

## Concentración de sales y su distribución en suelos con presencia de hidrocarburos en La Venta Tabasco, México

Chávez-Vergara BM<sup>1</sup>, Beltrán-Paz O<sup>1</sup>, Vela-Correa G<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Geología, UNAM. Circuito de la Investigación Científica s/n. Ciudad Universitaria. C. P. 04510. Coyoacán. Ciudad de México.

<sup>2</sup>Universidad Autónoma Metropolitana – Xochimilco. Departamento El Hombre y su Ambiente. Laboratorio de Edafología. Calzada del Hueso 1,100. Colonia Villa Quietud. Coyoacán. C. P. 04560. Ciudad de México.

Email responsible: [gvela@correo.xoc.uam.mx](mailto:gvela@correo.xoc.uam.mx)

### RESUMEN

Este trabajo se realizó en la “zona ecológica o pasivo ambiental” del Complejo Procesador de Gas “La Venta” en Tabasco, donde se establecieron como objetivos: Estimar la concentración de sales en los suelos y representar espacialmente su distribución considerando la presencia de hidrocarburos. Se realizó un muestreo considerando una retícula de 50 m por lado obteniéndose 28 muestras de suelo a una profundidad de 0 – 30 cm a las cuales en laboratorio se le determinó: color, densidad, porosidad, pH, contenido de materia orgánica, CIC y iones intercambiables de  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^{+}$  y  $\text{K}^{+}$ ; PSI, CE y concentración de aniones y cationes en solución. Posteriormente, se definieron las clases de suelos a partir de los valores de pH, CE y PSI y se representaron sus límites en un plano a escala 1: 2,000. La distribución de hidrocarburos es heterogénea, al igual que la concentración de sales como  $\text{NaCl}$ ,  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ ,  $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{KCl}$  y  $\text{MgCl}_2$ , y  $\text{Na}^{+}$ . La CE presenta valores que fluctúan de los 0.61 hasta 117.8  $\text{dS m}^{-1}$  y el PSI de 4.09 a 81.83%. Las propiedades de los suelos que se han modificado son el pH, la conductividad eléctrica y el sodio intercambiable. Los suelos de mayor relevancia corresponden a la Clase II que ocupa el 52.96 % de la superficie y se caracterizan por un elevado contenido de sales; seguida de los suelos de Clase III que ocupan el 27.66 % de la superficie y corresponden a los suelos salino-sódicos. Ambas clases cubren el 80.62 % de la superficie total del pasivo ambiental, mientras que los suelos de la Clase IV ocupan el 18.55 % de la superficie y se caracterizan por su elevado contenido de sodio.

**Palabras clave:** suelos contaminados, salinidad, hidrocarburos, clases de suelos, Tabasco.

### ABSTRACT

This work was carried out in the so-called "ecological zone or environmental passive" of the "La Venta" Gas Processing Complex located in the state of Tabasco, Mexico. They were established as objectives: To determine the salt concentration and spatially represent its distribution in soils with presence of hydrocarbons. Sampling was performed considering a grid of 50 m per side, obtaining 28 soil samples at a depth of 0 - 30 cm, which were determined in the laboratory: color, density, porosity, pH, organic matter content, interchangeability Cationic (CEC) and exchangeable ions of  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^{+}$  and  $\text{K}^{+}$ ; exchangeable sodium percentage (ESP), electrical conductivity (EC) and concentration of anions and cations in solution. Subsequently, the soil classes were defined from the pH, EC and ESP values and their boundaries were plotted on a scale 1: 2,000. Among the results, the properties of the soils that have been modified are pH, electrical conductivity, and exchangeable sodium. The hydrocarbon distribution is heterogeneous, as is the concentration of salts such as  $\text{NaCl}$ ,  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ ,  $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{KCl}$  and  $\text{MgCl}_2$ , and  $\text{Na}^{+}$ . The EC has values that fluctuate from 0.61 to 117.8  $\text{dS m}^{-1}$  and the PSI from 4.09 to 81.83 %. The properties of the soils that have been modified are pH, EC and  $\text{Na}^{+}$ . The soils of greater relevance correspond to the Class II that occupies 52.96 % of the surface and are characterized by a high content of salts; followed by soils Class III that occupy 27.66 % of the surface and correspond to saline-sodic soils. Both classes cover 80.62 % of the total surface, while soils Class IV occupy 18.55 % of the surface and are characterized by their high in sodium.

**Key words:** contaminated soils, hydrocarbons, soil classes, Tabasco

Sales en suelos con hidrocarburos en La Venta, Tabasco  
Chávez-Vergara BM, Beltrán-Paz O, Vela-Correa G.

## INTRODUCCIÓN

Una de las fuentes de contaminación del suelo son las emisiones, fugas, derrames accidentales, descargas de efluentes y residuos derivados de la actividad petrolera (Pérez 2002). En el sureste mexicano se encuentra un sinnúmero de sitios con diferente impacto ambiental, resultado de las operaciones petrolíferas de aproximadamente cincuenta años (Adams et al. 1999), siendo Veracruz, Tabasco y Campeche, los estados más expuestos al aumento gradual de la exploración y explotación de este recurso (IMP et al. 2000). Esto contribuye a que se introduzcan cantidades variables de hidrocarburos al medio, alterando de una u otra forma la estabilidad de los ecosistemas terrestres, lacustres y palustres (Botello et al. 1993; Díaz et al. 1995).

