

CARACTERIZACIÓN DE LAS COMUNIDADES VEGETALES EN UN ÁREA AFECTADA POR DERRAMES DE HIDROCARBUROS

Characterization of Plant Communities in an Area Affected by Hydrocarbon Spill

Eustolia García-López^{1†}, Joel Zavala-Cruz¹ y David J. Palma-López¹

RESUMEN

El desarrollo de la industria petrolera en el sureste de México ha generado contaminación en su entorno, ocasionada por derrames que afectan a varios componentes de los ecosistemas donde se localiza su infraestructura. En la actualidad, se desarrollan métodos para valorar la calidad botánica de los ambientes contaminados, tanto específicos como del ecosistema, por lo que el objetivo de este trabajo fue caracterizar las comunidades vegetales en estructura, composición florística, tipos de suelo y vegetación, en un área afectada por derrames de petróleo, con especial atención a las especies localizadas sobre éstos. El estudio se realizó en la zona de influencia de los campos petroleros Cinco Presidentes, Rodador y La Venta, Tabasco (México). A partir de cartografía, se efectuó un inventario de derrames, calculándose la superficie ocupada por tipo de suelo y vegetación. Se analizó la contaminación por hidrocarburos y metales pesados en suelos, y su grado de afectación en 18 zonas en que se dividió al área. Las plantas localizadas en las áreas de derrames se colectaron y se identificaron. Se describen seis comunidades vegetales; las hidrófitas ocupan la mayor superficie. Se localizaron 52 derrames de petróleo, la mayoría sobre Histosoles y manglar. Las zonas más contaminadas se encontraron en el núcleo del campo La Venta y la mayor parte de la superficie estudiada (75%) registra contaminación ligera a moderada. Se identificaron 33 especies de plantas herbáceas que se comportan como pioneras en las zonas afectadas, pero, en muchos casos, el "bledo" (*Amaranthus hybridus*) y la "yerba aguada" (*Pluchea purpurascens*) cubrieron casi completamente las áreas con derrames de uno a dos años. Las familias mejor representadas fueron Poaceae, Cyperaceae y Fabaceae.

¹ Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco. Periférico Carlos A. Molina s/n, Apartado Postal 24, H. Cárdenas, Tabasco, México.

[†] Autor responsable (rogarlopez@colpos.mx)

Palabras clave: vegetación, derrames de petróleo, hidrófitas, manglar.

SUMMARY

The petroleum industry development in the Mexican southeast has caused pollution of its environment due to oil spills, which affect several components of the ecosystems where its infrastructure is located. At present, methods to evaluate the botanic quality of polluted areas are being developed in a specific level or considering the whole ecosystem. The objective of this study was to characterize, in its structure, floristic composition, soil, and vegetation types, the plant communities in an oil spill affected area, especially the species located on the spills. The study was conducted in the influence zone of the oil fields Cinco Presidentes, Rodador, and La Venta, Tabasco (Mexico). Based on cartographic information, a petroleum spills inventory was elaborated and the area occupied measured for each soil and vegetation type. Hydrocarbons, heavy metals, and its affectation degree were analyzed in the 18 zones into which the area was divided. Plants located in the spill zones were collected and identified. Six plant communities are described; hydrophilic communities were the best distributed. Most of the 52 oil spills were located on Histosols and mangrove. The most contaminated zones were located in the nucleus of La Venta field; most of the studied area (75%) registered light to moderate pollution. Thirty-three plant species were identified as pioneers in the affected zones, but in many cases "bledo" (*Amaranthus hybridus*) and "yerba aguada" (*Pluchea purpurascens*) were observed covering, almost completely, areas with one- to two-year spills. The best-represented plant families were Poaceae, Cyperaceae, and Fabaceae.

Index words: vegetation, oil spills, hydrophytes, mangrove.

INTRODUCCIÓN

En México, la industria petrolera ha incrementado considerablemente su infraestructura en las últimas tres décadas; en Tabasco, el estado con mayor producción de petróleo en tierra y el segundo a nivel nacional, ha generado impactos al ambiente que se relacionan con derrames de petróleo, contaminación de cuerpos de agua y comunidades vegetales (Zavala, 1996; Zavala *et al.*, 2003). El efecto tóxico de los hidrocarburos depende de cantidad y estado del aceite, tiempo de exposición, factores ambientales y sensibilidad de los organismos del ecosistema impactado. Ante un derrame de petróleo, las plantas manifiestan daños iniciales como muerte del follaje y tejidos, aunque algunas especies se regeneran a través de tejidos meristemáticos; en general, la comunidad vegetal responde a la contaminación con un cambio en la composición de especies. En el caso de los ecosistemas de humedales, algunas especies sufren daño foliar al entrar en contacto con el aceite, mientras que otras permanecen relativamente exuberantes y vigorosas (Freedman, 1989; Mills *et al.*, 2003).

En un estudio realizado en una comunidad de manglar con introducción permanente de hidrocarburos en Tabasco, los efectos se manifestaron en pérdida de vigor del ecosistema, haciéndolo más vulnerable al ataque de insectos y enfermedades; individualmente, las plantas respondieron mediante daños visibles, como clorosis, necrosis e incluso la muerte (Toledo, 1988). Ante esto, en la actualidad se desarrollan métodos para valorar la calidad botánica del medio, tanto específico (valoración ecológica y de grado de amenaza), como de grupos (briofitas) o comunidades (comunidades y ecosistemas) (Ederra, 1997).

El objetivo de este trabajo fue caracterizar las comunidades vegetales en un área afectada por derrames de petróleo, en su estructura y composición florística y su relación edáfica, con la finalidad de contar con un inventario de plantas potencialmente útiles en la fitorremediación de suelos contaminados con petróleo.

MATERIALES Y MÉTODOS

El área de estudio se localiza entre 18° 06' 21" y 18° 16' 00" N y 93° 55' 33" y 94° 08' 07" O, abarca 22 432 ha, se localiza en la planicie de inundación

del río Tonalá, en el límite oeste de Tabasco, incluye parte de los municipios de Cárdenas y Huimanguillo, las poblaciones más importantes son La Venta y Benito Juárez; corresponde a la zona de influencia de los campos petroleros Cinco Presidentes, Rodador y La Venta Norte, donde se localizan 437 pozos, siete baterías de separación, tres estaciones de compresoras y una planta de inyección de agua, además de una densa red de oleoductos y terracerías; su vegetación natural está compuesta por palmar, matorral y selva baja inundables, manglar e hidrófitas, cuenta, además, con áreas de pastos tolerantes a la humedad, cultivos múltiples y perennes (plantaciones de coco). Los suelos están representados por las unidades: Arenosol, Histosol, Gleysol, Solonchak, Alisol y Antrosol (Palma-López *et al.*, 1999).

