

Características geológicas, sedimentológicas y químicas de un pequeño cuerpo de agua superficial (*jagüey*) en el noreste de México

Elia Hoz Zavala*

Guadalupe de la Lanza Espino**

Alejandro Álvarez Arellano***

Recibido: 4 de junio de 2002

Aceptado en versión final: 18 de noviembre de 2002

Resumen. Se determinaron las características geológicas, sedimentológicas y químicas de los sedimentos del fondo de un pequeño cuerpo de agua superficial, denominado *jagüey*, en el noreste de México. El *jagüey* es una depresión costera reciente cubierta por una delgada lámina de agua dulce de forma circular, de poca circulación, con predominancia de arena-arcillosa en el fondo, lo que permite el contacto con el manto freático del que se alimenta a través de filtraciones. Una delgada capa de sedimentos superficiales es ácida y el resto son sedimentos alcalinos, debido a la presencia de carbonato de calcio. El alto contenido de nitrógeno y fósforo en los sedimentos indican un impacto en el *jagüey* a causa de la entrada de nutrientes alóctonos. Dada su poca profundidad, su circulación limitada, una prolongada sequía y la alta tasa de evaporación, se considera a este cuerpo de agua en un estado de hipertrofia y senilidad, a pesar de tener un origen geológico reciente.

Palabras clave: Geoquímica, reservorios naturales de agua, *jagüeyes*.

Geological, sedimentological and chemical characteristics of a small superficial water body (*jagüey*) in Northern Mexico

Abstract. The geological, sedimentological and chemical characteristics of the bottom sediments of a small superficial water body locally called "*jagüey*" located in northeastern Mexico were investigated. The *jagüey* is a recent circle-shaped coastal depression covered by a shallow layer of fresh water characterized by a poor circulation. The sandy-clayey bottom allows contact with underground water that supplies water through filtration. A thin layer of the topmost sediments is acid and the remainder are alkaline due to the presence of calcium carbonate. The high nitrogen and phosphorus content in sediments indicate an impact to the *jagüey* derived from the input of allocthonous nutrients. Given its little depth, limited water circulation, prolonged drought and high evaporation rate, this water body is regarded as hypertrophic and senile despite its recent geological origin.

Key words: Geochemistry, natural water reservoirs, *jagüey*.

INTRODUCCIÓN

El 28% de la recarga de los cuerpos de agua en México se debe a la precipitación anual. La Comisión Nacional del Agua en México (CNA) tiene un estimado de recarga natural de 48 km³ en 459 acuíferos y de 15 km³ de recarga inducida en áreas agrícolas; lo que hace una recarga anual de 63 knr (INEGI, 1997).

El Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática de México (INEGI), ha registrado 6 910 km² de lagos y reservorios en México, de los cuales 2 100 corresponden a

lagos y 4 810 son reservorios (INEGI, 1995). El 73% de los cuerpos de agua del país están impactados con un cierto grado de contaminación (CNA, 2001), por lo que resulta altamente prioritario definir su origen y evolución geológica, para determinar y evaluar su tendencia e impacto antropogénico. Los *jagüeyes*, objetivo del presente estudio, son un tipo de pequeños reservorios superficiales que representan en el noreste de México una importante fuente de suministro de agua para el consumo humano y para ciertas actividades agropecuarias (Hoz y De la Lanza, 2002). A lo largo de la franja costera del noreste de México, desde el municipio

*Asociación Tamaulipeca de Investigación Científica y Tecnológica, A. C. (ATICTAC), Tampico, Tamaulipas.

**Departamento de Zoología, Instituto de Biología, UNAM, Circuito Jardín Botánico Exterior, Cd. Universitaria, 04510, Coyoacán, México, D. F. E-mail: gdlle@servidor.unam.mx

***Universidad Autónoma de Baja California Sur, La Paz, Baja California Sur.

de San Fernando hasta el de Altamira, hay jagüeyes; algunos de agua dulce influenciados por los escurrimientos de la Sierra Madre Oriental y otros salinos, cuya recarga está influenciada por la cuña salina. Actualmente existen 20 jagüeyes (Hoz y De la Lanza, 2002) entre ambas formas; aunque Prieto (1975) informó de aproximadamente 40 en 1873, que han desaparecido por factores naturales y antropogénicos, sin haberse conocido sus características geológicas, físicas, químicas y biológicas.