Entre las afectaciones menos estudiadas en estas áreas, se encuentra la salinización y sodificación en los suelos a pesar de que existen varias refinerías y petroquímicas que descargan aguas residuales hacia los terrenos aledaños a sus instalaciones. Estas instalaciones cuentan con sistemas para el tratamiento de aguas residuales, que son antiguos y en algunas ocasiones no son adecuados para controlar el flujo de agua que pasa por ellos, provocando la contaminación de las áreas donde se efectúan las descargas, tales como pantanos, canales, ríos o lagunas. Estas aguas regularmente contienen sales provenientes de los yacimientos de petróleo, así como cantidades importantes de hidrocarburos (Adams et al. 1999; Rivera et al. 2002).

Beltrán (1993), reporta que en Tabasco existen alrededor de 7,200 ha afectadas por actividades relacionadas con la extracción de petróleo y de éstas más del 90% se encuentra en zonas bajas o pantanos, donde los suelos son arcillosos con elevados contenidos de materia orgánica. El Complejo Procesador de Gas (CPG) La Venta, pertenece a Petróleos Mexicanos (PEMEX) y en él se han realizado diversos trabajos, teniendo como problema eje la contaminación del suelo por hidrocarburos y la posible biorremediación de los mismos tal como la manifiesta Adams et al. (1999). Sin embargo, el Instituto Mexicano del Petróleo (IMP) durante el año 2000, elaboró un diagnóstico y una evaluación de la situación ambiental que

prevalece en las instalaciones petroleras de extracción, separación y refinamiento de petróleo y gas en Tabasco, concluyendo que la contaminación generada de estos procesos tiene un carácter local.

Navarrete (2005), realizó un estudio sobre la contaminación por metales pesados, concluyendo que la zona de La Venta presentaba los valores más elevados de metales pesados en los suelos, no solo por derrames de petróleo, sino por la descarga de aguas residuales. Es conveniente mencionar que hasta antes del año 1996 los procesos de deshidratación del crudo se llevaban a cabo, utilizando agua con elevadas concentraciones de sales, las cuales eran vertidas en las zonas aledañas a las instalaciones, provocando la acumulación de estas en los suelos y afectando la vegetación del lugar. Sin embargo, asociado a un escaso interés por revertir este proceso, con el tiempo se generó un “pasivo ambiental” o sea un sitio contaminado por la liberación de materiales o residuos peligrosos, que no fueron remediados oportunamente y el cual actualmente se considera prioritario rehabilitar (Russi y Martínez 2002), pero la falta de información sobre los tipos y niveles de salinidad en suelos es un factor limitante en la toma de decisiones para su caracterización y recuperación. Por lo anterior, los objetivos de este trabajo fueron: Determinar las principales sales que se encuentran en los suelos; y representar espacialmente las clases de suelos afectados por salinidad en el “pasivo ambiental” del CPG La Venta.

## MATERIAL Y MÉTODOS

### *Localización de la zona de estudio*

La zona de estudio se encuentra en la subregión de La Chontalpa, la cual forma parte de la provincia fisiográfica denominada llanura Costera del Golfo Sur, que incluye a la subprovincia Llanuras y Pantanos Tabasqueños (CNA, 2002). Específicamente el pasivo ambiental pertenece al Complejo Procesador de Gas (CPG) La Venta, que se encuentra entre los 18°05'17" y 18°05'30" de latitud Norte y los 94°02'41" y 94°02'44" de longitud Oeste, en la población de Villa La Venta en el

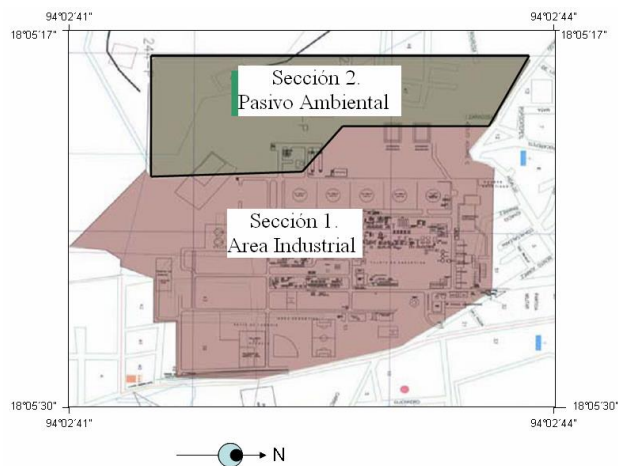
municipio de Huimanguillo en el estado de Tabasco (Fig. 1), (INEGI 1986).



**Fig. 1.** Ubicación del área de estudio

El Complejo Procesador de Gas “La Venta” está dividido en dos secciones: correspondiendo la primera de ellas a la zona industrial que comprende la planta de absorción, la planta criogénica, área de quemadores, almacenes, laboratorios y áreas administrativas; mientras que la segunda sección pertenece a la zona ecológica, en la cual se trabajó en una superficie de 27 ha., siendo esta sección la correspondiente al área en estudio y que a su vez corresponde al pasivo ambiental (Fig. 2).

La zona se caracteriza por tener un clima cálido-húmedo con abundantes lluvias en verano (Am), de acuerdo con la clasificación de Köppen modificada por García (1988), siendo la temperatura media anual de 26.2 °C, con una precipitación total anual de 2,643 mm. Palma et al, (1996) y el INEGI (1986), reportan la presencia de suelos Gleysoles, que se encuentran en las planicies de inundación, donde el drenaje deficiente y el exceso de humedad favorecen las condiciones reductoras en estos suelos. La vegetación está conformada por relictos de selva mediana perennifolia donde predominan *Scheelea liebmannii* Becc., *Sabal yucatanica* L.H. Bailey, *Thalia geniculata* L., y *Cyperus gardneri* Nees., entre otras (Diego-Pérez et al. 2001).