A partir de fotomapas, escala 1:20 000, (INEGI, 1984a) y fotografías aéreas, escala 1:75 000, (INEGI, 1984b; 1995) se obtuvieron los mapas provisionales. El de suelos se complementó con la descripción de 37 perfiles (Cuanalo, 1981), el análisis físico y químico de 136 muestras y las clasificaciones de taxonomía (FAO, 1989) y de capacidad de uso (IMTA, 1989), verificándose en campo con 70 barrenaciones (de 1.20 a 2 m de profundidad); el de vegetación se corrigió mediante datos de campo (altura, estructura y composición florística) y colecta (junio de 1997 a enero de 1999) de 700 ejemplares de plantas que crecieron sobre derrames de petróleo y zonas aledañas, que se deshidrataron, se herborizaron (Lot y Chiang, 1986), se identificaron mediante claves y descripciones (Standley *et al.*, 1947; Pennington y Sarukhan, 1968; Gómez-Pompa, 1979-1998; Rzedowski y Rzedowski, 1979, 1985, 1990; Lot-Helguera, 1991; Rzedowski y Rzedowski, 1991-1999; Magaña-Alejandro, 1992) y se depositaron en el Herbario CSAT del Colegio de Postgraduados. La descripción de la vegetación se basa en las clasificaciones de Rzedowski (1978), López-Hernández (1980) y Lot-Helguera (1991).

Para el análisis de hidrocarburos y metales pesados se tomaron muestras compuestas (ocho submuestras) del horizonte A en suelos minerales y del horizonte fibrico en orgánicos, en ocho transectos (32 sitios), considerando: a) homogeneidad de factores naturales y b) presencia de derrames e instalaciones petroleras; además, se colectaron 10 muestras en suelos sin contaminación aparente. Los hidrocarburos aromáticos y alifáticos se determinaron por cromatografía de gases EPA 8270, y

los metales pesados (Zn, Cd, Pb, Ni y Va) con espectrofotometría de absorción atómica (Palma-López *et al.*, 1999).

Los criterios para hidrocarburos fueron: para totales (HT) 70 mg kg⁻¹ límite máximo en suelos de zonas costeras no contaminadas (Vázquez-Botello, 1996); para alifáticos (HAL) se definieron cuatro categorías de contaminación: a) normal < 0.9 mg kg⁻¹, b) ligera 1 a 99, c) moderada 100 a 499 y d) muy alta > 500 mg kg⁻¹; ante la falta de normas para aromáticos polinucleares (HAP) en suelos tropicales, y con base en MENVIQ (1993) y Doelman (1994) se definieron cuatro grados: a) nula < 0.9 mg kg⁻¹, b) ligera 1 a 20; c) moderada 21 a 200; d) alta > 200 mg kg⁻¹. Para metales pesados se consideraron las siguientes concentraciones críticas en suelos: Ni 100 a 200 mg kg⁻¹ (Kabata-Pendias y Pendias, 1984; Doelman, 1994); Zn 70 a 400 mg kg⁻¹ (Alloway, 1990); para V se definieron los siguientes grados de contaminación con base en los criterios de Alloway (1990) y McBride (1995): a) normal < 50 mg kg⁻¹, b) ligera 50-99, c) moderada 100-294 y d) alta > 295 mg kg⁻¹.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Suelos

De los suelos del área, 57.5% tienen vocación para la protección y reproducción de flora y fauna silvestre y 36.7% para el uso pecuario (con pastos tolerantes a la humedad, acidez y baja fertilidad) y agrícola, en condiciones de manejo adecuado. Se identificaron seis unidades y 15 subunidades de suelo (Figura 1). Los Histosoles abarcan 55.3% del área, son suelos orgánicos, ricos en nutrientes, con baja densidad aparente, alta retención de humedad, manto freático elevado, inundación casi todo el año y acidez; en áreas de contacto con los Solonchaks presentan salinidad y sodicidad; se ubican en la séptima clase de uso, es decir, sólo sirven para la actividad forestal y de reserva de vida silvestre; se clasificaron las subunidades H. fibrico (HSf), H. térrico (HSs), H. sodi-térrico (HSsn) y H. fibri-térrico (HSsf). Los Gleysoles (7.2% del área) tienen horizonte hístico o mólico y presentan inundaciones frecuentes y manto freático elevado; son suelos de quinta a séptima clase de uso, es decir, tienen vocación forestal, de reserva de vida silvestre y cultivo de pastos; se localizaron las subunidades G. verti-eútrico (GLEv), G. mólico (GLm) y G. úmbrico (GLu). El Solonchak gléyico (SCg) (2.2%) es un suelo de

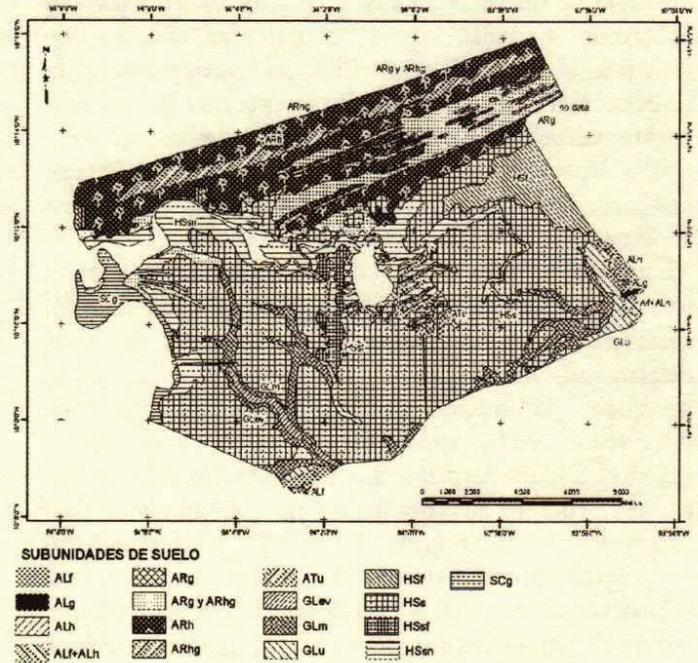


Figura 1. Subunidades de suelo.

