 170 y 195 individuos, respectivamente. El factor r en la figura es el coeficiente de determinación de la regresión lineal señalada.

TABLA 5. Resultados de Supervivencia y Crecimiento en La Venta

origen de plantas	selección	numero de plantas	semanas en cultivo	mortalidad	sobre- vivencia	diámetro (promedio)	altura (promedio)	altura/diam	observaciones
La Venta	todos	279	1 14	6 8 %	9 3 2 %	5.30 mm*	52.9 mm*	9 98*	Parece que los mas pequeños tienen un mejor supervivencia entre las primeras semanas Entre los grandes, los menos grandes tienen mas tendencia de morir
	pequeños	84	1 14	3 6 %	9 6 4 %	2.56 mm	9.09 mm	3 55	
	grandes	195	1 14	8 2 %	9 1 8 %	6.45 mm	71.7 mm	11 12	
	todos los muertos	19=3 peq , 16grandes	1 14	N/A	N/A	5.08 mm	53.5 mm	10 53	
	muertos grandes	16	1 14	N/A	N/A	--	61 8 mm	--	
La Venta	todos	279	10 14	46 6 %	53 4 %	5 40 mm*	61 5 mm*	11 39*	Algunos de los sobrevivientes incremen- taron en altura y tienen hojas nuevas Mortalidad muy alta en plantas pequeñas pero cerca a la meta (70 %) para las grandes, aún en época de sequía Es posible que las grandes tienen mejor acceso a la humedad abajo de la costra por tener raíces más profundas
	pequeños	84	10 14	7 3 8 %	2 6 2 %	--	--	--	
	grandes	195	10 14	3 4 9 %	6 5 1 %	--	--	--	
Mecoacán	todos	170	5 14	4 5 3 %	5 4 7 %	4.88 mm*	38.2 mm*	7 83*	Mortalidad más alta en estas plantas que entre las grandes originarias de La Venta
	muertos	77	5 14	N/A	N/A	3 88 mm	36.32 mm	9 36	
* características de los sobrevivientes								Los con más tendencia a morir son menos altos y gruesos Su menor supervivencia podría atribuirse a varios factores: profundidad de raíces, más estrés en el transporte, diferentes características fenotípicas debido a diferencias genéticas, o aclimatación.	

Plantación La Venta, Segunda Período (Mayo - Ago., 1998)

Se continuó con la colecta de censos de individuos en las plantaciones, así como la determinación de las alturas y diámetros de los sobrevivientes. Durante este segundo período de investigación se redujo considerablemente el número de sobrevivientes en los dos lotes de esta plantación. El porcentaje de sobrevivientes en el lote sembrado con plantas de La Venta fue 18.6%, mientras que la sobrevivencia en el lote Mecoacán fue de 36.5%. Para determinar si había algunas características de las plantas que les predisponen a sobrevivir, se graficaron la cantidad de sobrevivientes por altura, y diámetro por cada período de censo. Estas gráficas se presentan en las Figuras 18 y 19 (lote La Venta) y 20 y 21 (lote Mecoacán).

En la Figura 18 se puede observar que hay una considerable mortandad, pero está proporcionalmente mayor en las plantas con alturas menores de 70 cm. Entre las plantas de 70 - 110 cm de altura hubo mayor sobrevivencia. Entre los primeros 10 semanas parece que algunas plantas crecieron ya que se observa más plantas en la categoría de 130-140 cm después de 10 semanas que al inicio. Parece que entre 10 y 20 semanas varias plantas en este mismo intervalo murieron. Además, la parte más alta de varias plantas se secó y calló, observándose como una reducción de plantas en esta categoría.

En la Figura 19 se observa la misma tendencia de sobrevivencia, siendo mayor en plantas con diámetros mayores de 9 mm. Además, algunos aumentaron su diámetro en las últimas semanas.

Los resultados para el lote Mecoacán se presentan en las Figuras 20 y 21. En la Figura 20 se observa cierta mortandad que parece ser similar en las diferentes alturas, aunque se redujo considerablemente la cantidad de individuos con alturas mayores que 70 cm. En la actualidad muchos individuos muy altos no murieron, tanto que se seco la parte más alta de la planta, que después calló. Esto se representa en el incremento en individuos de 60 - 70 cm correspondiente a un decremento en individuos de 70 - 90 cm después de 15 semanas.

Con respecto al diámetro de las plantas en el lote Mecoacán, se observa una alta índice de mortandad de las plantas más angostas, pero a la vez, un incremento en el diámetro de muchos individuos, siendo mayor la cantidad de individuos con diámetros de mayores de 7 mm después de 15 semanas.

Tomando todas estas observaciones en cuenta, parece que hay un fisiotipo idóneo para sobrevivir. Es importante que no sea demasiado alto, debido a que se sobre estresa la planta para mantener húmeda la parte superior de la planta durante períodos de sequía. De igual manera, es importante que tenga un diámetro ancho para resistir las condiciones adversas.