Este trabajo aborda la geología de un jagüey cercano a la ciudad de Altamira y forma parte de una amplia investigación que incluye calidad del agua y su biología, como elementos integrativos para comprender, manejar y conservar estos cuerpos de agua en el noreste de México.

ÁREA EN ESTUDIO

El área en estudio se encuentra a 1.5 km de la carretera Tampico-Ciudad Victoria, 5 km al norte de la ciudad de Altamira, dentro de la denominada zona industrial y en el municipio del mismo nombre, al sur del estado de Tamaulipas. Se ubica a los 22°26' de latitud norte y 97°54' de longitud oeste y tiene una altitud de 30 msnm (Figura 1).

Por su ubicación geográfica, y conforme a la clasificación de Köppen, presenta el clima que se clasifica como Awo(e), que corresponde al grupo cálido húmedo, con una temperatura media anual mayor que 22° C, su oscilación varía entre 7 y 14° C. Registra lluvias en verano y sequía en invierno (García, 1981).

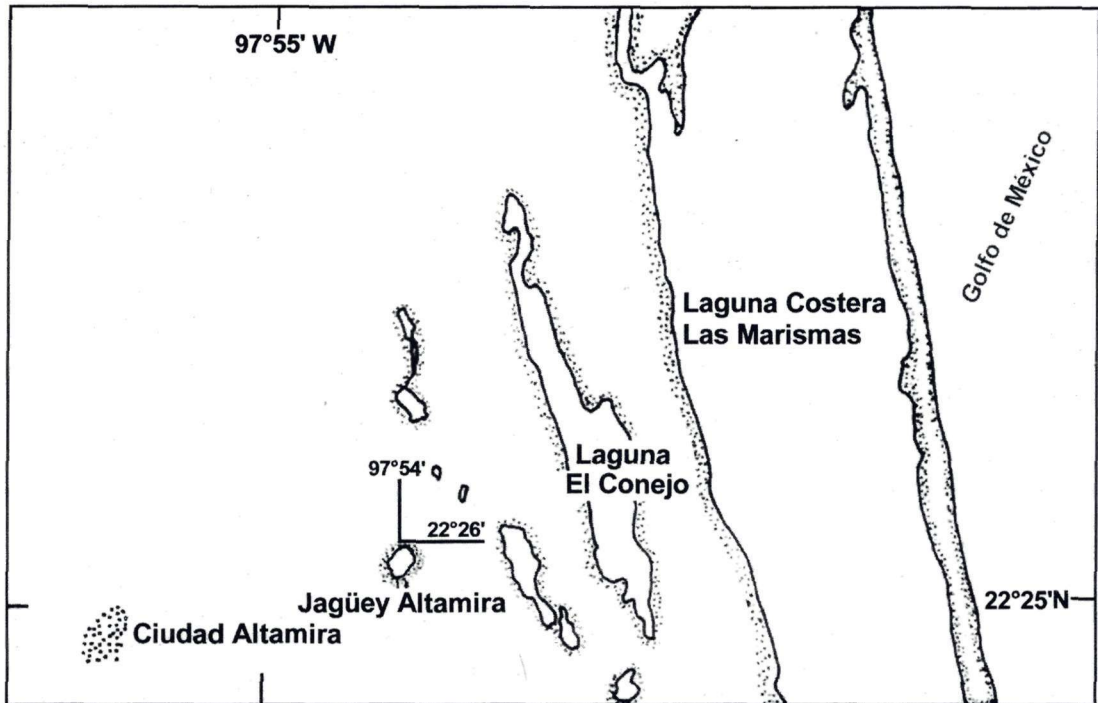


Figura 1. Localización del jagüey en Altamira, Tamaulipas, México (tomado de Hoz y De la Lanza, 2000).