séptima clase, salino y sódico, con inundaciones frecuentes y manto freático elevado; sólo apto para la actividad forestal y de protección de vida silvestre. Los Arenosoles (27.5%) tienen textura arenosa, encharcamiento ocasional (A. gléyico), baja fertilidad y manto freático elevado, se ubican como suelos de tercera a quinta clase; se identificaron las subunidades A. háplico (ARh), A. gleyi-háplico (ARhg) y A. gléyico (ARg). Los Alisoles (1.1%) son suelos arenosos sobre francos, ácidos y de colores rojos, presentan alto riesgo de erosión, pendiente moderada y baja fertilidad; son de tercera clase, es decir, tienen mediana capacidad de uso agrícola; se localizaron las subunidades A. háplico (ARh), A. gleyi-háplico (ARhg) y A. gléyico (ARg). El Antrosol úrbico (ATu) (0.9%), resultado de relleno, excavación y construcción de basureros y bordos, presenta manto freático elevado en época de lluvias, inundaciones temporales y riesgo alto de erosión. Su potencial agrícola (tercera clase) se reduce por la remoción de materiales y la pérdida del horizonte A.

Vegetación

Dadas las limitaciones de los suelos para su uso agrícola y ganadero, 58.8% (13 180 ha) de la superficie estudiada presenta vegetación nativa; las comunidades mejor representadas, hidrófitas,

matorral inundable y manglar (Figura 2), se localizan en áreas inundadas la mayor parte del año, lo que dificulta su acceso y facilita su conservación; la riqueza florística ascendió a 434 especies (306 nativas o naturalizadas), 318 géneros y 110 familias; los *taxa* más diversificados son las familias Fabaceae (49 especies), Poaceae (32), y Cyperaceae (27), y los géneros *Cyperus* (10 especies) y *Citrus* (6).

Manglar. Es típico de desembocaduras de ríos y márgenes de lagunas con influencia de agua marina; cambios fuertes de salinidad y el nivel de agua determinan una baja diversidad florística y la presencia de raíces zancas y neumatóforos, que intervienen en la respiración y en el sostén de las plantas. Su altura promedio varía de 15 a 20 m, su estrato arbóreo está dominado por los mangles rojo (*Rhizophora mangle*), blanco (*Laguncularia racemosa*), prieto (*Avicennia germinans*), botoncillo (*Conocarpus erectus*) y palma tasiste (*Acoelorrhapha wrightii*); en el estrato herbáceo abundan helechos (*Acrostichum aureum* y *A. danaefolium*), pasto pajón (*Fimbristylis spadicea*), lirio (*Hymenocallis litoralis*), saladilla (*Batis maritima*), *Cyperus articulatus* y *Sesuvium portulacastrum*, además de epifitas

(orquídeas y bromelias) y lianas. Ocupa 2306 ha (10.3%) sobre Solonchak e Histosol.

Selva baja inundable. Es la comunidad con mayor diversidad florística, su altura promedio no rebasa 15 m, su especie dominante es el apompo (*Pachira aquatica*), por lo que también se conoce como "apompal". En el estrato arbóreo se localizan, además, *Pithecellobium lanceolatum*, *Alibertia edulis*, *Lonchocarpus guatemalensis*, *Hamelia patens*, *Andira inermis*, *Ficus padifolia*, *Randia aculeata*, anonillo (*Annona glabra*) y estribo (*Dalbergia brownii*); y en el estrato herbáceo helechos como guanillo (*Blechnum serrulatum*) y *Thelypteris interrupta*, pasto pelillo (*Leersia hexandra*), *Begonia fischeri*, *Scleria microcarpa* y *S. macrophylla*. Además, existe una gran diversidad de epifitas y lianas (orquídeas, bromelias y aráceas). Ocupa 1654 ha (7.4%) sobre Histosol y Gleysol.

Matorral espinoso e inerme inundable. Se desarrolla en sitios que originalmente fueron selva baja y fueron modificados por la actividad humana (talas y quemas); se compone de una amplia diversidad de especies que rara vez superan 5 m.

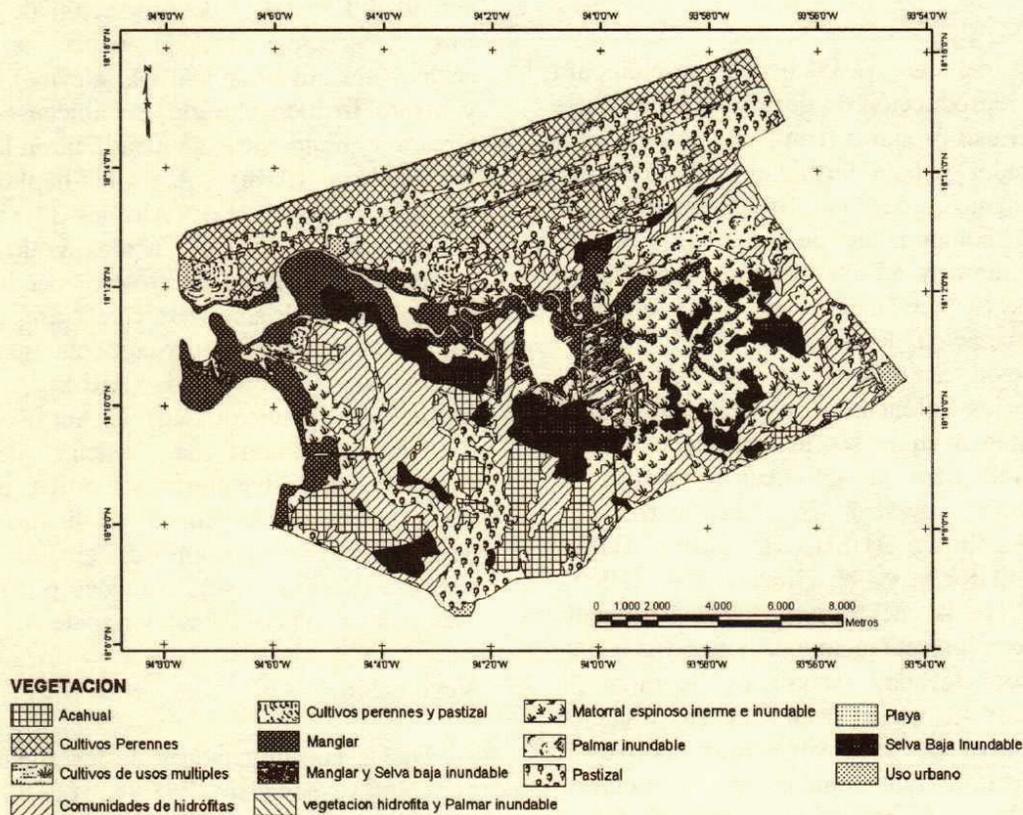


Figura 2. Tipos de vegetación y uso actual del suelo.