**Fig. 2.** Ubicación de la zona de estudio en el CPG La Venta

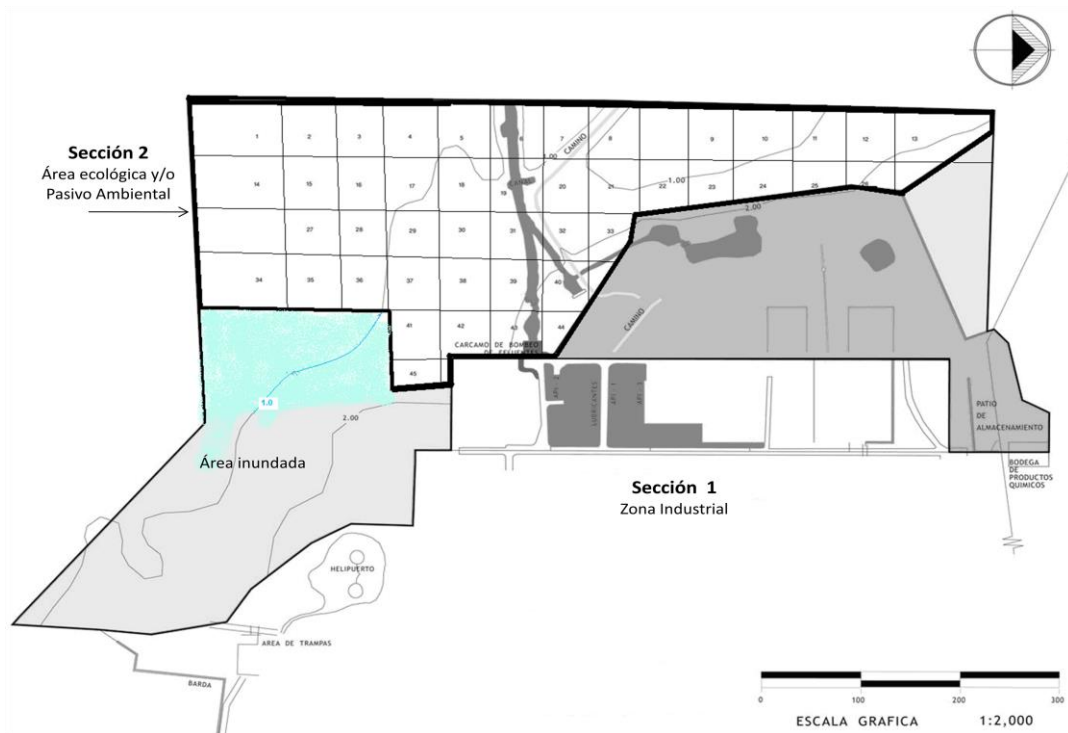
### *Trabajo en gabinete y campo*

Se realizó una revisión documental sobre las posibles causas que ocasionaron la salinización de suelos. Posteriormente, se efectuó un muestreo con base en una retícula sobrepuesta al plano topográfico a escala 1: 2,000 considerando una equidistancia de 75 m por lado (Fig. 3). En total se tomaron 28 muestras de suelos de un kilogramo cada una, las cuales se colectaron en el centro de cada cuadrante a una profundidad de 0-30 cm, para su posterior análisis en laboratorio.

### *Trabajo en laboratorio*

Previo al análisis en laboratorio, las muestras de suelos se secaron a temperatura ambiente y se tamizaron utilizando una malla de 2 mm de diámetro, fraccionando los terrones más grandes con ayuda de un mortero de porcelana. Posteriormente, se homogeneizó la muestra para evitar posibles sesgos de acuerdo con SEMARNAT (2002) y Corwin et al. (2003).

Las determinaciones que se realizaron a cada muestra de suelo fueron: color por comparación con



**Fig. 3.** Sitios de muestreo de suelos en el pasivo ambiental.

las tablas Munsell (1994); densidad real y aparente de acuerdo con Soil Survey Staff (1999); la porosidad se estimó con base en Baver (1973); la conductividad eléctrica (CE) del extracto de saturación, se determinó utilizando un conductímetro Corning 200. El pH se valoró en el extracto de saturación del suelo empleando una relación 1:2.5 de H<sub>2</sub>O; la materia orgánica (MO) y el contenido de carbono orgánico se cuantificaron por Walkley y Black (1947); mientras que la capacidad de intercambio catiónico (CIC), se determinó por el método del versenato (EDTA) 0.02 N; el Ca<sup>2+</sup> y Mg<sup>2+</sup> tanto intercambiables como solubles se estimaron por Jackson (1982); el Na<sup>+</sup> y K<sup>+</sup> intercambiables y solubles se valoraron mediante análisis de flama, utilizando un flamómetro Corning 400; CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>2-</sup>, Cl<sup>-</sup> se determinaron de acuerdo con SEMARNAT (2002). La saturación de bases y la relación de absorción de sodio (RAS) se calcularon de acuerdo con Richards (1985) y Velázquez et al.

(2002). La clasificación interpretativa de suelos afectados por salinidad se elaboró a partir de los criterios establecidos por Pineda et al. (2000) y SEMARNAT (2001) considerando la conductividad eléctrica (CE) y el porcentaje de sodio intercambiable (PSI). La Clase I presenta una (CE <4 dS m<sup>2</sup> y un PSI <15); Clase II (CE >4 dS m<sup>2</sup> y un PSI <15); Clase III (CE <4 dS m<sup>2</sup> y un PSI >15); y la Clase IV (CE >4 dS m<sup>2</sup> y un PSI <15). Posteriormente se representó espacialmente cada clase de suelo en un plano a escala 1: 2,000.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### *Composición y concentración de las sales en los suelos*

Se estima que las sales predominantes están constituidas a base del anión cloruro (Cl<sup>-</sup>) como el NaCl y el CaCl<sub>2</sub> principalmente, las cuales se