La precipitación anual oscila entre 788.6 mm y 1 094 mm. El mes más lluvioso es junio, con 218.9 mm. Sin embargo, en los alrededores de Altamira se localizan pequeñas áreas con mayor grado de humedad, en donde la precipitación anual va de 1 068.5 a 1 578.5 mm. El promedio mensual es de 280 mm (INEGI, 1983a). La evaporación promedio anual en la zona alcanza 1 520.8 mm (hasta 1986), siendo el mes de agosto el de mayor evaporación, 172.9 mm en promedio (CNA, rep. clim. 1990-1995).

Por su situación geográfica, Altamira se encuentra influenciada por el centro de las bajas presiones ecuatoriales y por el de las altas presiones de la latitud 30° N. Por su vecindad con el Golfo de México también se ve influenciada por los centros ciclónicos y anticiclónicos, cuyos vientos alcanzan velocidades de 170 km/h y ráfagas de 240 km/h (INEGI, 1983a).

Fisiográficamente el área en estudio se ubica en la provincia Llanura Costera del Golfo Norte, y corresponde a la subprovincia Llanura Costera Tamaulipeca, en los límites con la subprovincia Llanuras y Lomeríos que se encuentran al oeste. Geológicamente la región está cubierta por rocas sedimentarias terciarias de la provincia llamada cuenca Tampico-Misantla, constituida por una potente secuencia de sedimentos marinos arenarcillosos. La limitan principalmente estructuras orogénicas del inicio del Cenozoico; al norte, la Sierra de Tamaulipas, al occidente la Sierra Madre Oriental y la Antefosa de Chicontepec y, al sur, el Macizo de Teziutlán. En esta cuenca los depósitos terciarios ocurrieron en un marco de regresión general del mar hacia el este, que fue dejando sucesivas bandas de afloramiento paralelas a la actual línea de costa (INEGI, 1983a; INEGI, 1984).

Conforme a las cartas de suelos del INEGI (1983b), los suelos en la zona no son profundos, ya que son menores a 90 cm de

espesor, presentando obstrucción superficial de 5 a 15% y sin fases diúricas en sus horizontes. En la parte superficial tienen un pH ácido, son de textura arcillo-arenosa, y las calizas y el carbonato de calcio puro permanecen inalterados, no mostrando signos de intemperización (SARH, 1973). A mayor profundidad el pH es alcalino, con gran acumulación de carbonato en la parte arcillosa y altos contenidos de calcio asimilables, lo que hace suponer que este subsuelo se ha derivado de rocas calizas.

El sitio de estudio se encuentra en la región hidrológica San Fernando Soto La Marina en la Cuenca Laguna de San Andrés-Laguna Morales. La corriente fluvial más importante y principal recurso hidrológico es el río Barberena, que nace en la Sierra de Tamaulipas y se ubica en la parte norte del municipio de Altamira. La unidad geohidrológica en la zona de Altamira corresponde al material consolidado de permeabilidad baja que está formado por lutitas y areniscas de las formaciones Cárdenas y Méndez del Cretácico Superior. Las condiciones de baja permeabilidad se deben principalmente a su composición arcillosa, su escasa fragmentación y la horizontalidad de sus estratos. La recarga de los acuíferos se debe a la infiltración directa del agua pluvial a través de las unidades litológicas que presentan condiciones de permeabilidad favorable, sobre todo los cauces de ríos y arroyos y aquellas unidades con características estructurales (fallamiento y fracturamiento) que favorecen la infiltración. El flujo subterráneo en el área, por lo general, conserva la dirección de las corrientes superficiales de oeste a este, con bajo flujo de energía (INEGI, 1983a).

Altamira se localiza en la denominada selva baja caducifolia, tular, pastizal cultivado y agricultura de temporal (INEGI, 1983b); sin embargo, este tipo de vegetación ha sido muy afectada, quedando en la actualidad predominantemente huizachal (*Acacia*

farnesiana), así como pasto esparto predominante en suelos agrícolas abandonados.