El matorral inerme inundable, conocido localmente, como "estribal", es una asociación dominada por estribo, icaco (*Chrysobalanus icaco*) y anonillo, que cambia a espinoso cuando prosperan especies que presentan agudas espinas, como *Solanum houstonii*, *Machaerium falciforme* y *P. lanceolatum*. También pueden encontrarse *F. padifolia*, *Coccoloba barbadensis* y guarumo (*Cecropia obtusifolia*) y, en el estrato herbáceo, *Acrostichum aureum*, guanillo, ciperáceas, gramíneas y compuestas propias de lugares abiertos; abundan las epifitas (orquídeas, bromelias y aráceas) y lianas (bignonias). Ocupa 3095 ha (13.8%) sobre Histosol. Por otro lado, como parte de la sucesión en sitios abandonados, se han establecido manchones de escobillo (*Myrica cerifera*), más o menos puros, dispersos en el área, que se han extendido conforme va desapareciendo la selva baja.

Acahual. Comunidad cuya vegetación original fue selva baja, sometida a desmontes y/o quemas para establecer praderas artificiales y luego abandonadas, en las que se da un proceso de regeneración natural. Su composición florística varía de acuerdo con la etapa: inicialmente, cuando se abandona el terreno, se establecen plantas pioneras que se comportan como arvenses (ciperáceas, compuestas, leguminosas y gramíneas), que inician el proceso de sucesión ecológica. En la siguiente fase, de ocho a 10 años, prosperan las de crecimiento rápido y madera suave como el tatuán (*Colubrina ferruginea*), guarumo, platanillo (*Heliconia latispatha*), *H. patens* y *Piper subcitrifolium*; si no hay alteraciones significativas, se desarrollan especies de mayor porte, como *Inga vera*, *Cordia alliodora*, *Terminalia amazonia* y *Miconia* sp. Ocupa 1433 ha (6.4%), sobre Gleysol.

Palmar inundable o "tasistal". Comunidad de 3 a 4 m de alto, integrada por masas más o menos puras de tasiste, formando pequeños manchones dentro del matorral inundable, donde convive con guanillo y *A. aureum*, o en sitios más abiertos, con espadaño (*Typha latifolia*), ciperáceas, pastos alemán (*Echinochloa polystachya*) y pelillo. Se localiza sobre Histosol, ocupando 578 ha (2.6%).

Comunidades de hidrófitas. Conjunto de asociaciones vegetales (cuyo nombre local proviene de la especie dominante, aunque no se conozcan con exactitud los factores que lo determinan) que se desarrollan en condiciones de inundación perpetua; sus componentes están arraigados al fango (con sus hojas y partes reproductivas sobresalientes) o flotando sobre la lámina de agua. En conjunto ocupan 3700 ha (16.5%), dispersas en toda el área.

Hojillal. Comunidad de hidrófitas arraigadas al fango, sus hojas y partes reproductivas sobresalen a la lámina de agua; su altura varía de 2 a 3 m y puede llegar a formar masas densas. Sus componentes se caracterizan por tener hojas anchas, destacando la hojilla (*Thalia geniculata*), tul (*Pontederia sagittata*), platanillo y lengua de perro (*Sagittaria lancifolia*); se distribuye en franjas estrechas en toda el área sobre Gleysol mólico y en zonas de transición entre éste e Histosol.

Espadañal. Comunidad compuesta por plantas de hasta 2 m de alto, con hojas angostas o sin ellas, arraigadas al sustrato sobre Gleysol mólico; el espadaño está asociado con pastos nativos (pelillo y alemán) y helechos (guanillo y *A. aureum*). En sitios con derrames de petróleo medianamente intemperizados, se encuentran renuevos de espadaño y guanillo como plantas pioneras.

Molinillal. Comunidad de hasta 2.5 m de alto con sus componentes arraigados al fondo, el molinillo es la especie dominante, coexiste con popal, guanillo, tul, escobillo, pasto alemán, navajuelas (*Scleria* spp.) y *Ludwigia leptocarpa*; desarrollada sobre Histosol.

Navajuelal. Compuesta principalmente por "navajuelas" (*Cladium jamaicense*, *Scleria macrophylla* y *Scleria microcarpa*) y guanillo, su tamaño no rebasa 2 m y se localiza en pequeños manchones sobre Histosol.

Hidrófitas flotantes. Comunidad de plantas acuáticas que flotan en la superficie del agua arraigadas o no al fondo, estas últimas, en general, se reproducen vegetativamente; las especies más comunes son: lechuga de agua (*Pistia stratiotes*), lirio acuático (*Eichhornia crassipes*), pancillas (*Salvinia auriculata* y *S. minima*), lenteja de agua (*Lemna gibba*), pan caliente (*Nymphaea ampla*) y platillo acuático (*Nymphoides indica*); se localizan en sitios tranquilos o con corrientes lentas, dispersas en el área de estudio, sobre Histosol.

Además de las especies que se mencionaron, se encuentran escobillo, *Rhynchospora corymbosa*, *Fuirena camptotricha*, *Cyperus hermaphroditus*, *Hydrocotyle verticillata*, *Eleocharis interstincta* y *Lobelia cardinalis*.