Tabla 1. Iones solubles en los suelos de la zona de estudio

Muestra	HTP	Cationes				Aniones		
		Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>
mmol(+) L <sup>-1</sup>								
1	9,485.20	8.0	1.8	26.2	2.0	0.0	17.5	14.4
2	710.91	5.4	1.4	75.0	5.0	0.0	15.0	54.4
3	1,139.8	6.7	1.6	79.3	6.6	0.0	16.7	48.5
4	646.9	2.7	4.6	73.3	8.1	0.0	8.0	73.7
5	9,691.1	4.7	1.2	69.0	4.5	3.3	8.3	84.1
6	300.2	3.1	0.4	16.8	2.0	0.0	9.0	8.6
7	58.2	3.0	0.5	30.5	3.0	0.0	8.0	32.2
8	40.1	6.2	1.4	595.9	3.5	3.3	11.7	129.6
9	9.2	3.7	0.8	11.6	7.6	0.0	11.7	29.4
10	8.3	3.5	1.6	21.1	4.0	0.0	8.0	32.5
11	474.6	2.4	3.2	36.6	5.4	0.0	6.0	12.7
12	1,052.5	1.4	1.2	12.3	1.9	0.0	4.0	2.5
13	183.2	0.7	0.2	20.9	0.5	0.0	16.7	8.1
14	25.3	5.6	1.2	53.7	3.2	0.0	12.5	63.7
15	1,309.7	2.1	3.1	52.5	4.9	3.3	10.0	46.6
16	315.9	6.2	2.4	36.4	4.4	0.0	28.3	30.0
17	782.9	5.3	1.5	154.9	6.9	0.0	10.0	93.4
18	12.8	0.6	0.0	6.1	0.4	0.0	10.0	5.5
19	162.9	1.1	0.2	9.6	2.5	0.0	8.3	2.4
20	293.6	1.7	0.2	11.1	1.2	0.0	7.0	10.6
21	1,124.1	1.4	1.4	21.2	2.8	0.0	5.0	25.5
22	33.4	1.6	1.8	14.4	1.5	0.0	8.0	9.5
23	8.3	1.5	0.9	20.0	3.0	0.0	5.0	2.7
24	88.5	1.6	0.6	14.2	4.5	0.0	5.0	1.9
25	64.0	1.6	1.4	2.4	0.7	0.0	5.0	1.6
26	1,124.1	1.3	0.5	14.4	3.2	0.0	5.0	1.7
27	9.2	3.4	4.2	34.3	2.8	0.0	25.0	46.1
28	250.8	4.1	1.4	44.5	3.5	0.0	27.5	114.2

caracterizan por ser muy solubles y pueden afectar a la vegetación que no es tolerante a la sodicidad y salinidad (Tabla 1). Debido a que, al existir una elevada concentración de sales en la solución del suelo, la presión osmótica se incrementa, provocando que las células de las raíces empleen más energía para absorber las moléculas de agua. Otro efecto es el colapso por toxicidad inducido por el exceso de iones de sodio, cloruros y sulfatos que al ser absorbidos por las plantas se acumulan en los tejidos y en las células que pueden sufrir de alteraciones en su metabolismo, afectando la síntesis de almidones, ATP, DNA y RNA (Richards 1985; Rowell y Pateras 2002).

Los iones CO<sub>3</sub> están en bajas concentraciones en comparación con los HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, la relación que se presenta de los aniones solubles es Cl<sup>-</sup> > HCO<sub>3</sub><sup>2-</sup> > CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> encontrándose este último en sitios con evidencias de hidrólisis de testas de moluscos, aunque la pendiente es mínima en la zona donde existe una mayor elevación se presentan los HCO<sub>3</sub><sup>2-</sup> como anión predominante, mientras que en el resto del terreno predomina el Cl<sup>-</sup> que es el ion de mayor concentración el cual alcanza valores de 129.63 mmol (-) L<sup>-1</sup> lo cual se considera se debe a las descargas de aguas salinas residuales y a la solubilidad de este ión. Cuando hay acumulación de sales solubles en el suelo, tiende a

incrementarse el contenido de Na<sup>+</sup> intercambiable por lo que este se encuentra en posición favorable de competir con el Ca<sup>2+</sup> y el Mg<sup>2+</sup> por los sitios de intercambio.

Los valores de la CE fluctúan entre 0.61 y 117.8 dS m<sup>-1</sup>, lo que indica una elevada variación en la distribución de las sales, atribuible a los procesos de saturación con agua y su posterior desecación (Richards 1985). Al elevarse el manto freático las sales se disuelven y se redistribuyen sobre la superficie del suelo, influyendo para ello su solubilidad y el micro-relieve del terreno, ya que espacialmente los valores más elevados de CE., se encuentran en las zonas bajas, donde el drenaje es menos eficiente, lo que favorece su acumulación e inmovilización. Otro factor que reduce la movilidad de las sales en solución es la presencia de los HTP's, Su efecto tal como lo cita Pérez et al. (2002) se refleja en una disminución del espacio poroso del suelo (<= 50%), lo cual favorece que las sales queden expuestas sobre la superficie del terreno. Las muestras que presentan elevada CE tienen a su vez altas concentraciones de Cl<sup>-</sup> y Na<sup>+</sup> lo cual se explica por un incremento en la concentración de sales ocasionada por la descarga de aguas salinas residuales.

#### *Influencia de la salinidad en las propiedades de los suelos*

El color dominante en los suelos es pardo oscuro (10YR 3/3) en seco y pardo muy oscuro (10YR 2/2) en húmedo, debido a los altos contenidos de materia orgánica e hidrocarburos en el suelo. La materia orgánica proviene de los restos vegetales no degradados e inmovilizados por las condiciones anóxicas derivadas de la saturación con agua del terreno o condiciones de gley, lo que conculda al presentar un valor o intensidad <5 en la mayoría de las muestras de suelos y el cual corresponde a condiciones de óxido reducción, por mostrar condiciones parciales o completamente anaerobias, debido a los periodos prolongados de inundación (Seoánez 1999; Gerrard 2000).