FIGURA 18 Sobrevivencia por Altura en Lote La Venta

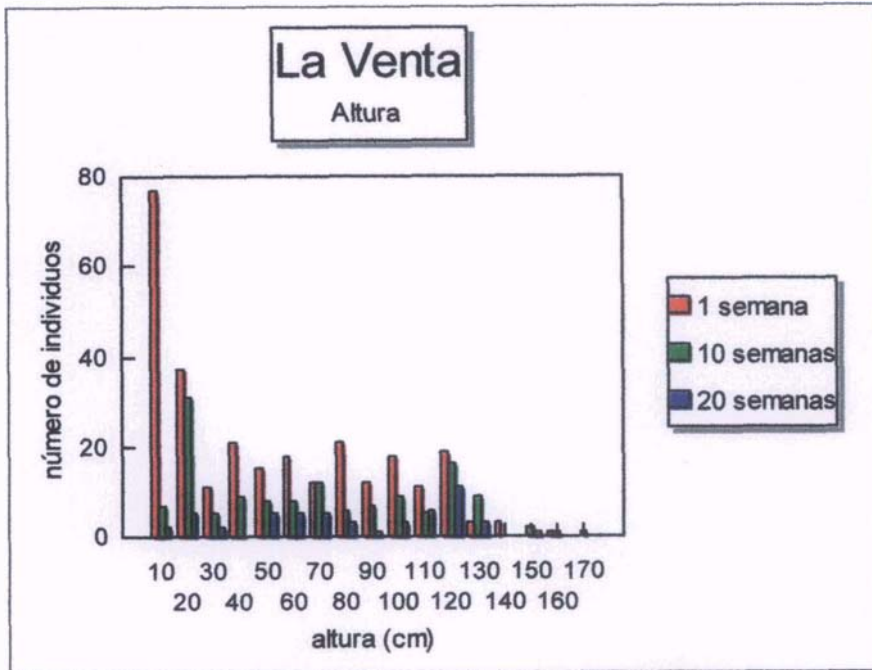


FIGURA 19. Sobrevivencia por Diámetro en Lote La Venta

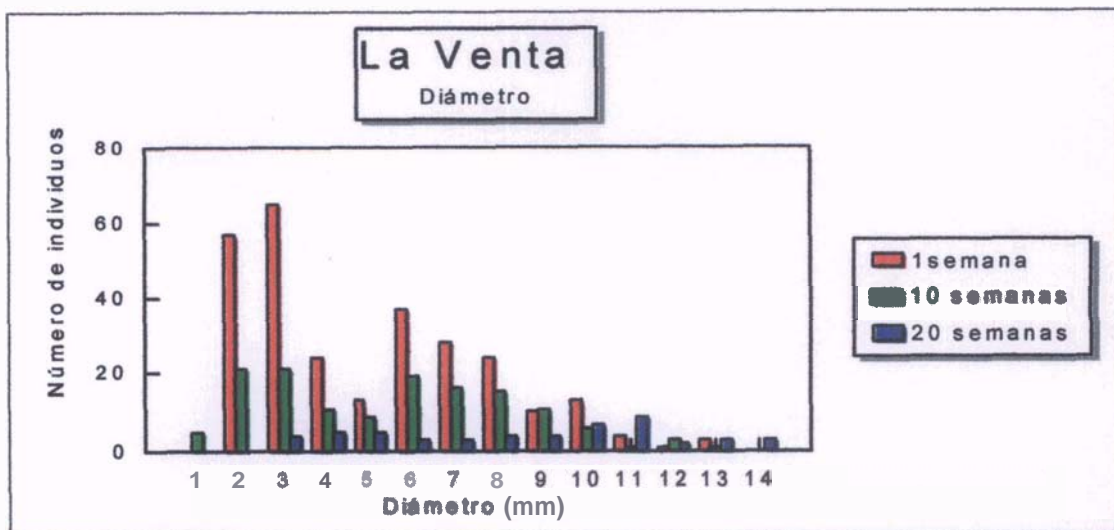


FIGURA 20. Supervivencia por Altura en Lote Mecoacán

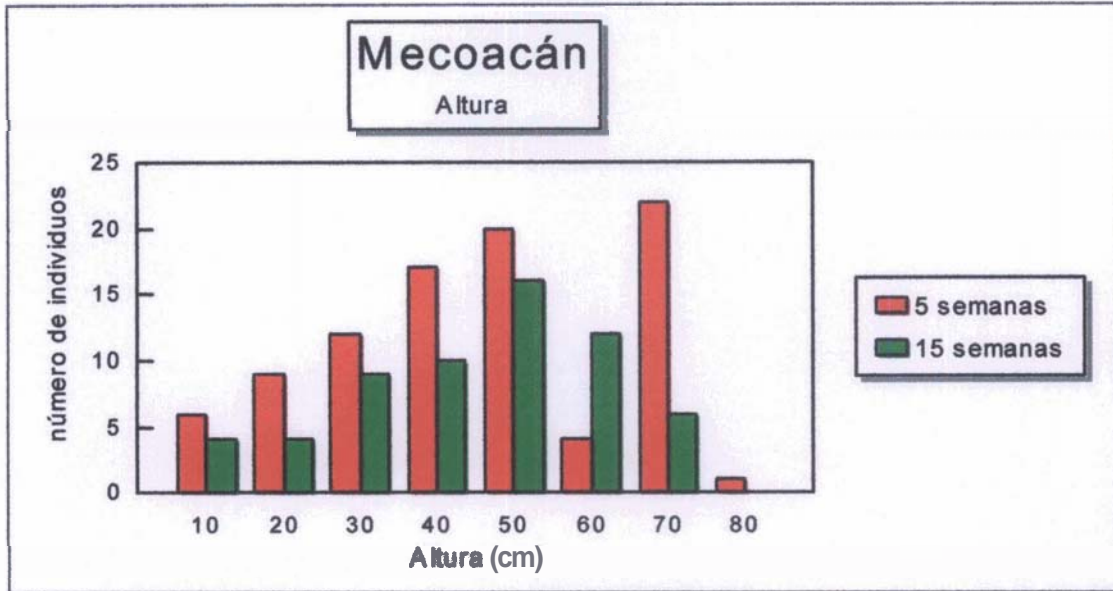
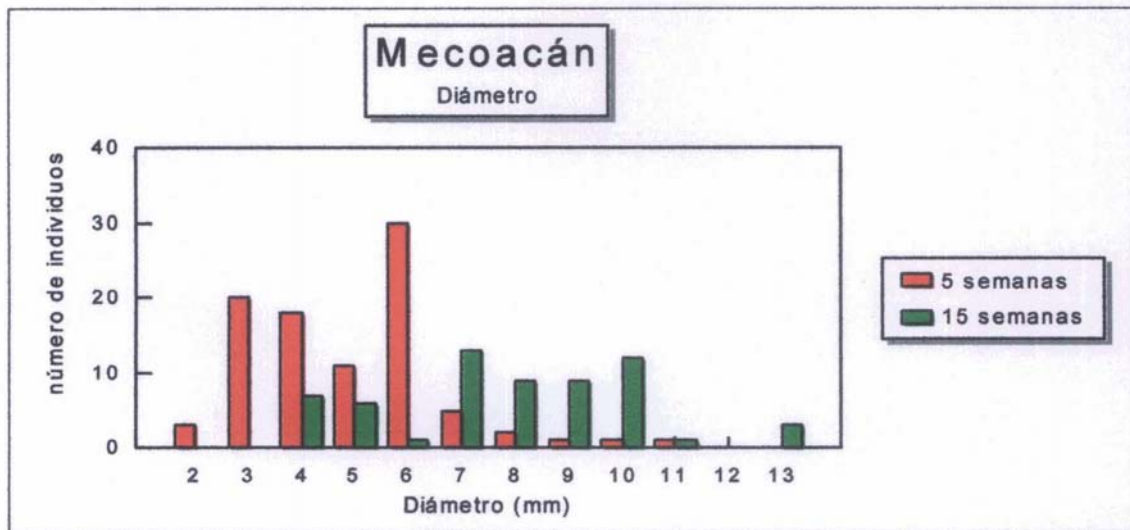


FIGURA 21. Supervivencia por Diámetro en Lote Mecoacán



Estos factores se aprecia en una evaluación de la proporción altura/diámetro de las plantas. Los sobrevivientes en el lote La Venta tienen un promedio de la proporción altura (en cm)/diámetro (en mm) de 9.08 (77.2 cm/8.50 mm), mientras que esta misma proporción para los sobrevivientes en el lote Mecoacán era 5.14 (40.6 cm/7.90 mm), casi la mitad. Inversamente, la sobrevivencia en el lote Mecoacán fue el doble que en el lote La Venta.

Parece que esta diferencia tiene menos que ver con la genética de las plantas que su ubicación adentro del paisaje en donde fueron tomadas. Las plantas de Mecoacán fueron tomadas de un bordo aprox. 1 metro arriba del nivel de la llanura de inundación. Además, el suelo del bordo era de un tipo menos orgánico y de una textura más gruesa que el suelo nativo del bosque de manglar. Durante la colecta de plantas de este bordo, observamos que casi todas ellas tenían una raíz mucho más ancha y elongada, lo que no observamos durante la colecta de plantas de La Venta. Es probable que estas germinaron después de las lluvias, cuando las condiciones fueron muy húmedas en el bordo. Como se fue bajando en agua, extendieron raíces profundas para obtener la humedad suficiente, y a la vez, tomaron una forma más gruesa y menos alta.

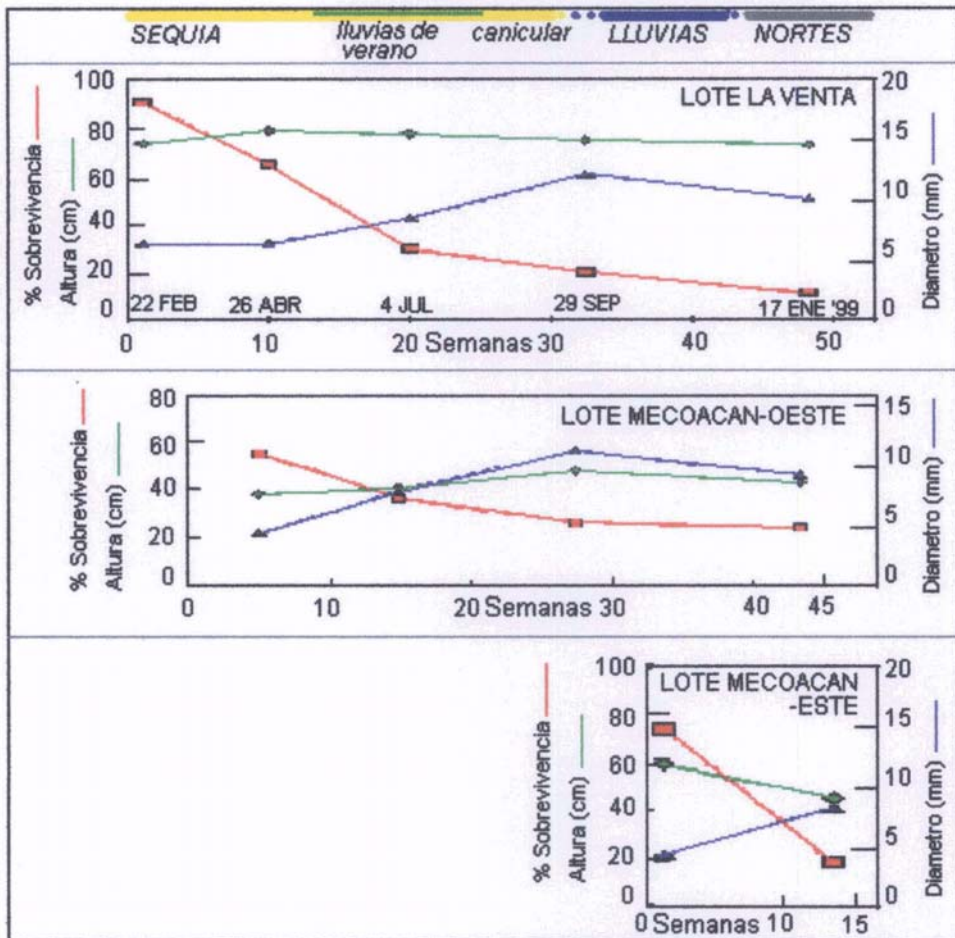
Estas observaciones son importantes de tomar en cuenta para el manejo de condiciones en viveros naturales. Se propone construir bordos o montículos elevados en el vivero durante el período de secas. Cuando cae la semilla durante el período de lluvias, estos bordos estarán inundados (o por lo menos muy húmedos), y se germinarán las semillas encima de los bordos. Cuando baja el nivel de agua en los meses siguientes, el sistema de raíces se profundizarán y ser más resistentes para la transplatación.