Derrames de Petróleo y Afectación

Se localizaron 52 derrames de petróleo (Figura 3), ocasionados por la rotura de oleoductos, descarga de aguas residuales en baterías de separación y estaciones de compresoras, acumulación de aceite en

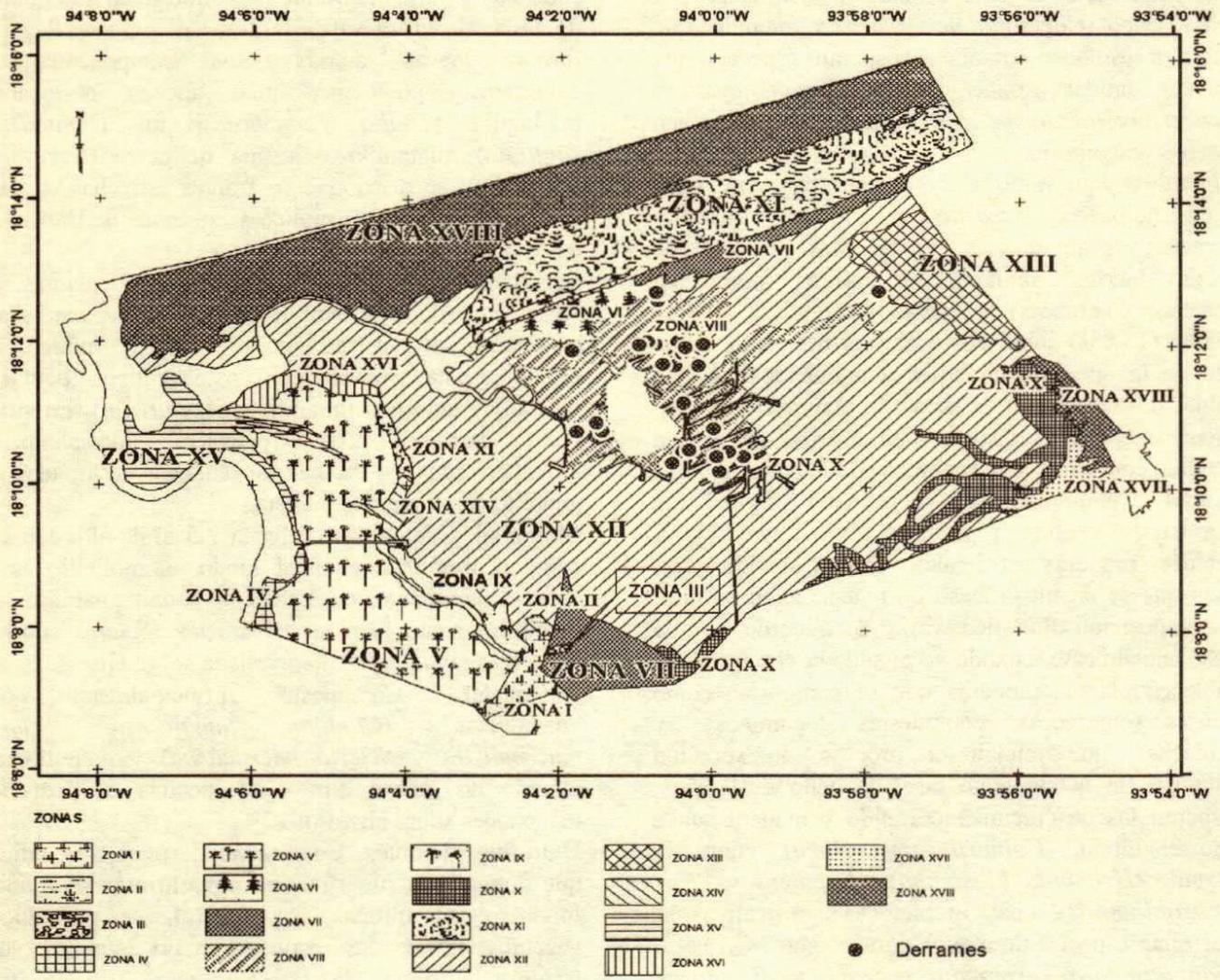


Figura 3. Zonas contaminadas y localización de derrames de petróleo.

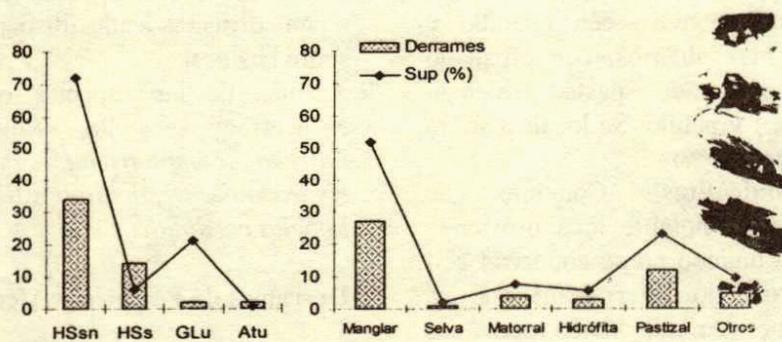


Figura 4. Derrames de petróleo por unidad de suelo (HSsn = Histosol sodi-térrico, HSs = H. térrico, GLu = Gleysol úmbrico y ATu = Antrosol úrbico), tipo de vegetación y superficie ocupada.

pozos petroleros y quemadores de gas. Por campo petrolero, suelo y vegetación, el mayor número de derrames se presentó en Cinco Presidentes (41), Histosol (48) y manglar (27), respectivamente (Figura 4). Solo dos derrames se ubicaron sobre Antrosoles con plantación de coco y 12 en Gleysoles con pastizal.

Con los resultados del análisis de HT, HAL, HAP y metales pesados (Cuadro 1) y el apoyo de la

cartografía de suelos, vegetación e infraestructura petrolera, se dividió al área de estudio en 18 zonas, de más a menos contaminadas que, para su análisis, se reagruparon en unidades homogéneas (o con ligeras variaciones) de suelo, vegetación y contaminación:

ZONAS I-II (Sitios 3-3, 5-2, 5-3, 6-2 y 7-1): registran contaminación moderada a alta de HAP, moderada de HAL, ligera a alta de V, ligera a moderada de Zn y ligera de Ni, además de seis derrames; abarcan

Cuadro 1. Contenido de hidrocarburos (totales, alifáticos y aromáticos) y metales pesados en suelos.