Tabla 2: Propiedades físicas y químicas de los suelos

Muestra	HTP Mg kg <sup>-1</sup>	Densidad		Porosidad --- % ---	CE dS m <sup>-1</sup>	pH(H <sub>2</sub> O) 1:2.5	MO %	CIC	Cationes intercambiables				PSI %	
		aparente Mg m <sup>-3</sup>	real						Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>		
										----- Cmol(+) kg <sup>-1</sup> -----				
1	9,485.20	0.5	1.5	66.7	13.8	6.8	48.93	20.38	39.6	9.1	2.8	0.4	13.7	
2	710.91	0.6	1.5	60.0	41.6	6.6	34.37	20.90	34.0	57.6	6.9	0.9	33.0	
3	1,139.8	0.6	1.8	66.7	36.6	6.4	28.25	21.32	27.2	46.0	7.6	0.9	35.6	
4	646.9	0.8	2.1	61.9	46.5	6.5	18.96	15.51	64.8	7.8	19.1	0.6	123.1	
5	9,691.1	0.9	2.2	59.1	61.8	7.0	14.19	13.72	29.4	4.7	3.3	0.5	24.0	
6	300.2	0.6	1.7	64.7	25.2	6.6	29.71	20.85	32.9	47.6	8.7	0.9	41.7	
7	58.2	0.8	2.1	61.9	117.8	5.6	10.79	38.31	37.2	7.9	6.0	0.5	15.7	
8	40.1	1.0	2.2	54.5	10.3	6.1	4.37	28.12	39.5	11.3	4.8	0.6	17.1	
9	9.2	0.9	2.2	59.1	1.0	4.5	5.32	15.34	13.4	12.3	1.2	0.3	7.8	
10	8.3	1.2	2.4	50.0	7.5	5.6	1.97	7.93	7.3	0.5	1.0	0.2	12.6	
11	474.6	0.5	1.8	72.2	48.4	6.6	28.36	25.48	58.1	13.4	8.6	0.8	33.7	
12	1,052.5	0.6	1.5	60.0	36.2	6.5	34.53	16.36	25.1	18.5	4.3	0.6	26.3	
13	183.2	0.9	1.1	18.2	50.5	6.5	13.00	10.35	27.7	16.6	2.4	0.4	23.2	
14	25.3	1.2	2.5	52.0	35.6	4.5	1.33	19.57	4.1	1.5	0.8	0.3	4.1	
15	1,309.7	1.2	2.4	50.0	18.7	6.8	4.38	32.86	10.3	2.8	1.4	0.2	4.3	
16	315.9	1.1	2.4	54.2	25.3	5.2	3.17	8.24	7.3	0.6	1.2	0.4	14.6	
17	782.9	0.5	1.4	64.3	18.2	6.0	22.91	29.14	62.1	11.7	2.3	0.6	7.9	
18	12.8	0.7	1.7	58.8	15.02	6.2	23.74	15.88	23.6	9.2	2.3	0.5	14.5	
19	162.9	1.1	1.9	42.1	11.03	6.8	13.94	22.60	21.4	4.2	2.9	0.3	12.8	
20	293.6	1.0	2.4	58.3	15.3	6.4	7.07	10.98	10.1	6.3	1.3	0.3	11.8	
21	1,124.1	1.2	2.4	50.0	19.3	6.2	2.15	21.42	13.1	0.6	1.1	0.2	5.1	
22	33.4	0.7	1.7	58.8	5.3	5.5	21.06	21.59	24.8	16.9	3.1	0.5	14.4	
23	8.3	0.9	1.9	52.6	35.6	5.1	9.58	14.27	19.2	2.6	2.0	0.4	14.0	
24	88.5	0.9	1.8	50.0	12.9	5.3	7.90	9.89	13.1	5.3	0.8	0.2	8.1	
25	64.0	0.9	1.5	40.0	15.0	5.6	15.06	32.88	18.2	4.1	2.3	0.5	7.0	
26	1,124.1	1.1	2.4	54.2	48.3	6.4	3.27	8.99	17.8	4.3	1.0	0.3	11.1	
27	9.2	1.1	2.4	54.2	25.3	4.0	3.19	7.29	10.0	6.4	1.9	0.3	26.1	
28	250.8	1.2	2.5	52.0	12.0	7.0	5.74	9.88	13.1	6.9	1.3	0.2	13.2	

HTP = hidrocarburos totales; CE = conductividad eléctrica; Mo = Materia orgánica; CIC= Capacidad de intercambio catiónico; PSI = Porcentaje de sodio intercambiable.

La densidad aparente (Da), disminuye por la acumulación de materiales orgánicos e hidrocarburos transportados por el flujo del agua superficial, donde se determinó el valor mínimo en 0.48 Mg m<sup>-3</sup>. La mayoría de las muestras presentan valores que están dentro del rango de 0.50 y 1.00 Mg m<sup>-3</sup> por la acumulación de materia orgánica e hidrocarburos, la cual permanece inmovilizada por la saturación con agua a que está sujetos durante una época del año (Gerrard 2000). Los valores >1.1 Mg m<sup>-3</sup> de Da se presentaron en las muestras que a su vez están sujetas a una mayor compactación, por procesos de humedecimiento y secado, dada la estacionalidad de la temporada de lluvias y su cercanía a caminos donde el terreno fue rellenado y compactado, por el empleo de maquinaria (Tabla 2).