Plantación La Venta, Tercer Período (Sep. '98 - Ene.'99)

LOTE LA VENTA

Este lote corresponde a lo que fue sembrado con plantas de La Venta. Los resultados se presentan gráficamente en la Figura 22, la cuál no incluye datos sobre las plantas muy pequeñas que fueron sembrado al inicio (todas de las cuales murieron en 20 semanas). Como se aprecia en la figura, hubo relativamente poco cambio en términos de promedio de altura, pero se incremento fuertemente el promedio de diámetro mientras que se bajó la sobrevivencia. Parece que las plantas más anchas fueron las más resistentes a condiciones adversas (sobre todo la sequía y el calor) y fueron las que mejor sobrevivieron. La sobrevivencia se redujo mucho durante los primeros meses y durante el período de calor y sequía intensa. Sin embargo, parece estabilizarse en los últimos meses de lluvias y nortes, quedando con una sobrevivencia de 12.3 % y un promedio de diámetro de 10.2 mm

FIGURA 22. Supervivencia, Altura y Diámetro. Plantación La Venta



Barras de colores al inicio de la figura corresponden a las estaciones del año. Los inicios de cada gráfica están relacionados temporalmente entre ellos para mostrar cuando se sembraron cada lote.

LOTE MECOACÁN - OESTE

Este lote fue sembrado con plantas de un bordo de Mecoacán al inicio del período de sequía. El comportamiento en él es similar a lo del lote La Venta. No hubo mucho cambio en el promedio de altura, pero sí un incremento importante de diámetro correspondiente a la mortandad, las plantas más angostas muriéndose. La sobrevivencia en este lote fue mejor y parece ser estabilizado a 24.3 % con un promedio de diámetro de 9.15 mm. Es importante notar que la relación de altura sobre diámetro (en cm/mm) final era 1.5 veces menos que en el lote La Venta y la sobrevivencia era el doble.

LOTE MECOACÁN - ESTE

En comparación con otros lotes, las pérdidas en este son mucho mayores, con solo 18.9 % de las plantas sobreviviendo después de 14 semanas. De igual manera, hubo un fuerte incremento en el promedio de diámetro mientras que se redujo mucho la sobrevivencia. Parece que además de tener raíces delgadas, el hecho de tenerlas muy flexibles fue un factor importante en la mortandad, muchas plantas doblando en el viento y manchando sus tallos y hojas con aceite. Esta experiencia indica que no es recomendable colectar plantas en condiciones de inundación extrema, y si es posible, es preferible colectarlos de bordos o áreas ligeramente más altas.

Plantación La Venta, Cuarto Período (Feb. - Jun., 1999)

Los resultados del censo en La Venta se presenta en la Tabla 6. Con respecto a los censos anteriores la sobrevivencia continuó de bajar, hasta niveles muy bajos, en los lotes de La Venta y Mecoacán - Oeste, a niveles de aprox. 10 - 15 %. En el lote Mecoacán - Este no hubo sobrevivientes. Durante los censos observamos que las condiciones de calor en la costra aceitosa y en el bosque adyacente eran aún más extremosas que en el año pasado. El sotobosque estaba completamente seco en áreas en donde hace un año había exuberante vegetación y se formaron más sales encima de algunas partes de la costra aceitosa. Durante el censo el investigador principal calló encima de la costra y se quemó las plantas de las manos. Se estima que la temperatura estaba a aprox. 45 °C.

Estas observaciones son congruentes con otras investigaciones con manglares en áreas muy calorosos. Barth y Lieth (1982) encontraron que a temperaturas de 24 - 42 °C la sobrevivencia fue aprox. 50 % después de dos años mientras que a temperaturas de 45 - 48°C hubo mortandad completa.

La altura promedio en el lote La Venta bajó considerablemente durante este período sin que hubiera mucho cambio en el grosor de las plantas. Las dimensiones en el lote Mecoacán - Oeste casi no cambiaron. Es interesante observar que los sobrevivientes en los dos lotes quedaron al final con dimensiones muy similares, posiblemente indicando una estructura más idónea para resistir las condiciones extremosas en esta plantación.

FIGURA 23. Condiciones Extremas en La Venta (Ver texto para explicación)



TABLA 6. Supervivencia y Crecimiento en la Plantación La Venta

	LOTE	
	LA VENTA	MECOACÁN - OESTE
Promedio de Altura (cm)	46.7	44.8
Promedio de Diámetro (mm)	9.4	10.5
Supervivencia (%)	99 %	14.8 %

Plantación La Venta, Quinto Período (Jul. - Sep., 1999)

Durante el quinto período del proyecto se realizaron dos censos. En estos meses se redujo aún más el número de individuos de mangle en los lotes de La Venta y Mecoacán. En el primer censo de este período, en los fines de Julio, solo hubieron 5 plantas de mangle blanco en el lote La Venta, y solo 14 en el lote Mecoacán - Oeste, mostrando una frecuencia de 1.8 % y 8.8 % respectivamente. Se debe de notar que las condiciones en la plantación en estas semanas fueron aún muy secas y calorosas. Los promedios de diámetro y altura en los dos lotes eran 1.6 cm y 82 cm, respectivamente en el lote La Venta, y 1.3 cm y 60.7 cm, respectivamente en el lote Mecoacán - Oeste. Aunque el número de individuos se redujo en comparación el previo período del estudio, se ha incrementado los promedios de altura y diámetro en los dos lotes. Esto probablemente refleja una sobrevivencia de los individuos más grandes y no un actual crecimiento en las plantas.

En el segundo censo tomado en este período (en los fines de Septiembre), hubo más mortandad. Aunque se esperaba un incremento en crecimiento debido a las lluvias de Septiembre se observó un decremento en el número de individuos, hasta tener solo tres en el lote La Venta y solo cuatro en el lote Mecoacán - Oeste. Los promedios de diámetro y altura en los dos lotes eran 0.9 cm y 102 cm, respectivamente en el lote La Venta, y 10.8 cm y 62.3 cm, respectivamente en el lote Mecoacán - Oeste. No es probable que estos valores tienen un significado estadístico debido a que provienen de un número de individuos muy reducido.

Con respecto al mangle blanco como un especie para la fitorremediación de áreas altamente contaminadas, no parece muy prometedora, probablemente debido a la temperatura que alcanzó la costra aceitosa durante los meses caorosos (por lo menos utilizando este método de siembra. Posiblemente, colocando más turba (suelo orgánico) con cada planta, e incluso agregando turba encima de la costra, tal vez podría superar esta situación. Es interesante notar que los tres individuos de mangle negro sembrados erróneamente, se encuentran vivos y vigorosos, aunque no han crecidos muchos. Este podría ser otra especie a probar en un futuro proyecto.