González Medrano (1966) considera que en el noreste de Tamaulipas la vegetación es de tipo mezquital y que las partes con pastizal se deben a factores edáficos particulares, como el exceso de sales para el caso de sacahuistal de *Spartina spartinae* y el pastizal halófilo de *Monantochlœ littoralis* y *Distichlis spicata*.

METODOLOGÍA

Del jagüey estudiado, que se ubica a los 22°26' de latitud norte y 97°54' de longitud oeste, se seleccionaron dos sitios de muestreo; uno en la parte sur y otro en la norte. Este jagüey, que no alcanza una dimensión mayor a una hectárea, es el menos afectado por las actividades humanas en la región.

Se determinaron la extensión del jagüey y la batimetría con base en la configuración del

lecho o fondo, para lo cual se tomaron como referencia los mapas topográficos y de suelos de la SARH (1973), escala 1:50 000 y los mapas de la síntesis geográfica del estado de Tamaulipas de 1983.

Para la determinación de la extensión y profundidad del jagüey se estableció la cota de cero desde la superficie del cuerpo de agua. La profundidad se midió en los vértices de una retícula de 5 m por lado, orientada norte-sur, oriente-poniente (Figura 2).

Se realizaron seis visitas al área aledaña al jagüey para determinar las características geológicas e hidrológicas de la misma, a través de observaciones directas y de sondeos eléctricos (basado en la conductividad del agua en el subsuelo, para detección del manto freático). Se perforaron dos pozos con una barrena sacamuestras, uno de 10 m de profundidad para el sondeo y otro de 30 m, para encontrar el nivel piezométrico de referencia. Se perforaron otros dos pozos,

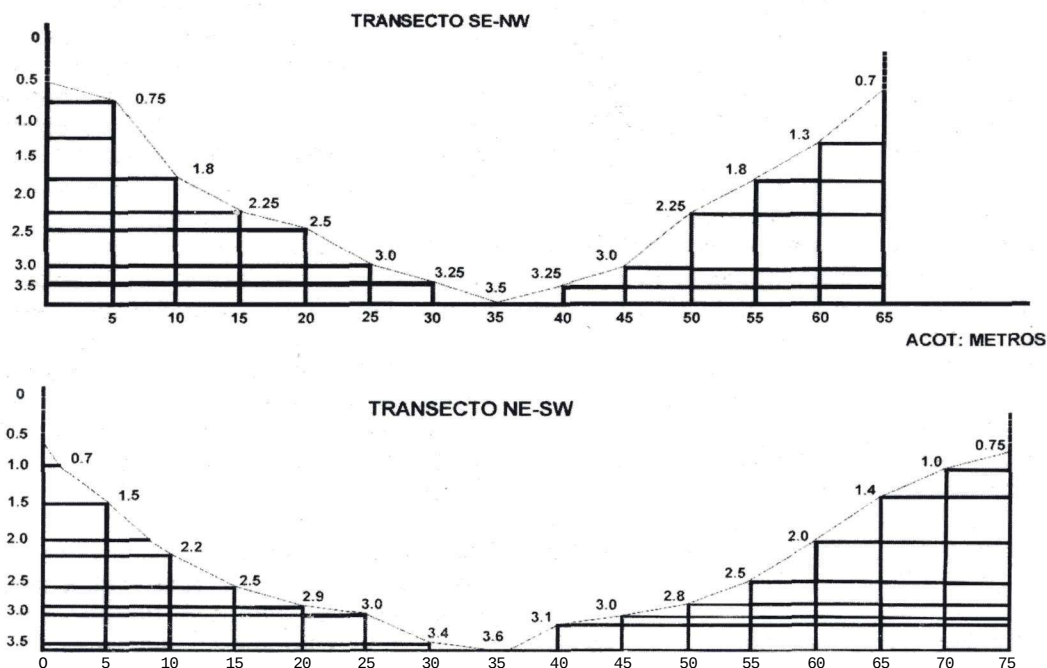


Figura 2. Sección que establece las dimensiones y profundidad del jagüey.

uno al norte y otro al sur del jagüey, con profundidad inicial de 2 m, continuando la perforación hasta 4 m, donde se encontró el nivel piezométrico. También se consideró la información proporcionada por PEMEX Exploración Altamira (comunicación personal) y lo referenciado por López-Ramos (1979), para complementar la información geoquímica del agua y la estratigrafía del lugar.