Al aumentar el contenido de materia orgánica la Da disminuye, pero se encuentra otro factor que cita Pérez (2002) donde la conductividad eléctrica, el

contenido de cationes en solución y el PSI tienen un efecto sobre la densidad, ya que mientras éstas incrementan, la Da disminuye debido a la posible dispersión del suelo ocasionada por un aumento de Na<sup>+</sup>.

Se considera que los efectos potenciales de una elevada CE, cationes solubles y PSI disminuyen debido al alto contenido de materia orgánica en las zonas con mayor acumulación de sales, debido a que esta puede contrarrestar los efectos nocivos del Na<sup>+</sup> intercambiable, como lo han descrito Serrato et al. (2002) y Corwin y Lesch (2005b), quienes aseguran que los suelos con alto contenido de MO y Na<sup>+</sup> intercambiable, impiden el deterioro de la condición física del suelo por su interacción con los materiales de intercambio catiónico, al servir de recurso para los microorganismos, los cuales inducen la agregación estable de las partículas del suelo.

La porosidad disminuye en ciertas zonas del área de estudio, lo cual se atribuye a la presencia de hidrocarburos de petróleo (HTP's) los cuales saturan los poros del suelo, provocando una disminución de esta (Martínez y López 2001). Los suelos son medianamente ácidos al presentar un pH de 5.1 a 6.5 aunque se encuentran zonas con un pH neutro (6.5-7.3) ubicadas en las partes bajas del terreno. También se encuentran pequeñas áreas fuertemente ácidas donde el pH oscila entre 3.9 y 5.0 debido a la presencia de cantidades elevadas de MO ya que su degradación genera ácidos orgánicos que acidifican el medio.

Arocena y Rutherford (2005) y Friedman (2005) mencionan que el PSI por encima del 15% genera valores de pH de medianamente a fuertemente alcalinos, lo cual no se cumple en los suelos del pasivo ambiental ya que no llegan a estos niveles de alcalinidad, por el elevado contenido de MO aunque ésta se encuentra en algunas zonas parcialmente inmovilizada por las condiciones de saturación con agua del terreno. Sin embargo, la presencia de HTP's y de sales inhiben la actividad biológica, por lo cual la liberación de  $H^+$  no es suficiente para contrarrestar totalmente el efecto de los cationes en el complejo de intercambio, pero es suficiente para mitigar el efecto del  $Na^+$  sobre el pH haciendo que este sea de ligeramente ácido a neutro lo cual se apoya en los trabajos de Richards (1985), Corwin y Lesch (2005b); Gerrard 2000; Auerswald et al. (2001); y Corwin y Lesch (2005c).

Los suelos son muy ricos en MO pero se considera que ésta se encuentra inmovilizada, debido a las condiciones reductoras provocadas por la saturación con agua, así como la presencia de HTP que llenan los poros, dificultando la penetración de oxígeno y favoreciendo la escasa descomposición aeróbica en los suelos (Adams et al. 2002; Olgúin et al. 2007). Además de que la acumulación de MO está influenciada por las condiciones de inundación y las especies de vegetación que se encuentran en las partes más bajas donde puede desplazarse en forma de partículas suspendidas sobre el terreno y coincide donde también se presenta la mayor acumulación de sales y HTP. En las zonas que carecen de cobertura vegetal éstas muestran una influencia directa sobre las

propiedades físicas del suelo, como son la presencia de eflorescencias salinas, así como una capa de suelo superficial disgregado de aproximadamente 2 cm., debido al elevado contenido de  $Na^+$  y  $Mg^{2+}$ , los cuales a su vez no permiten el establecimiento de otras especies vegetales (Corwin y Lesch 2005b; Olgúin et al. 2007).

La capacidad de intercambio catiónico (CIC) se considera media, ya que se encuentra en un intervalo de 15 a 25  $cmol^{(+)} kg^{-1}$ . Aunque los datos obtenidos demuestran la heterogeneidad de esta propiedad, ya que se presentan zonas donde los valores están entre 5 - 15  $cmol^{(+)} kg^{-1}$  por lo que considera baja y otras zonas con valores de entre 25 - 40  $cmol^{(+)} Kg^{-1}$  donde la CIC es alta concordando con el contenido y la disponibilidad de materia orgánica. En las zonas más bajas del terreno se encuentran los valores más elevados de CIC donde a su vez ocurre la mayor acumulación de HTP's y MO, por lo que se considera que ambos parámetros ocasionan que exista una mayor superficie coloidal para absorber y reemplazar cationes (Vázquez-Alarcón 1997).

La zona en estudio por su cercanía al mar está influenciada por una intrusión salina al acuífero, elevado nivel freático y reducido drenaje el cual tiende de manera natural a la acumulación de cationes con la consiguiente saturación de los sitios de intercambio por lo cual la saturación de bases (PSB) es mayor al 100%. El CPG la Venta al recibir descargas de aguas salinas residuales por la extracción del crudo, modifica la concentración natural de los cationes en el complejo de cambio ocasionando un incremento y sobresaturación de cationes como lo describe Arocena y Rutherford (2005). También se determinó la relación de cationes presentes en el complejo de intercambio, se definió que la relación dominante de los cationes es  $Ca^{2+} > Mg^{2+} > Na^+ > K^+$ , aunque en algunos sitios se encontró que puede haber una dominancia del  $Mg^{2+}$  sobre el  $Ca^{2+}$ . Los sitios con la relación de cationes modificada presentaron una falta de cobertura vegetal la cual puede atribuirse al efecto tóxico del  $Mg^{2+}$  cuando se encuentra como catión dominante en los suelos (Szabolcs 1989). De igual manera, se observó que una capa de aproximadamente 2 cm., de espesor del suelo se disgregaba fácilmente, lo cual se atribuye

a el efecto del  $\text{Na}^+$  (Serrato et al. 2002; Corwin y Lesch 2005).