Evaluación de Mortalidad. Parámetros de Crecimiento en las Plantaciones - (continuado)

plantación Sánchez Magallanes, Tercer Período (Sep. '98 - Ene. '99)

Esta plantación fue sembrado durante el período de lluvias del primer año del proyecto a causa de las experiencias en tener una alta mortalidad en la plantación en La Venta durante los períodos de estiaje. Los resultados de los censos en esta plantación se encuentran en la Tabla 7 y la Figura 24. Como se ve en estos, la sobrevivencia ~~era~~ muy variable por sección, siendo más bajo cerca de la presa (51.9 %) de desechos y en el área de encharcamiento de desechos de perforación (60.0 %). Las demás áreas tuvieron una sobrevivencia cerca de 80 % irrespectivamente de fuera en una área con mayor o menor grado de aceite.

**TABLA 7. Sobrevivencia, Crecimiento y Toxicidad -
Plantación Sánchez Magallanes**

	SECCION					
	S1	S2	C	N1	N2	GENERAL
promedio altura (cm)	96.04	105.69	87.41	83.95	82.95	92.88
promedio diámetro (mm)	12.42	10.80	8.66	10.36	10.65	10.58
altura/diámetro	7.73	9.79	10.09	8.10	7.79	8.78
sobrevivencia (%)	51.9	80.6	60.0	79.3	78.7	71.8
promedio desfoliación de vivos (%)	17.9	4.8	10.0	13.0	5.4	8.9

La desfoliación fue otro fenómeno que ocurrió con muchas plantas y que era muy variable por sección. Varias plantas, sobre todo cerca a la presa de desechos perdieron todo su follaje pero parece recuperar, y después crecieron hojas pequeñas nuevas. Parece ser que esta área estresa las plantas por escasez de humedad.

Otra observación importante a mencionar es que se germinaron muchas semillas de mangle blanco en los pilones de suelo de los árboles transplantados y que algunos también germinaron un poco más afuera sobre la costra aceitosa (ver figura 7D). De sobrevivir, puede ser otra técnica para la propagación y recuperación de áreas impactadas.

FIGURA 24. Supervivencia, Defoliación y Mortandad por Sección - Plantación Sánchez Magallanes



Plantación Sánchez Magallanes Cuarto Período (Feb. - Jun., 1999)

A diferencia a la plantación La Venta durante este período, las condiciones en la plantación Sánchez Magallanes eran mucho más húmedas, y el suelo no alcanzaba temperaturas tan altas. Los resultados del censo se presentan en la Tabla 8. La sobrevivencia en esta plantación no estuvo fuertemente relacionado a la altura o diámetro de las plantas; parece que las condiciones del suelo (sobre todo el grado de intemperización del hidrocarburo) son más importantes. Sin embargo, hubo un incremento en general en el diámetro de las plantas, sin presentar mucho cambio en las alturas. Es probable que esto fue una adaptación al período de sequía que resultaba en mayor resistencia. Esto es congruente con otras observaciones en la plantación: observamos bastante desfoliación y regeneración.

TABLA 8. Sobrevivencia y Crecimiento en la Plantación Sánchez Magallanes

	SECCION					
	S1	S2	C	N1	N2	GENERAL
Promedio de altura (cm)	95	108	94.5	83.5	78	91.8
Promedio de diámetro (mm)	19.3	16.2	11.0	11.6	10.5	13.7
Sobrevivencia (%)	35 %	73 %	38 %	57 %	72 %	55 %
Desfoliación de vivos (%)	53 %	25 %	32 %	32 %	35 %	35.4 %

Plantación Sánchez Magallanes, Quinto Período (Jul. - Sep., 1999)

En estos meses se tomaron dos censos. En el primero se notaba condiciones muy secas y una alta mortandad. Solo hubo cuatro plantas de mangle en la sección S1 - PRESA, cuatro plantas en la sección S2 - TRANS. I, y una planta en la sección N1 - TRANSII, con frecuencias de 7.8 %, 6.8 % y 1.9 %, respectivamente. Los promedios de diámetro y altura eran 1.5 cm y 84.8 cm, respectivamente en la sección S1, 2.0 cm y 120.6 cm, respectivamente en la sección S2, y 2.0 cm y 57 cm, respectivamente en la sección N1. Algunas de las plantas parecían aún estar vivos pero totalmente desfoliados, y no fue posible determinar si lo estaban o no vivos sin lastimarlos (por ejemplo rayando el tallo). Por tal razón esperamos pasar varias semanas de lluvias del fin del año antes de tomar el último censo, esperando encontrar una refoliación de algunos de estos árboles.

Se debe de mencionar que este año (1999) prácticamente no hubo el período canicular (período de secas entre las lluvias del verano y las lluvias del fin del año). Después de continuar las lluvias de verano cinco semanas, y de pasar tres semanas más en Septiembre se realizó el segundo y último censo de este período. Los resultados de este último censo se compara graficamente con los censos anteriores en la figura 25. En este figura se observa

FIGURA 25. Sobrevivencia y Desfoliación en la Plantación

Sánchez Magallanes



la mortandad y desfoliación de los árboles, empezando principalmente en las secciones S1 - PRESA y C - CHARCO, y después extendiéndose a las demás secciones. Al último censo solo habían cinco plantas de mangle en la plantación, cuatro en la sección S1 y uno en la sección S2. Los promedios de diámetro y altura para este censo fueron 1.2 cm y 77.6 cm, respectivamente en la sección S1, y 1.2 cm y 94.0 cm respectivamente en la sección S2. Las frecuencias de sobrevivencia eran 7.8% en la sección S1 y 1.4 % en la sección S2.

Parece que este sitio es extremadamente seco aún en comparación al sitio de la plantación en La Venta. Es muy probable, que debido al mayor concentración de hidrocarburos en este sitio, que las plantas no eran capaces de obtener la humedad (y nutrientes) necesarios para sobrevivir las condiciones durante los meses más extremos. Parece que la fitorremediación con este especie, con esta técnica no es adecuado para sitios con hidrocarburos en concentraciones tan altos y tan profundos (concentraciones de aprox. 45 - 70 % hasta profundidades de hasta 30 cm.) Posiblemente, aplicando una capa de suelo orgánico nuevo encima del suelo altamente contaminado ayudaría en mejorar la sobrevivencia y restaurar el sitio.

Evaluación de Diversidad Florística

Plantación La Venta, Tercer Periodo (Sep.'98 - Ene.'99)

Se elaboró un censo de las plantas de herbáceas en la plantación La Venta en el mes de septiembre de 1998, tomando datos sobre frecuencia y cobertura de las diferentes especies encontradas. Estos resultados se encuentran en la Tabla 9. Como se puede apreciar en la tabla, las especies mas comunes en los dos lotes (La Venta y Mecoacán) son pastizales (especies de Paspalum) y Cyperus ferax. Estas especies parecen ser más resistentes a perturbaciones, salinidad, y extremos de inundación y sequía y calor intenso. Podrían ser candidatos para proyectos futuros de restauración ecológica (para los primeros etapas de sucesión). Es interesante observar que la frecuencia de estas es aproximadamente 3 - 4 veces mayor en el lote La Venta, que fue completamente sembrado en las fechas de este censo, mientras que el lote Mecoacán estaba solo sembrado a la mitad. Se notaba que en muchos casos las plantas se establecieron en el suelo agregado en la costra aceitosa durante el transplante, y en algunos caso parecía que las plantas mismas venían como semillas o plantulas en la tierra agregada.

TABLA 9. Biodiversidad Florística en la Plantación La Venta (SEP. 1999)

especie	frecuencia*		% cobertura	
	lote La Venta	lote Mecoacán	lote La Venta	lote Mecoacán
<i>Cyperus ferax</i>	44.8 %	10.4 %	11.4%	2.4 %
<i>Paspalum</i> spp.	15.6	5.2	10.8	5.3
<i>Fimbristylis</i> sp.	0.4	0.4	<0.1	<0.1
<i>Eleocharis</i> sp.	0.4	0.4	<0.1	<0.1
<i>Eupatolium albicaule</i>	0.4	0.4	<0.1	<0.1
<i>Ipomoea</i> sp.	0.8	0	<0.1	0

* porcentaje de cuadrículos que tienen este especie (excluye area del canal aceitoso que cruza los lotes)

De igual manera, la cobertura era aprox. 2 - 5 veces mayor en el lote La Venta, pero para estas fechas la mayoría del área de los dos lotes aún no tenía vegetación. Se esperaba que con más tiempo se seguiría cubriendo más área e incrementar la diversidad.