Se determinó la granulometría de las muestras de sedimento con base en la metodología propuesta por Alegría y Zamora (1985), que se basa en la cuantificación porcentual granulométrica de arena, limo y arcilla presente en el sedimento, a través del paso de partículas por tamizado de mallas del No. 10 (abertura de malla de 2.00 mm), 20 (abertura de 0.84 mm), 40 (abertura de 0.42 mm), 60 (abertura de 0.25 mm), 100 (abertura de 0.149 mm) y 200 (abertura de 0.074 mm). De acuerdo con ello, las arenas gruesas, medias y finas presentan un tamaño que va de 2 a 0.2 mm, los limos gruesos y finos, un tamaño de 0.02 a 0.006 mm y las arcillas gruesas y finas oscilan entre 0.02 a 0.0006 mm.

De acuerdo con la composición y porcentajes calculados por temporada, se elaboró un diagrama de depositación de materiales en el interior del jagüey y se estableció la forma en que se produce su movimiento en función de la época del año. Para ello se consideraron las metodologías propuestas por Pettijohn (1956) y Folk (1969).

En el análisis de los sedimentos se tomaron en cuenta aquellos parámetros que pudieran dar mayor referencia en cuanto al marco ambiental del cuerpo de agua. Se tomó como referencia, tanto para el muestreo como para el análisis, el *Manual de análisis de suelo, agua y plantas de la SARH* (1975), APHA (1976) y Mata (1992), así como el *Manual de suelos* de Palmer y Troeh (1989) y los Criterios Ecológicos de Calidad de Agua establecidos en el *Diario Oficial de la*

Federación CE-CCA-001/89 y el *Manual de Geotecnia* de Alegría y Zamora (1985).

En cuanto a la elección de parámetros químicos en el sedimento, se tomó como base aquellos propuestos por Hoz y De la Lanza (2000) que fueron: grasas y aceites, fósforo total, nitrógeno total, materia orgánica (%), pH, conductividad, sulfatos, fenoles, cianuro, cromo, cadmio, fierro y plomo, que representaron la geoquímica local, y también se definieron la permeabilidad, el uso actual del suelo, así como los procesos de erosión y depósito.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El área en estudio corresponde a una topografía de llanura inundable, cuyo origen geológico es la acreción costera por sedimentación de materiales terrígenos provenientes del acarreo fluvial y redistribuidos por las corrientes litorales marinas cuyo patrón de sedimentación y de circulación tiene una orientación general de norte a sur.

El agua de estos jagüeyes es dulce, aun estando cerca de la costa, debido a que son alimentados por flujos de agua subsuperficial de los acuíferos subaéreos que afloran localizadamente en depresiones topográficas aisladas.

La secuencia estratigráfica del área en estudio consiste en rocas y sedimentos del Terciario y Cuaternario. El afloramiento representativo de rocas terciarias se localiza en la entrada del boulevard Petrocel, cerca de la carretera Tampico-Ciudad Mante, a menos de 2 km del sitio en estudio. Este afloramiento consiste de formaciones calcáreas, cuya edad más antigua es del Oligoceno. Se le denomina Formación Mesón. La suprayace, en discordancia, una caliza (Bounstone) coquinoide de edad Pleistoceno. Se observa una delgada capa de arenisca roja indicando esta discordancia. Sobre estas rocas se encuentran sedimentos

areno-arcillosos y arenas del Cuaternario (López-Ramos, 1956; González, comunicación personal; Figura 3).

También se observó en una excavación realizada para la construcción de una planta petroquímica, localizada a 2.5 km al noroeste del jagüey estudiado, un afloramiento de coquina pleistocénica cubierto por una secuencia areno-arcillosa. La aparición de la coquina aflorando hace suponer la existencia de un fuerte paleorrelieve tipo kárstico en el subsuelo y las depresiones topográficas de este antiguo relieve pueden estar relacionadas con el jagüey. Los afloramientos de esta roca coquinoide funcionan como área de recarga para el acuífero de esta roca en el subsuelo debido a su alta permeabilidad (González, comunicación personal).