#### *Clases de suelos por salinidad.*

Los suelos de la Clase I o NORMALES tienen una superficie de 0.10 ha. no presentan un incremento en su CE o PSI, por lo que se considera no tienen afectaciones por las descargas de aguas salinas que son utilizadas durante la extracción de crudo. Se localizan en las zonas más altas del terreno y más cercanas al canal que cruza el pasivo ambiental. Este canal originalmente fue donde se realizaban las descargas de aguas salinas residuales ahora sirve como dren el cual facilita la movilización de las sales de las zonas colindantes.

Los suelos de la Clase II o SALINOS tienen una superficie de 14.30 ha. Y son la clase dominante del pasivo ambiental (Tabla 3). Estos suelos presentan un incremento en la en la concentración de sales solubles, pero no de sodio, por lo cual se considera que se puede disminuir la concentración de las sales, simplemente con drenar estas áreas. Estos suelos se ubican en la zona central del área de estudio, hacia la porción suroeste, esta zona no es la más baja del terreno, pero recibe las sales lavadas de las áreas más altas y aquellas de las zonas que al elevarse el nivel del agua superficial durante la época de lluvias, por lo que se redistribuyen estacionalmente en el terreno.

La Clase III corresponde a los suelos SALINO – SODICOS, que ocupan una superficie de 7.47 ha (Tabla 3) siendo los más afectados por las descargas de aguas salinas residuales y para su posible rehabilitación requieren de la presencia de drenaje y el empleo de mejoradores que permitan desplazar el  $\text{Na}^+$  de los sitios de intercambio catiónico. Se ubican en las zonas más bajas, concentrándose en la porción sureste del terreno, las cuales no encuentran salida debido a las condiciones de drenaje y manto freático elevado. También se observaron áreas carentes de cobertura vegetal con eflorescencias y costras de sales, las cuales coinciden con los sitios de mayores concentraciones de hidrocarburos. Estas eflorescencias y costras se deben a que los hidrocarburos reducen la porosidad del suelo haciendo que las sales no desciendan y se

concentren en la superficie del suelo. La Clase IV corresponde a suelos SÓDICOS, los cuales presentan un incremento en la concentración sodio intercambiable. Estos ocupan una superficie de 5.13 ha. Esta Clase de suelos se ubica en la zona noreste junto a la barda que separa el área de estudio de la zona industrial, donde se presenta un lavado de sales que se desplazan hacia zonas más bajas, mientras que el  $\text{Na}^+$  queda retenido en el complejo de intercambio.

**Tabla 3. Clases de suelos por salinidad**

Clase	CE $\text{dSm}^{-1}$	PSI %	Superficie Ha	Porcentaje %
I	<4	<15	0.10	0.38
II	>4	<15	14.30	52.96
III	<4	>15	7.47	27.66
IV	>4	>15	5.13	19.00
Total			27.00	100.00

## CONCLUSIONES

Los suelos del área de estudio se encuentran sujetos a procesos de salinización y sodificación, siendo la principal causa la descarga de aguas salinas residuales que son liberadas durante el proceso de deshidratación de crudo.

En la zona de estudio, las sales se distribuyen de manera heterogénea debido a las fluctuaciones del manto freático, encontrándose las mayores concentraciones en las zonas más bajas del terreno. Asimismo, la presencia de hidrocarburos influye en la inmovilización de las sales y originan zonas con carencia de cobertura vegetal y formación de capas superficiales de eflorescencias salinas.

Las sales en la zona de estudio tienen características de elevada toxicidad por  $\text{Na}^+$  y  $\text{Mg}^{2+}$  lo cual impacta de manera negativa a la vegetación, considerando que el  $\text{NaCl}$  es la más abundante, por la solubilidad de sus constituyentes.

Las Clases de suelos que requieren de mayor atención son III y IV por su incremento en la concentración de  $\text{Na}^+$  intercambiable, además de que



ambas clases representan el 48.8% de la superficie total del área estudiada.

Los suelos de la Clase II o SALINOS ocupan la mayor superficie del pasivo ambiental, seguidos por los de Clase III o SALINO – SODICOS y Clase IV SODICOS.

## AGRADECIMIENTOS

Al personal del Complejo Procesador de Gas La Venta por las facilidades otorgadas para la realización de este trabajo.