S [†]	C [‡]	Localización	Hidrocarburos			Metales pesados		
			Totales	Alifáticos	Aromáticos	Zn	Ni	V
----- mg kg ⁻¹ -----								
1-1		Ej. Miguel Hidalgo	14.75	1.04	13.71	34	17.6	76
1-2	5P	Ej. El Arrozal	12.04	2.04	10.00	19	30.4	44
1-3 [§]	5P	Canales El Yucateco	769.98	3.91	766.07	48	19.6	110
1-4	5P	Canal Batería 3	512.34	0.80	511.54	20	15.4	56
1-5		1 km E de La Azucena	12.65	0.48	12.17	15	10.8	84
2-1	RO	S del Campo Rodador	23.88	1.59	22.29	8	9.0	46
2-2 [§]	5P	Ej. N. Ley de Reforma Agraria	26.66	3.47	23.19	18	11.2	206
2-3	5P	NO del Pozo 40D	14.28	1.07	13.20	17	18.4	84
2-4	5P	O de la Est. De Compresoras	28.54	2.10	26.44	29	12.2	83
2-5		El Barí, 1ª Sección	7.83	1.02	6.81	75	27.0	234
3-1		Colonia Pailebot	60.39	1.17	59.23	43	20.5	179
3-2	RO	Colonia Pailebot	18.99	3.34	15.65	31	17.5	178
3-3	5P	El Yucateco	261.74	11.96	249.83	59	11.8	418
3-4	5P	Congregación El Yucateco	35.95	1.60	34.36	54	25.7	472
4-1		Colonia Pailebot	12.67	1.11	11.56	36	29.8	245
4-2	RO	Colonia Pailebot	13.39	2.78	10.60	73	22.5	283
4-3	5P	El Yucateco	15.19	1.14	14.05	55	13.0	206
4-4	5P	Congregación El Yucateco	5.60	1.04	4.57	34	19.4	285
5-1		Km 4, La Venta-V.B. Juárez	25.89	2.18	23.71	39	21.2	132
5-2 [§]	LV	S Batería La Venta Norte	48.47	17.18	31.29	430	43.6	362
5-3	LV	Ej. Aquiles Serdán	37.03	1.76	35.27	21	0.4	51
5-4		Ej. Aquiles Serdán	19.87	1.79	18.08	88	10.0	158
6-1		Km 9.5, La Venta-V.B. Juárez	12.84	1.84	11.00	111	91.0	477
6-2 [§]	LV	Pozo 50	44.76	12.67	32.08	75	73.0	385
6-3	LV	150 m E de Aquiles Serdán	8.84	1.39	7.45	96	110.0	453
6-4		2 km NO de Aquiles Serdán	5.54	0.57	4.97	95	141.0	433
6-5		7.5 km NO de Aquiles Serdán	5.91	0.97	4.94	79	71.0	398
7-1	LV	Est. De Compresoras La Venta	1934.38	765.64	1168.75	67	46.0	574
7-2	LV	1 km E de Est. De Compresoras	17.07	13.86	3.21	26	32.6	110
7-3		6 km NO de Aquiles Serdán	70.41	27.71	42.70	70	38.2	114
8-1		La Panga Vieja	46.10	16.35	29.76	37	72.0	355
8-2		300 m O de la Azucena	2.94	0.22	2.72	36	40.0	394
1	5P	Ej. El Arrozal	7.61	2.94	4.67	91	83.0	507
2	5P	Canales El Yucateco	1708.15	1365.52	342.63	101	37.0	474
3	LV	Pozo 302	33.78	33.52	0.26	18	8.4	72
4	LV	Pozo 175	45.92	44.27	1.65	61	64.8	304
5	RO	Al E del Campo Rodador	551.92	544.74	7.18	0	118.0	52
6		2 km O de V. B. Juárez	96.93	95.52	1.41	96	32.0	472
7		2 km NO de V. B. Juárez	0.00	0.00	0.00	19	5.9	118
8		Km 6, V.B. Juárez-Pailebot	49.61	39.18	10.44	28	t	32
9		Colonia El Barí, 2ª Sección	0.00	0.00	0.00	37	15.9	294
10		Colonia El Barí, 2ª Sección	0.00	0.00	0.00	32	24.9	261

[†] S = sitio (transecto-número); [‡] C = campo petrolero (5P = Cinco Presidentes, RO = Rodador, LV = La Venta); [§] Sitio en derrames de petróleo.

149.4 ha (0.7%) sobre Histosol y Gleysol con pastos cultivados para la ganadería. ZONAS III-VIII (Sitios 1-3, 1-4, 1-5, 2-1, 2-2, 2-3, 2-4, 3-1, 3-2, 3-4, 5-1, 7-2, 7-3, 8-1, 3 y 4): registran contaminación ligera a moderada por HAP, ligera a moderada por HAL, ligera a alta por V, ligera de Ni y Zn en sitios aislados y 38 derrames; cubren 4491 ha (20%) sobre Histosol y Solonchak con vegetación de selva, acahual, manglar y pastos; sobre Arenosol háplico con cultivo de coco; sobre Histosol con manglar, hidrófitas y pastizal; y sobre Histosol y Gleysol con acahual y pastos. ZONAS IX-XIII (Sitios 1-1, 1-2, 2-5, 4-1, 4-2, 4-3, 4-4, 5-4, 6-1, 6-3, 1, 2, 5 y 8): registran contaminación ligera a moderada por HAP, ligera por HAL y HAT, ligera a alta por V y ligera por Zn; ocupan 12 345 ha (55%) sobre Gleysol con pastos, hidrófitas, matorral y apompal; sobre Antrosol con pastos y coco; y sobre Histosol con selva, manglar, hidrófita, palmar y pastizal. ZONAS XIV-XVI (Sitios 6-4, 6-5 y 8-2): tienen contaminación ligera a moderada por HAP, ligera a alta por V y ligera por Zn. Cubren 832 ha (3.7%) sobre Gleysol con pasto; sobre Solonchak e Histosol con manglar; y sobre Arenosol con pasto y coco. ZONA XVII (Sitio 6): registra contaminación ligera por HAP, moderada por HAT y alta por V; ocupa 130 ha (0.6%) sobre Gleysol con matorral, hidrófitas, acahual y pequeñas áreas de pastizal. ZONA XVIII (Sitios 7, 9 y 10): sólo registra contaminación moderada por V; cubre 3297 ha (14.7%) en Alisol con cultivo de coco y pasto y sobre Arenosol háplico y gléyico con cultivo de coco y pasto.