Plantación La Venta, Cuarto Periodo (Feb. - Jun., 1999)

Se presentan los resultados del censo de biodiversidad florística para este período en la Tabla 10. En esta tabla se presentan los datos correspondientes a las partes oeste y este del lote Mecoacán por separado, debido a que estos se sembraron en diferentes períodos y demuestran diferentes valores de sobrevivencia de mangle.

LOTE LA VENTA

En el lote La Venta se nota mayor biodiversidad que hace varios meses. *C. ferax* sigue dominando y *Paspalum virgatum* se mantiene en términos de frecuencia. La cobertura de *C. ferax* se ha decrementado un poco y *P. virgatum* se redujo mucho, probablemente debido a la sequía. Mientras, otras especies de *Cyperus* van ganando tierra y se presentan en aprox. 20 % de los cuadrículos del lote. Aunque la frecuencia de especies se

TABLA 10. Biodiversidad Florística en la Plantación La Venta (MAR. 1999)

especie	frecuencia*			% cobertura		
	lote La Venta	lote Mecoacán Oeste	lote Mecoacán Este	lote La Venta	lote Mecoacán Oeste	lote Mecoacán Este
<i>Cyperus ochraseos</i>	19.6%	20.0%	2.0%	1.1%	2.2%	0.3%
<i>Cyperus flexosus</i>	20.4	10.0	0	6.5	0.5	0
<i>Cyperus ferax</i>	33.2	32.6	10	9.9	3.2	<0.1
<i>Fimbristylis</i> sp.	0	12.6	3.0	0	0.8	0.3
<i>Paspalum virgatum</i>	10.8	8.0	6.0	1.0	1.3	0.7
<i>Ludwigia octovalis</i>	0.4	1.3	0	<0.1	<0.1	0
<i>Eupatolium albicaule</i>	1.2	0	0	0.1	0	0

* porcentaje de cuadrículos que tienen esta especie (excluye área del canal aceitoso que cruza los lotes)

LOTES MECOACÁN OESTE Y ESTE

En el lote Mecoacán - Oeste se observan resultados similares a lo del lote La Venta. Sigue incrementando la biodiversidad con *C. ferax* y *Papulum virgatum* como especies frecuentes. En comparación al censo anterior, se ha incrementado considerablemente estas especies en términos de frecuencia (de casi dos a tres veces). Actualmente la frecuencia de estas dos especies es prácticamente igual entre los lotes de La Venta y Mecoacán - Oeste, pero la cobertura de *C. ferax* es menor. Así como en el lote La Venta, se ha incrementado la frecuencia y cobertura de otras ciperáceas, también. Además, presenta una frecuencia relativamente alta de *Fimbristylis* sp. La cobertura en este lote fue aún menor que en el lote La Venta (aprox. 8 %). Se esperaba que incrementará con las lluvias.

La biodiversidad en el lote Mecoacán - Este fue la más baja de los tres lotes, con frecuencias muy bajas (de 1 - 6 % en vez de aprox. 10 - 20 % en los otros lotes). Además, la cobertura en este lote era solo aprox. 1.3 %. Es probable que algunos de los mismos factores que afectó la sobrevivencia de los árboles de mangle en este lote también ha afectado la recolonización con otras especies, tales como: inundación durante el período de siembra (causando anoxia en la zona de raíces y la mancha de hojas con aceite), altas temperaturas, etc.

Se debe de mencionar que también la ubicación de este lote podría tener relevancia con la biodiversidad, así como la sobrevivencia de las plantas de mangle sembrados. Se observa que la sobrevivencia, y la biodiversidad es mucho más bajo en el extremo oriente del lote La Venta, así como en el lote Mecoacán - Este, los dos más hacia adentro del derrame de aceite. Es muy probable que esta área del derrame experimenta temperaturas aún más elevadas que en el occidente del derrame (más cerca al bosque) y que esto impacta al establecimiento y la sobrevivencia de las plantas de mangle sembradas, como las especies vegetales secundarias.

FIGURA 26. Crecimiento de Especies Secundarias en la Plantación La Venta



Plantación La Venta, Quinto Período (Jul. - Sep., 1999)

En el quinto período del proyecto se realizaron dos censos de biodiversidad vegetal en esta plantación. Los datos del primer censo se presentan en la Tabla 11 y la Figura 27.

LOTE LA VENTA (JUL. 1999)

En comparación con los censos anteriores hubo cambios fuertes en la composición florística. La frecuencia de los del género *Cyperus* bajo considerablemente, mientras que se incrementaron la frecuencia de los pastos, como *Fimbristylis umbellata*. Es posible que esto es un cambio temporal que refleja los cambios estacionales de humedad en la región. Esto es de acuerdo con la reducción en cobertura para este censo que bajó en este lote de 18.6 % a 7.2 %, probablemente por las altas temperaturas (y resultante evaporación de humedad en el área) del verano.

LOTE MECOACÁN -OESTE (JUL. 1999)

En este lote se incrementaron el número de especies. Así como en el lote La Venta, se redujo la frecuencia de los Cyperaceae y se incrementaron los pastos significativamente. En términos de cobertura se dobló el área desde 8.0 % en marzo hasta 17.3 % en Julio. Esto se debe principalmente al incremento en la cobertura de uno de los pastos, *Paspalum virgatum*. Parece que a partir de este censo la diversidad y cobertura en este lote es similar al lote La Venta, que fue sembrado un poco antes.

LOTMECOACÁN - ESTE(JUL.1999)

En este lote se incrementó significativamente la frecuencia y cobertura de *Cyperus ochraseos* mientras que la frecuencia de los pastos no cambiaron mucho. Además se presentó un especie nueva para este lote, *Elocharis geniculata* De una manera similar al lote Mecoacán - Oeste, se incrementó mucho la cobertura, principalmente debido a la extensión del pasto *Paspalum virgatum*. Sigue siendo el lote con menor cobertura aunque se está incrementando el número de especies, probablemente debido a las condiciones más extremos hacia el centro del derrame de aceite.

TABLA 11. Biodiversidad Florística en la Plantación La Venta

especie	frecuencia*			% cobertura		
	lote La Venta	lote Mecoacán Oeste	lote Mecoacán Este	La Venta	Mecoacán Oeste	Mecoacán
<i>Cyperus ochraseos</i>	4.3 %	8.2 %	12.1 %	1.7 %	0.4 %	0.8 %
<i>Cyperus ferax</i>	3.6	8.8	3.6	1.9	1.4	0.2
<i>Eupatolium albicaule</i>	-	1.9	-	-	<0.1	-
<i>Portolaca oleracea</i>	-	1.3	-	-	0.2	-
<i>Andropogan bicarnis</i>	1.0	0.6	-	<0.1	<0.1	-
<i>Fimbristylis umbellata</i>	18.7	32.5	2.9	3.2	2.8	0.3
<i>Eleocharis geniculata</i>	-	11.3	1.4	-	1.3	<0.1
<i>Paspalum virgatum</i>	3.3	13.8	4.2	0.4	11.2	4.2

* porcentaje de cuadrículos que tienen este especie (excluye área del Canal aceitoso que cruza los lotes)

FIGURA 27. Biodiversidad en la Plantación La Venta (JUL. 1999)



SEGUNDO CENSO, QUINTO PERIODO (LA VENTA)

El segundo censo del quinto período de investigación se realizó en los finales del mes de septiembre (1999).

Los datos de este censo se presentan en la Tabla 12 y la Figura 28.

LOTE LA VENTA (SEP., 1999)

En comparación al censo de Julio (1999) se incrementó de nuevo la frecuencia de *Cyperus ochraseus* mientras que se mantuvo la frecuencia de los pastos *F. ubellata* y *P. virgatum*. La cobertura también se incrementó un poco. Durante este período también se incrementaron el número de especies para incluir *Portulaca oleracacea* y *Eleocharis geniculata*, pero se perdió la representación de *C. ferax*. Parece que está en vías de recuperación del período de sequía, y que se sigue diversificando. Es posible que con más lluvias también se incrementa la cobertura.