Al perforar los dos pozos, se logró localizar el nivel piezométrico a cuatro metros de profundidad y el nivel freático a tres metros, lo que demuestra lo somero de estos niveles y su influencia en la recarga del jagüey (Figura 3). De las muestras colectadas en los pozos, de las observaciones en los afloramientos citados y de los registros eléctricos se pueden distinguir las siguientes unidades litoestratigráficas:

a) Arena color café claro de grano fino con partículas de cuarzo, plagioclasa rosa, vidrio volcánico y magnetita negra. Su color se debe a la presencia de materia orgánica, ligeramente húmeda y compacta. El espesor medido fue de 30 cm.

b) Arena color crema, sin compactar, de grano fino con partículas de cuarzo, vidrio volcánico, plagioclasa rosa y magnetita negra, ligeramente húmeda. No calcárea. Su espesor alcanza 20 cm y es muy porosa.

c) Arena-arcillosa de color gris claro verdoso con vetillas de color rojo y amarillo. Con partículas de cuarzo fino. Es un sedimento plástico al estar húmedo (arcilla tipo mont-

morillonítica). A través de sondeo eléctrico se infirió un espesor de 10 m para esta unidad.

d) Caliza (Bounston). Corresponde a una coquina pleistocénica de color amarillo claro. Intemperiza a color blanco. Contiene abundantes bioclastos unidos con cementante de carbonato de calcio. Muestra una estratificación cruzada, con echado preferente al este. No se observó compactación. Tiene porosidad primaria alta. El espesor inferido por sondeo eléctrico es variable, pudiendo llegar a ser hasta de 30 m. Esta unidad fue la que se observó aflorando en la excavación al noroeste del jagüey

e) Arena roja de grano fino. Contiene granos de cuarzo mezclados con arcilla laterítica de color rojo con espesor variable de unos cuantos centímetros.

f) Caliza (Packstone). Corresponde a la Formación Mesón (caliza areno-arcillosa) de edad Oligoceno, es de color crema, con abundantes bioclastos (conchas) y estratificación masiva. Se encontró calcita recristalizada y dolomitizada, dura y porosidad primaria debido a los bioclastos.

El jagüey se encuentra dentro de una secuencia estratigráfica que muestra la gran influencia de la zona costera en su origen; es decir, dentro de una interacción del mar somero, el continente y las aguas epicontinentales, tal como lo señalan algunos autores como Yáñez (1986).

La estratigrafía del lugar confirma también el origen del jagüey como un cuerpo de agua formado por el embalsamiento de agua dulce proveniente de un flujo subterráneo muy somero debido a depresiones topográficas, probablemente de origen kárstico, que llegan a alcanzar el nivel freático.

La textura de los suelos en la región en general corresponde a una capa superficial