Todos los suelos del área presentan algún grado de contaminación debida a la presencia de hidrocarburos o metales pesados; estos resultados concuerdan con los obtenidos por Zavala (2004), quién reportó un contenido de hidrocarburos totales del petróleo entre 102 y 35,108 mg kg⁻¹ para estos suelos. La presencia de N y V se debe a que el petróleo contiene pequeñas cantidades de estos metales (Domínguez *et al.*, 2002), que pueden ser dispersadas por la quema de gases a la atmósfera (Freedman, 1989; Al-Sarawi y Massoud, 1998) o a través de las corrientes de agua contaminadas con la fracción soluble del petróleo.

Plantas que se Desarrollan en Áreas Afectadas por Derrames de Petróleo

En estos ambientes se identificaron 87 especies vegetales, 33 de las cuales se encontraron sobre sitios de derrames de petróleo, el resto en áreas aledañas;

algunas, en su mayoría arbustos y árboles (apompo, mangles rojo y blanco) presentaron daños visibles, como clorosis y necrosis, en zonas de afectación reciente. Las familias mejor representadas en ambas condiciones fueron Poaceae (16 especies), Cyperaceae (15), Fabaceae y Asteraceae (10), aunque dos especies se observaron con mayor frecuencia: el bleo (*Amaranthus hybridus*) y la "yerba aguada" (*Pluchea purpurascens*). Estas plantas son pioneras en suelos contaminados con petróleo crudo y pudieran ayudar en la biorremediación de los mismos, de hecho, algunas se han probado (tular, manglar y leguminosas) (Ederra, 1997). Específicamente, varias especies de gramíneas, plantas que poseen un sistema de raíces fibrosas que provee una gran superficie para los microorganismos de la rizósfera, se han probado para fitorremediar suelos contaminados con petróleo (Hou *et al.*, 1999; Banks *et al.*, 2000), destacan *Sorghum vulgare sudanese*, *Andropogon gerandi*, *Panicum virgatum* (Reilley *et al.*, 1996), *Lolium perenne* (Sicilliano y Germida, 1998), *Echinochloa polystachya* (Rivera-Cruz *et al.*, 2002; Zavala, 2004) y *Paspalum fasciculatum* (Rivera-Cruz *et al.*, 2002). Por otra parte Ederra (1997) y Manions *et al.* (2003) han reportado varias especies de hidrófitas que acumulan metales pesados en sus órganos, destacando algunas especies de los géneros *Typha* y *Sagittaria*. Otra planta que debe tenerse en consideración es el escobillo, ya que se encontró formando comunidades casi puras en suelos con derrames de petróleo viejos (> 10 años).

CONCLUSIONES

- Se describieron, en su estructura y composición florística, seis comunidades vegetales ubicadas sobre todo en Histosol y Gleysol. La mayoría de los derrames se localizaron en manglar pero, considerando que 89.1% de la superficie se encuentran en zonas con inundaciones frecuentes, sería factible estudiar la práctica de programas de fitorremediación, ya que se han reportado varias especies de hidrófitas, entre ellas especies de *Typha* y *Sagittaria*, que acumulan metales pesados en sus órganos.

- De las 18 zonas en que se dividió al área de estudio, las más contaminadas fueron la I y la II, debido a que registran valores moderados a altos de hidrocarburos, y ligeros a altos de metales pesados. Las zonas III a VIII presentaron contaminación ligera a media por hidrocarburos y V. Las zonas IX a XVII registran

contaminación ligera a moderada por hidrocarburos y algunos metales pesados. Finalmente, la zona XVIII es la menos contaminada, ya que sólo registra V en concentraciones moderadas.

- Se identificaron 33 especies de herbáceas que se desarrollan como plantas pioneras en sitios con derrames de petróleo, aunque *Amaranthus hybridus* y *Pluchea purpurascens* se observaron con frecuencia, cubriendo casi completamente las áreas con derrames de uno a dos años. Las familias mejor representadas fueron Poaceae, Cyperaceae y Fabaceae; las gramíneas son un grupo de interés en la fitorremediación de suelos contaminados con petróleo, *Echinochloa polystachya* ya se ha probado en suelos del área.