TABLA 12. Biodiversidad Florística la Plantación La Venta (SEP. 1999)

especie	frecuencia*			% cobertura		
	lote La Venta	lote Mecoacán Oeste	lote Mecoacán Este	La Venta	Mecoacán Oeste	Mecoacán
<i>Cyperus ochraseus</i>	13.8%	6.9%	6.1%	3.0%	0.9%	2.8%
<i>Cyperus ferax</i>	-	3.1	2.0	-	0.1	3.6
<i>Eupatolium albicaule</i>	-			-	-	-
<i>Portolaca oleracacea</i>	0.4			<0.1	-	-
<i>Andropogan bicamis</i>	0.7			0.2	-	-
<i>Fimbristylis umbellata</i>	18.9	10.6	3.4	5.1	2.2	1.3
<i>Eleocharis geniculata</i>	0.4	5.0	1.7	0.1	1.5	0.4
<i>Paspalum virgatum</i>	2.9	1.3	3.4	1.0	0.7	0.3

* porcentaje de cuadrículos que tienen esta especie (excluye área del canal aceitoso que cruza los lotes)

LOTE MECOACÁN - OESTE (SEP., 1999)

En este lote parece que se bajó el número y frecuencia de especies, sobre todo con respecto a los pastos *F. umbellata*, *P. virgatum*, y *Andropogan bicamis*, posiblemente debido a un encharcamiento que se extendió en el medio del lote. Además de las especies antes mencionadas, desaparecieron *Eupatolium albicaule* y *Portolaca oleraceae*. Se bajó la cobertura considerablemente, principalmente debido a una reducción en la extensión del pasto *P. virgatum*. Es posible que estos datos no son el su totalidad reales; el aspecto muy blanda de la costra aceitosa, en combinación con este encharcamiento, no permitió obtener datos de una parte del lote. Este mismo encharcamiento ha permitido el establecimiento de varios ejemplares vegetales que no se presentan en los datos, entre ellos se observó por lo menos un ejemplar de mangle blanco que germinó de semilla en las orillas del charco en las últimas semanas. Es importante seguir observando esta área para determinar si estas plantas logran superar los períodos de inundación intensas que estamos experimentando actualmente (Octubre, 1999) y el período de sequía del próximo año.

LOTE MECOACÁN - ESTE (SEP., 1999)

En este lote se bajó la frecuencia de *Cyperus ochraseus* y *Cyperus ferax* pero no cambiaron mucho las frecuencias de las demás especies. Aunque la frecuencia de los *Cyperus* spp. fue aprox. de la mitad, se triplicó la cobertura de *C. ochraseus* y se incrementó 18 veces la cobertura de *C. ferax*, las plantas sobrevivientes extendiéndose. De igual manera que en el lote Mecoacán - Oeste, se bajó mucho la cobertura del pasto *P. virgatum*, más de diez veces. La diversidad no ha cambiado considerablemente, pero la cobertura está a su máximo hasta la fecha, aunque todavía no excede 10%.

Es probable que este lote tardará mucho tiempo en recuperar una cobertura apreciable (sin que sea inducida por un método más agresivo) debido a los extremos de temperatura que se experimenta en esta ubicación más hacia adentro del derrame. Un posible método para mejorar la recuperación de esta área podría incluir la ruptura y revolteo de la costra aceitosa, para que las plantas tengan mayor acceso al suelo abajo de la costra, seguido por el adicionamiento de materiales orgánicos encima del suelo actual, para reducir la temperatura e incrementar la capacidad de campo y nutrición del suelo.

FIGURA 28. Biodiversidad en la Plantación La Venta (SEP. 1999)



Evaluación de Diversidad Florística - (continuado)

Plantación Sánchez Magallanes, Cuarto Período (Feb. - Jun., 1999)

Se presentan los resultados del censo de biodiversidad en Sánchez Magallanes en la Tabla 13. Se encontraron varias especies secundarias en la plantación con una frecuencia variable por sección pero con algunas especies más frecuentes, entre ellos, *C.ferax* y *Eupatolium sp.* Otra especie algo frecuente fue *C. ochraseus*, sobre todo en las secciones de la plantación un poco más elevadas (y menos húmedas - N1 y N2) y más lejos de la presa de desechos. La frecuencia de especies fue más bajo en la sección de C - CHARCO, posiblemente debido a la inundación de esta sección y/o el aspecto más fluido del aceite. A diferencia, se encontraron una frecuencia de especies relativamente alta en la sección S1 - PRESA, en donde el aceite fue más intemperizado y había menos humedad. Parece que la resequedad no fue un factor muy importante para las especies secundarias (en su mayoría ciperaceas) en esta plantación que mostraron resistencia a este factor ambiental. Otra especie también presente fue el pasto *Paspalum virgatum*, que tuvo una frecuencia relativamente alta pero se encontró en una sola sección. Aún con frecuencias de aprox. 2 -13 %, la cobertura fue muy baja, siendo menos de 1 % en todas las secciones.

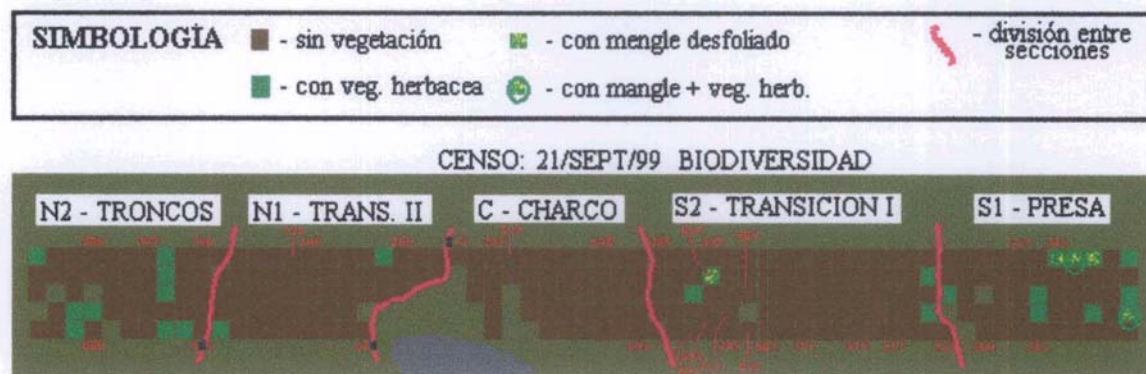
Plantación Sánchez Magallanes, Quinto Período (Jul. - Sep., 1999)

En este periodo se realizaron dos censos de biodiversidad en esta plantación. Los datos del primer censo indican que *Cyperus ochraseus* sigue siendo la especie secundaria dominante. Aunque se bajó su frecuencia un poco, sobre todo en la sección N1 - TRANS. II, su cobertura no había cambiado mucho. Se eliminó la presencia de *Cyperus ferax*, siendo reemplazado por el pasto *Fimbristylis umbellata*. De igual manera Se eliminó el pasto *Paspalum virgatum* pero apareció una especie nueva para esta plantación, *Portulaca oleraceae*. Las frecuencias siguen siendo muy bajo no excediendo 2 % en ninguna sección.

(continuado en la página siguiente)

Los resultados del último censo fueron similar al censo anterior. La mayor frecuencia se encuentra en la sección un poco menos impactado, la sección N2 - TRONCOS, mientras que hubo mayor diversidad en la primera sección, la S1 - PRESA. Sigue muy bajo la cobertura, todavía menos de 2 % en todas las sección. Parece que para promover más la recuperación de este área sería necesaria de agregar tierra nueva (preferiblemente orgánica) de otra área, lo que daría a las especies vegetales mayor captación de humedad, como nutrición.