## BIBLIOGRAFÍA

- Adams R, Domínguez V, García L. 1999. Potencial de la biorremediación de suelo y agua impactados por petróleo en el trópico mexicano. *Terra* 17(2):159-174.
- Adams R, Domínguez V, Vinalay L. 2002. Evaluation of microbial respiration and ecotoxicity in contaminated soils representative of the petroleum producing region of southeastern Mexico. *Terra* 20(3):253-265.
- Arocena J, Rutherford P. 2005. Properties of hydrocarbon- and salt-contaminated flare pit soils in northeastern British Columbia (Canada). *Chemosphere* 60:567-575.
- Auerswald K, Simon S, Stanjek H. 2001. Influence of soil properties on electrical conductivity under humid water regimes. *Soil Science* 166(6):382-390.
- Baver, Gardner, W. H. y Gardner, W. R. 1973. Física de suelos. ed. Uthea, México. 529p
- Beltrán E. 1993. Los impactos del petróleo en Tabasco: realidad y perspectivas. Gobierno del Estado de Tabasco. México.
- Botello A, Díaz G, Villanueva F, Salazar L. 1993. Presence of PAH's in coastal environments of the southeast Gulf of Mexico, Polycyclic Aromatic Compounds. 3:397-404.
- Corwin D, Lesch S. 2005. Apparent soil electrical conductivity measurements in agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*. 46:11-43.
- Corwin D, Lesch S. 2005b. Characterizing soil spatial variability with apparent soil electrical conductivity: I. Survey protocols. *Computers and Electronics in Agriculture* 46:103-133.
- Corwin D, Lesch S. 2005c. Characterizing soil spatial variability with apparent soil electrical conductivity: II. Case study. *Computers and Electronics in Agriculture* 46:135-152.
- Corwin D, Kaffka S, Hopmans J, Mori Y, Van Groenigen J, Van Kessel C, Lesch S, Oster J. 2003. Assessment and field-scale mapping of soil quality properties of a saline-sodic soil. *Geoderma* 114:231-259.
- Díaz G, Cámara V, Botello A, Ponce G. 1995. Evaluación de hidrocarburos aromáticos policíclicos en suelos hidromórficos de la reserva de la biosfera “los Pantanos de Centra” en Tabasco, México, *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* 12(1):15-21.
- Diego-Pérez N, Ramos-Álvarez CH, Martínez E. 2001. Un nuevo registro *Cyperus* para México. *Acta Botánica Mexicana* 55: 17-20
- Friedman S. 2005. Soil properties influencing apparent electrical conductivity: A review. *Computers and Electronics in Agriculture*. 46:45-70.
- García E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). Ed. Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Gerrard J. 2000. *Fundamentals of soils*. Routledge. London, U.K.
- IMP, UNAM, Batelle, PGPB y PEP. 2000. Diagnóstico de los efectos ambientales de la industria petrolera asociados a la región sur de PEP. Proyecto Ambiental de la Región Sur. No. Control INF-PARS-01. Instituto Mexicano del Petróleo, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto Batelle, Pemex Gas y Petroquímica Básica, Pemex Exploración y Producción. México, D.F.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática). 1986. Síntesis Geográfica, Nomenclátor y Anexo Cartográfico del Estado de Tabasco. Ed. INEGI. México 116 p.
- Jackson ML. 1982. *Análisis Químico de Suelos*. 4ta ed. Ed. Omega. Barcelona, España 662 p.
- Martínez V, López F. 2001. Efectos de los Hidrocarburos en las Propiedades Físicas y Químicas de un Suelo Arcilloso. *Terra* 19(1): 9 - 17.
- Munsell®. 1998. *Soil Color Charts*. Ed. Macbeth Division of Munsell Color. Baltimore, Maryland. USA.
- Navarrete M. 2005. Contaminación por metales pesados en tres unidades de suelo, ocasionada por derrames de petróleo en el Distrito de Agua Dulce Tabasco. Tesis Biología. Facultad de Ciencias, UNAM. México. 64 p.
- Olgún JE, El Hernández M, Sánchez-Galván G. 2007. Contaminación de manglares por hidrocarburos y estrategias de biorremediación, fitorremediación y restauración. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* 23(3): 139-154.

- Palma L, Cisneros J. 1996. Plan de uso sustentable de los suelos de Tabasco. Fundación PROCEDE Tabasco A.C. México.
- Pérez J, García G, Esparza F. 2002. Papel ecológico de la rizosfera en fitorremediación. Avance y Perspectiva. 21:297-300.
- Pérez O. 2002. Efecto de la aplicación de aguas residuales industriales en las propiedades físicas y químicas del suelo. *Agrociencia* 36(3):279-290.
- Pineda N, Elizalde G, Jaimes E, Ochoa G. 2000. Validación de una metodología para definir tipos de suelo en forma sencilla. *Agronomía Tropical* 50(3):477-498.
- Richards L. 1985. Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos. Limusa. México.
- Rivera-Cruz M, Ferrera-Cerrato C, Volke-Haller R, Fernández-Linares V, Rodríguez-Vázquez LR. 2002. Poblaciones microbianas en perfiles de suelos afectados por hidrocarburos del petróleo en el estado de Tabasco, México. *Agrociencia* 36 (2):149-160.
- Rowell D, Pateras D. 2002. Diffusion and cation Exchange during the reclamation of saline-structure soil. *Geoderma* 107: 271 – 209.
- Russi D, Martínez-Alier J. 2002. Los pasivos ambientales. *Debates Ambientales* 24: 107 - 112
- SEMARNAT (Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2001. NOM-023-SEMARNAT-2001. Norma Oficial Mexicana que establece las especificaciones técnicas que deberá contener la cartografía y la clasificación para la elaboración de los inventarios de suelos. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. Diario Oficial de la Federación. México.
- SEMARNAT. (Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2002. NOM-021-SEMARNAT-2002. Norma Oficial Mexicana que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificaron de suelos. Estudios muestreo y análisis. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. Diario Oficial de la Federación. México.
- Seoanez M. 1999. Contaminación del suelo: Estudios, Tratamiento y Gestión. Mundi Prensa. Madrid, España.
- Serrato R, Ortiz A, López J, Berúmen S. 2002. Aplicación de lavado y estiércol para recuperar suelos salinos en la comarca lagunera, México. *Terra* 20(3):329-336.
- Soil Survey Staff. 1999. Soil Taxonomy: A basic system of soil classification for making and interpreting soil survey. Second Edition. No. 436. Agriculture handbook. Ed. United States Department of Agriculture and Natural Resources Conservation Service., Washington, USA. 879 p.
- Szabolcs I. 1989. Salts-affected soils, C.R.C. Press Inc. Florida, U.S.A.
- Velásquez-Alarcón A. 1997. Guía para interpretar el análisis químico del agua y suelo. Departamento de Suelos. Universidad Autónoma Chapingo. México.
- Walkley A, Black IA. 1947. An examination of the deghthareff method for determining soil organic and a proposed modification of chromic acid titration method. *Soil Science*, no. 37, pp. 29-38.