LITERATURA CITADA

- Alloway, B.J. 1990. Heavy metals in soils. John Wiley. New York.
- Al-Sarawi, M. y M.S. Massoud. 1998. Preliminary assessment oil contamination levels in soils contaminated with oil lakes in the greater Burgan oil fields, Kuwait. *Water, Air Soil Pollut.* 106: 493-504.
- Banks, M.K., R.S. Govindaraju, A.P. Schwab y P. Kulakou. 2000. Field demonstration. pp. 1-88. *In: Fiorenza, S., C.L. Oubre y C.H. Ward (eds.). Phytoremediation of hydrocarbon-contaminated soil.* Lewis Publishers. Boca Raton, FL.
- Cuanalo-de la Cerda, H. 1981. Manual de descripción de perfiles de suelo en campo. Colegio de Postgraduados. Chapingo, estado de México.
- Doelman, P. 1994. European perspectives of field research on bioremediation: special attention to The Netherlands. pp. 307-321. *In: Trans. 25 Congreso Mundial de la Ciencia del Suelo.* Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. Chapingo, estado de México.
- Domínguez, J.M., J. Aboites y T.A. Beltrán. 2002. Refining industry of Mexico: comparative study of R&B activities and the catalysis market needs. *Sci. Tech.* 84: 1-6.
- Ederra I., A. 1997. Botánica ambiental aplicada, las plantas y el equilibrio ecológico de nuestra tierra. Universidad de Navarra. Pamplona, España.
- FAO (Food and Agriculture Organization). 1989. Carta mondiale des sols légende révisée. Rapport sur les ressources en sols du monde 60. Roma, Italia.
- Freedman, B. 1989. Environmental ecology. The impacts of pollution and other stresses on ecosystem structure and function. Academic Press. San Diego, CA.
- Gómez-Pompa, A. 1979-1998. Flora de Veracruz. Fascículos 1-102. Instituto de Ecología-Universidad de California. Xalapa, Veracruz, México.
- Hou, F.S.L., D.W.M. Leung, M.W. Milke y D.J. McPherson. 1999. Improvement in ryegrass seed germination for diesel contaminated soils by peg treatment technology. *Environ. Tech.* 20: 413-418.
- IMTA (Instituto Mexicano de Tecnología del Agua). 1989. Manual de clasificación cartográfica e interpretación de suelos con base en el sistema de taxonomía de suelos. Cuernavaca, Morelos, México.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). 1984a. Fotomapas, escala 1:20 000 E15A77D, E15A87A, E15A86B, E15A86C y E15A86F. Aguascalientes, Aguascalientes, México.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). 1984b. Fotografías aéreas blanco y negro, escala 1:75 000. Aguascalientes, Aguascalientes, México.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). 1995. Fotografías aéreas blanco y negro, escala 1:75 000. Aguascalientes, Aguascalientes, México.
- Kabata-Pendias, A. y H. Pendias. 1984. Soil and soil processes. Chapter 3. pp. 15-135. *In: Trace elements in soils and plants.* CRC Press. Boca Ratón, FL.
- López-Hernández, R. 1980. Tipos de vegetación y su distribución en el estado de Tabasco y norte de Chiapas. Serie Cuadernos de Agricultura. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, estado de México.
- Lot, A. y F. Chiang. 1986. Manual de herbario. Consejo Nacional Flora de México. México, D.F.
- Lot-Helguera, A. 1991. Vegetación y flora vascular acuática del estado de Veracruz. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F.
- Magaña-Alejandro, M.A. 1992. Helechos de Tabasco. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Villahermosa, Tabasco.
- Manios, T., E.I. Stentiford y P. Millner. 2003. Removal of heavy metals from a metaliferous water solution by *Typha latifolia* plants and sewage sludge compost. *Chemosphere* 53: 487-494.
- McBride, M.B. 1995. Toxic metal accumulation from agricultural use of sludge: are USEPA regulations protective? *J. Environ. Qual.* 24: 5-18.
- MENVIQ (Ministère de l'Environnement du Québec). 1993. Problématique des sols et des eaux souterraines contaminées pour des produits pétroliers. Québec, Canada.
- Mills, M.A., J.S. Bonner, J.M. McDonald, Ch.A. Page y L. Autenrieth. 2003. Intrinsic bioremediation of a petroleum impacted wetland. *Marine Pollut. Bull.* 46: 887-899.
- Palma-López, D., J. Obrador, J. Zavala, E. García, C. Ortiz, W. Camacho, R. Meseguer, A. Sol, J. Juárez, J. Jasso, A. Guerrero, R. Ramos y A. Triano. 1999. Diagnóstico de los recursos naturales, niveles de contaminación y alternativas para el desarrollo del área de influencia de los campos petroleros Cinco Presidentes y la Venta Norte. Colegio de Postgraduados. H. Cárdenas, Tabasco, México.
- Pennington, T.D., D. y J. Sarukhan. 1968. Manual para la identificación de campo de los principales árboles tropicales de México. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales. Secretaría de Agricultura y Ganadería. México, D.F.
- Reilley, K.A., M.K. Banks y A.P. Schwab. 1996. Organic chemicals in the environment. Dissipation of polycyclic aromatic hydrocarbons in the rhizosphere. *J. Environ. Qual.* 25: 212-219.
- Rivera-Cruz, M.C., R. Ferrera-Cerrato, V. Volke-Haller, R. Rodríguez-Vázquez y L. Fernández-Linares. 2002. Adaptación y selección de microorganismos autóctonos en medios de cultivo enriquecidos con petróleo crudo. *Terra* 20: 423-434.

- Rzedowski, J. 1978. Vegetación de México. LIMUSA. México, D.F.
- Rzedowski, J. y G.C. Rzedowski. 1979. Flora fanerogámica del Valle de México Volumen I: Generalidades, Gymnospermae, Dicotyledoneae (Saururaceae - Polygalaceae). Editorial Continental. México, D.F.
- Rzedowski, J. y G.C. Rzedowski. 1985. Flora fanerogámica del Valle de México Volumen II: Dicotyledoneae (Euphorbiaceae - Compositae). Instituto Politécnico Nacional, Escuela Nacional de Ciencias Biológicas-Instituto de Ecología. México, D.F.
- Rzedowski, J. y G.C. Rzedowski. 1990. Flora fanerogámica del Valle de México Volumen III: Monocotyledoneae. Instituto de Ecología. Pátzcuaro, Michoacán, México.
- Rzedowski, J. y G.C. Rzedowski. 1991-1999. Flora del Bajío y de Regiones Adyacentes. Fascículos 1 a 78. Instituto de Ecología-Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Pátzcuaro, Michoacán, México.
- Siciliano, S.D. y J.J. Germida. 1998. Mechanisms of phytoremediation: biochemical and ecological interactions between plants and bacteria. *Environ. Rev.* 6: 65-79.
- Standley, P.C., J. Steyermark y L.O. Williams. 1947. Flora de Guatemala. *Fieldiana Botany* 24, parts I-IX. Chicago National History Museum. Chicago, IL.
- Toledo, A. 1988. Energía, ambiente y desarrollo. Centro de Ecodesarrollo. México, D.F.
- Vázquez-Botello, A. 1996. Niveles de concentración de hidrocarburos en el Golfo de México. pp. 225-253. *In: Vázquez-Botello, A., J.L. Rojas-Galaviz, J.A. Benítez y D. Zárate-Lomelí (eds.). Golfo de México. Contaminación e impacto ambiental: diagnóstico y tendencias. EPOMEX Serie Científica 5. Universidad Autónoma de Campeche. Campeche, México.*
- Zavala-Cruz, J. 1996. Impacto de las actividades petroleras sobre la hidrología superficial del distrito Agua Dulce, Tabasco, México. pp. 505-520. *In: Vázquez-Botello, A., J.L. Rojas-Galaviz, J.A. Benítez y D. Zárate-Lomelí (eds.). Golfo de México. Contaminación e impacto ambiental: diagnóstico y tendencias. EPOMEX Serie Científica 5. Universidad Autónoma de Campeche. Campeche, México.*
- Zavala-Cruz, J. 2004. Índices de contaminación por petróleo y prácticas de recuperación de suelos con pastizal en el Activo Cinco Presidentes, Tabasco. Tesis de Doctor en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo, estado de México.
- Zavala-Cruz, J., C. Gutiérrez-Castorena y D.J. Palma-López. 2003. Impacto ambiental en las tierras del Campo Petrolero Samaria, Tabasco. Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco-CCYTET-CONACYT. Villahermosa, Tabasco, México.