**FIGURA 29. Biodiversidad en la Plantación
Sánchez Magallanes (SEP., 1999)**



(continuado en la página siguiente)

TABLA 13. Biodiversidad Florística en la Plantación Campo Sánchez Magallanes (MAR., 1999)

especie	frecuencia*					% cobertura				
	S1 PRESA	S2 TRANS I	C CHARCO	N1 TRANSII	N2 TRONCOS	S1 PRESA	S2 TRANS I	C CHARCO	N1 TRANSII	N2 TRONCOS
<i>Cyperus ochraseus</i>	3.9%	3.8%	2.2%	13.2%	21.3%	<0.1%	0.1%	<0.1%	0.4%	0.6%
<i>Cyperus sp.(a)</i>	3.9	1.3			-	0.1	0.1	-		
<i>Cyperusferax</i>	11.8	8.9	2.2	13.2	6.4	0.6	0.4	0.1	0.2	0.1
<i>Cyperus sp.(b)</i>	-	2.5					0.1	-	-	
<i>Paspalum virgatum</i>				7.5					0.1	0
<i>Eupatolium sp.</i>	13.7	6.3		7.5	10.6	0.2	<0.1		<0.1	0.1
<i>Ludwigia octovalis</i>	2.0					<0.1			-	-
<i>L. racemosa</i> (germinación)	2.0	-		1.9		<0.1			<0.1	

* porcentaje de cuadrículos que tienen esta especie (excluye áreas no sembradas)

TABLA 14. Biodiversidad Florística en la Plantación Campo Sánchez Magallanes (SEP., 1999)

especie	frecuencia*					% cobertura				
	S1 PRESA	S2 TRANS I	C CHARCO	N1 TRANS II	N2 TRONCOS	S1 PRESA	S2 TRANS I	C CHARCO	N1 TRANS II	N2 TRONCOS
<i>Cyperus ochraseos</i>	2.0%	1.4%	0 %	1.9%	14.9%	<0.1	<0.1 %	0 %	<0.1 %	0.6 %
<i>Cyperus odoratus</i>	3.9				4.3	0.7				<0.1
<i>Frimbristylis ubellata</i>	7.4	1.4				0.9	0.3			
<i>Eleocharis geniculata</i>		1.4			-		<0.1			
<i>Eupatolium albicaule</i>	5.9			1.9	4.3	<0.1			<0.1	<0.1
<i>Portulaca oleracacea</i>	3.9					0.1				

* porcentaje de cuadruculos que tienen este especie (excluye áreas no sembradas)

Observaciones sobre Procesos de Recuperación Natural

Durante la selección de sitios, su preparación para siembra y trabajo durante la siembra y evaluaciones, se observaron varios mecanismos que aparentemente son responsables para el proceso de recuperación natural parcial del sitio La Venta. Durante los primeros meses de trabajo se observó una nata de algas encima de la costra aceitosa, que después se secó completamente. Parece que el crecimiento anual de estas algas son importantes en la acumulación de materia orgánica (fuente de nutrientes, mejor retención de agua) encima de la costra. En algunas áreas en donde había más humedad también encontramos muchas plantas muy pequeñas (altura de aprox. 5 cm) de mangle blanco (Ver Figura 30A, B, y C). Durante los próximos meses estas murieron con la sequía y la falta de humedad encima de la costra aceitosa.

Cerca del bosque de manglar adyacente al sitio se observó una serie de fisuras en la costra aceitosa, probablemente provocadas por los cambios en humedad, salinidad y temperatura en el sitio. En esta fisura observamos pastizales, ciperáceas y ejemplares pequeños de mangle blanco (Ver Figura 30D).

Además de estas, notamos que en el bosque adyacente del sitio ya había empezado el proceso de enterramiento de sedimentos contaminados y los sedimentos superficiales eran menos contaminados. También encontramos en los primeros horizontes agregaciones que parecen ser partículas de hidrocarburos muy intemperizados y sin olor a hidrocarburos. Aparentemente, los procesos de oxidación química en combinación con la biodegradación por microorganismos y enzimas vegetales ha convertido una fracción de los hidrocarburos a una forma prácticamente inerte.

Estas observaciones indican que actualmente la recolonización del área está limitada más por falta de acceso a la humedad abajo de la costra aceitosa y excesos de temperatura y no tanto por la toxicidad de los hidrocarburos en el sitio.

CONCLUSIONES GENERALES Y RECOMENDACIONES

En áreas pantanosas con derrames de petróleo crudo y diesel, que tienen más de dos años, la toxicidad no parece ser un factor importante en la sobrevivencia de la vegetación. Típicamente, la toxicidad está similar a la causada por sustancias naturales inherentes de los suelos orgánicos presentes en estos tipos de ecosistemas.

Con respecto a la sobrevivencia del mangle blanco, *Laguncularia racemosa*, en proyectos de fitorremediación, el tipo, concentración y presentación de hidrocarburos en el área del derrame son los factores sumamente importantes debido a las características físicas del aceite. Si las concentraciones de hidrocarburos son muy altas (mayor que 40 %) y alcanza una profundidad de aprox. 30 cm o más, se reduce significativamente la sobrevivencia (< 10 %), menos que el sitio sea suficientemente bajo y pantanoso para recibir bastante humedad durante todo el año. Si tiene suficiente humedad durante todo el año, la sobrevivencia parece ser dependiente del grado de intemperización del aceite en el derrame. El aceite poco intemperizado y aún muy fluido, parece cubrir los raíces e interferir con los procesos naturales de ellos (intercambio de gases, absorción de humedad y nutrientes). Si es muy intemperizado, se presenta en forma demasiado duro y también impide el desarrollo de los raíces y la sobrevivencia de las plantas. Parece que el óptimo grado de intemperización es cuando alrededor de 12 - 20 % de los hidrocarburos totales de petróleo son poco intemperizados y extraíbles por metanol.

En condiciones en donde se presenta la contaminación por hidrocarburos principalmente como una costra de aceite de relativamente poca profundidad (10 - 15 cm), estos factores de intemperización son menos importantes, la zona de raíces extendiéndose abajo del horizonte extremadamente contaminado. En estas condiciones (costra de aceite encima de suelo contaminado a aprox. ≤ 20 % aceite), la costra misma puede presentar otros problemas físicos para el desarrollo de la vegetación; esto siendo principalmente la captación de energía solar y calentamiento de la zona de raíces. Parece ser particularmente problemático cuando la temperatura excede $\approx 42^\circ$ C. Se podría superar este problema aplicando turba, paja o desechos orgánicos (como la bagasa de caña, aserrín, etc.) encima de la costra de aceite en el área en donde se pretende recuperar por fitorremediación.

Con respecto a la colecta y siembra de plantas es recomendable buscar plantas más gruesas (preferible con tallos iguales o mayores a ~~40~~ 10 cm) y menos altos (con alturas de menos de ≈ 50 cm), y con tallos no muy débiles o flexibles. [En este trabajo el diámetro de las plantas era directamente proporcional a la sobrevivencia, ($r^2 = 0.989$).] Este fisiotipo parece ser más resistente a extremos de sequía, calor, salinidad e inundación. Típicamente, se presentan estos tipos de plantas sobre caminos, bordos, u otras áreas un poco más elevadas entre el paisaje en donde se encuentran manglares. Es recomendable coleccionar plantas con su pilón de suelo entero e intacto, transportarlas en vehículos cubiertos y sembrarlos de inmediato. Si es posible, también es recomendable incluir un poco de suelo orgánico en el hoyo en donde se siembra cada planta.

Referente a la aplicabilidad de especies herbáceas, hay varias, sobre todo del género *Cyperus*, así como varios pastos, (entre ellos *Fimbristylis umbellata* y *Paspalum virgatum*), que son muy prometedores para la recuperación de áreas contaminadas por hidrocarburos. Parecen ser relativamente resistentes a las condiciones extremas que se presentan en derrames, y los pastos tienen mucha capacidad de cobertura de áreas. Aunque estas especies no tienen un valor económico, podrían incorporarse como especies secundarias en proyectos de restauración.

Es importante mencionar que una restauración solo utilizando las especies herbáceas encontradas no tendría gran apoyo por las comunidades (humanas) en donde se encuentran las grandes extensiones de derrames de aceite, precisamente debido a que no tienen mucho valor económico. Por tal razón, es más recomendable buscar la incorporación de otras especies con valor económico, junto con las especies herbáceas.

Referente a especies para sembrar, parece que el mangle negro, (*Avicenna germinans*), es más resistente a los extremos que se presentan en áreas de derrames que el mangle blanco (*Laguncularia racemosa*), pero los resultados que salieron de este trabajo eran fortuitos y muy preliminares. Será importante de probar este especie en investigaciones futuras, debido a que no solo parece tener resistencia a condiciones adversas, pero tiene potencial para la silvicultura (aún con un período de cultivo mucho más largo).

Para el éxito de este tipo de proyecto de restauración (con mangle negro y especies herbáceas) sería

sumamente importante la conciencitización de las comunidades en donde se contempla establecer, así como apoyos técnicos (para el manejo de las plantaciones) y bancarios (debido a que es un cultivo de muy largo plazo). Para esto sería necesaria involucrar las comunidades, gobierno local, uniones agrícolas, y otras instituciones del gobierno, como la Semarnap, para el apoyo técnico y económico.



Censo en la Plantación Sánchez Magallanes, Enero '99. Período con bastante humedad en el suelo, y tazas altas de sobrevivencia.

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

Adams S., R. A. y Ramírez A., J. 1999. Optimización del Método EPA 9074 como Alternativa para Análisis de Hidrocarburos Totales de Petróleo. VI Congreso Interamericano Sobre el Medio Ambiente. ITESM/Red Interamericano para la Calidad Ambiental. Sep. - Oct. Monterrey, N.L.

Adams S., R. H., Vinalay C., L., y Domínguez R., V. I., 1996. Diagnóstico Ambiental en Localizaciones de Pozos Petroleros Pertenecientes al Complejo de Producción Ingeniero Miguel Ángel Zenteno Basurto Ubicados en la Cuenca del Río González y la Zona Lacustre Julivá - Santa Anita. Reporte no publicado, convenio PEMEX - UJAT. Villahermosa, Tabasco.

Anderson, T. A. U Coats, J. R. (Eds.). 1994. *Bioremediation through Rhizosphere Technology*. American Chemical Society, Washington, D.C.

Atlas, R. M.; y Bartha R. 1987. *Microbial ecology, fundamentals and applications* (2d Ed). The Benjamin/Cummins Publishing Company, Inc. Menlo Park, California.

Barth H., y Lieth, H. 1982. Applicability of Mangroves for the Development of Ecologically Based Mariculture Systems in Subtropical and Tropical Coastal Deserts. *Studies on Aquatic Vascular Plants*. Symoens, J. J., Hooper, S. S., y Compere, P. (Eds.) Sociedad Botánica Real de Belgia, Bruselas. pp. 235 - 239.

Beltrán J. E. 1993. Los impactos del petróleo. *En: Tabasco: Realidad y perspectivas*. Gobierno del Estado de Tabasco. Villahermosa.

Carman, E. P. 1997. Using phytoremediation to address fuel oil contaminated soil at an active industrial facility - a low cost, non-invasive, in-situ alternative. *International Business Communications Second Annual Conference on Phytoremediation*. Seattle, Washington, 18-19 Junio.

Cuanalo de la C., H. 1990. *Manual para la Descripción de Perfiles de Suelo en el Campo*. Colegio de Posgraduados. Chapingo, México.

Chávez M. L. 1996. Comunicación personal sobre proyectos de fitorremediación de sitios petroleros en Costa Rica. Refinación Costarricense de Petróleo, San José, Costa Rica.

Clark, J. R. 1996. *Coastal Zone Management Handbook*. Lewis Publishers, Boca Raton, Florida.

- Dexsil Corp. 1998. PetroFLAG Hydrocarbon User's Manual. Hamden, Connecticut, EE.UU.
- Drake, E. N. 1997a. Phytoremediation of aged petroleum hydrocarbons in soil. International Business Communications Second Annual Conference on Phytoremediation. Seattle, Washington, 18-19 Junio.
- Duke, N.C.; Pinzón M., Z. S.; y Prada T., M. C. 1997. Large-scale damage to mangrove forest following two large oil spills in Panama. *Biotropica* 29 (1):2-14
- FAO/UNESCO. 1989. Carta Mondiale des Sols Legende Reviseé. Rapport sur les Resources en Sols de Monde. No. 60. FAO. Roma, Italia
- Glooshenko, W. 1996. Ecología de humedales. *En: Manejo de Ecosistemas Tropicales*. Castillo A., O. (ed.). Antología para el Diplomado de Manejo de Ecosistemas Tropicales. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Villahermosa. Tabasco.
- Grey, N. 1994. Comunicación personal sobre experimentos y el empleo de pastizales nativos para la recuperación de tierras impactadas por hidrocarburos de petróleo en las praderas de Canada. ICI - Zeneca, Ltd. Toronto, Ontario, Canada
- INEGI. 1987. Fotografía aérea. Abr.87. Esc.1:75,000. D.F. 15-1,78 L-210 E15-1,4 No. 004
- Jackson, L. 1997. Why choose phytoremediation - Looking through the eyes of the customer. International Business Communications Second Annual Conference on Phytoremediation. Seattle, Washington, 18-19 Junio.
- Kanga L., K. 1998. Evaluación de Técnicas para el Manejo de Humedad en Celdas de Biorremediación para la Restauración de Sitios Irnpactados por Hidrocarburos en el Sureste de México. Tesis de Lic. en Ecol., Universidad Juárez Autónoma de Tabasco
- Lewis, R. R. 1990. Creation and Restoration of Coastal Wetlands in Florida. *En: Wetland Creation and Restoration, the Status of the Science*. Kusler, J. A. Y Kentula, M. E. (Eds.). Island Press, Washington, D.C.
- Lewis, R. R. 1990a. Creation and Restoration of Coastal Wetlands in Puerto Rico and the U.S. Virgin Islands. *En: Wetland Creation and Restoration, the Status of the Science*. Kusler, J. A. Y Kentula, M. E. (Eds.). Island Press, Washington, D.C.

Lugo, A. E., y Snedeker, S. C. 1974. The Ecology of Mangroves. Annual Review of Ecology and Systematics, Vol. 5.

Mitsch, W. J., y Gosselink, J. G. 1986. *Wetlands*. Van Nostrand Reinhold, Nueva York.

Pérez, J. 1998. Comunicación personal. Pemex - Seguridad Industrial y Protección Ambiental, Pemex, Activo 5 Presidentes.

Ricalde Z., S. y Adams S., R. 1999. Evaluación de Toxicidad por Impactos de Hidrocarburos en Zonas Representativas del Occidente de Tabasco. Revista de Divul. de la Div. Acad. de C. Biol., Univ. Juárez Autónoma, Tabasco, Villahermosa. En prep.

Rodríguez F., A. 1996. Comunicación personal sobre experimentos actuales usando pastizales y arbustos semiáridos para la fitorremediación de hidrocarburos de petróleo en Texas. Texas A & M University, Corpus Christi.

Rodríguez F. A. 1996a. Diseño y Evaluación de los Métodos Físicos y de Biorremediación Aplicables a las Áreas Afectadas por las Actividades de Exploración y Producción Petrolera en los Campos Sánchez Magallanes, Cinco Presidentes, San Ramón, Ogarrio, y La Venta en el Distrito de Agua Dulce, Región Sur. Reporte no publicado. PEMEX - A. Rodríguez - UJAT. Diciembre

Rützler, K., y Feller, I. C. 1996. Cambian Mangrove Swamps. Scientific American, Marzo.

Van Fleet, E. 1994. Tampa Bay Spill: Tracking the fate of Oil. Memorias de: Gulf of México and Caribbean Oil Spills in Coastal Ecosystems: Assessing Effects, Natural Recovery, and Progress in Remediation Research. Julio, Nueva Orleans, Louisiana.

Zavala C., J. 1990. Carta, Esc. 1:75,000. Regionalización Natural e Impacto Petrolero en el Activo Agua Dulce, Tabasco. Colegio de Posgraduados. Cárdenas, Tabasco.

Zavala C., J. 1993. Procesos de Degradación de Suelos y Vegetación por la Industria Petrolera en la Planicie Deltaica de Tabasco. Curso Taller en Conservación de Recursos Naturales y Desarrollo Sustentable. Secretaría de Desarrollo Social/Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo/Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Noviembre. Villahermosa, Tabasco.

Zavala, C. J. 1996. Impacto de las Actividades Petroleras sobre la Hidrología Superficial del Activo de Agua Dulce, Tabasco, México. En: Botello, A. V. et. al. (Eds.) Golfo de México, Contaminación e Impacto Ambiental: Diagnóstico y Tendencias. Universidad Autónoma de Campeche. EPOMEX Serie Científica, 5.

Zuidan, R. A. 1985. Aerial Photo-Interpretation in Terrain Analysis and Geomorphological Mapping. ITC, Netherands.