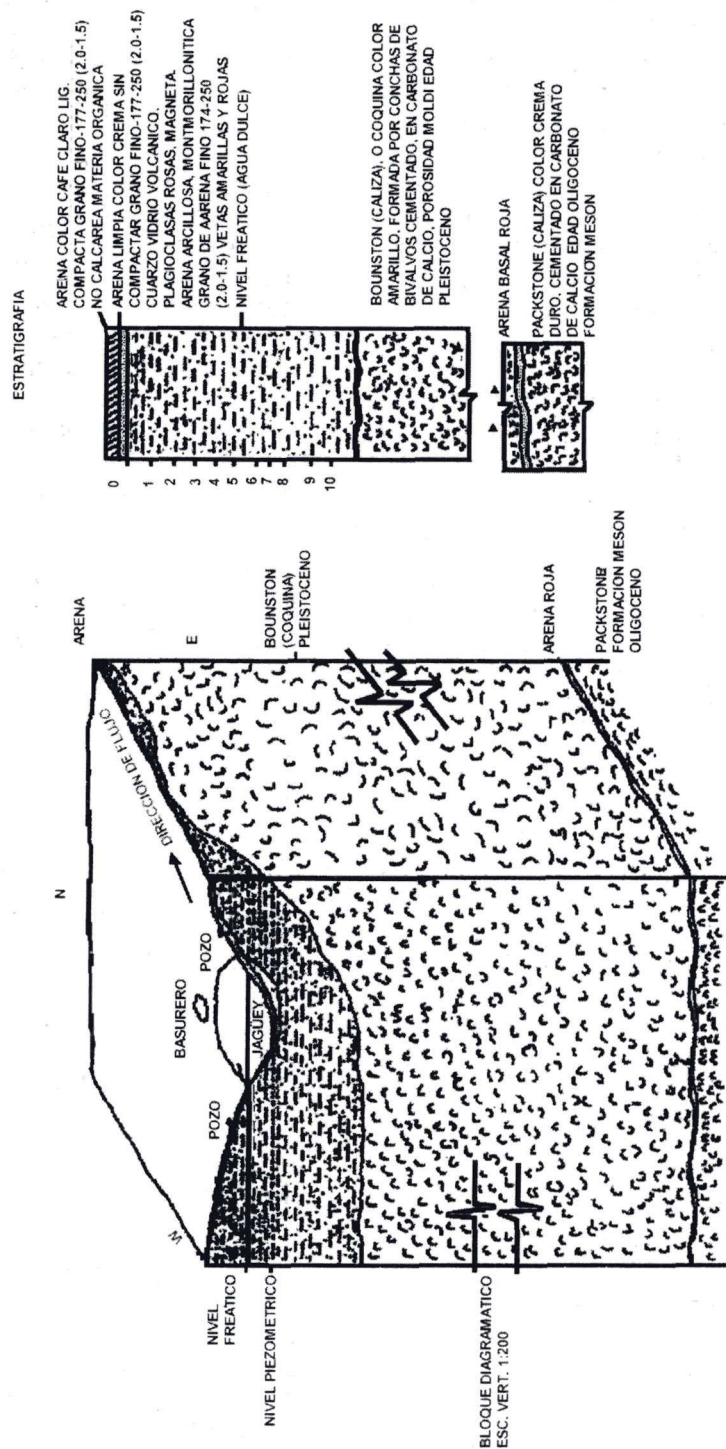


Figura 3. Modelo geológico, geohidrológico y estratigrafía del jagüey ubicado en Altamira, Tamaulipas.

(no mayor a 60 cm) formada principalmente de arena, que permite un mayor flujo y transportación de materiales disueltos, a diferencia de la zona areno-arcillosa subyacente donde el movimiento es más lento, debido a la baja permeabilidad por la presencia de arcilla (SARH, 1973). La presencia de la caliza coquinoide determina la alcalinidad del subsuelo. La capa arenosa superficial, es muy delgada debido a la deflación por el viento, cuya dirección dominante es al noreste.

En relación con la batimetría del jagüey, la profundidad máxima registrada fue de 3.5 m y la mínima de 70 cm en las márgenes (Figura 4). La conformación del mapa batimétrico muestra al jagüey como un cuerpo de tipo cóncavo de sección circular con la mayor profundidad al centro. No se observan corrientes significativas en el interior de este cuerpo de agua; sin embargo, las ligeras diferencias de elevación en los niveles piezométricos observados en los pozos supone

la existencia de un flujo de oeste a este, que debe ser muy activo en época de recarga por precipitación pluvial. Este flujo transporta sedimentos y carga disuelta en esa misma dirección.

No existen corrientes superficiales de agua de alta energía y, por tanto, son de poca importancia sus efectos sobre el relieve. A pesar de ser un área relativamente joven, geológicamente, se comporta de una manera senil en la superficie, donde se conforma una topoforma tipo penillanura. En cambio, su comportamiento en el subsuelo es activo, es decir, como cuenca geohidrológicamente joven, con aportes de agua hacia el exterior (González, comunicación personal).

En los pozos perforados se detectó que a la profundidad de dos metros existía una zona de capilaridad. A tres metros se encontró el nivel freático y a cuatro metros, un nivel piezométrico o superficie potenciométrica. El

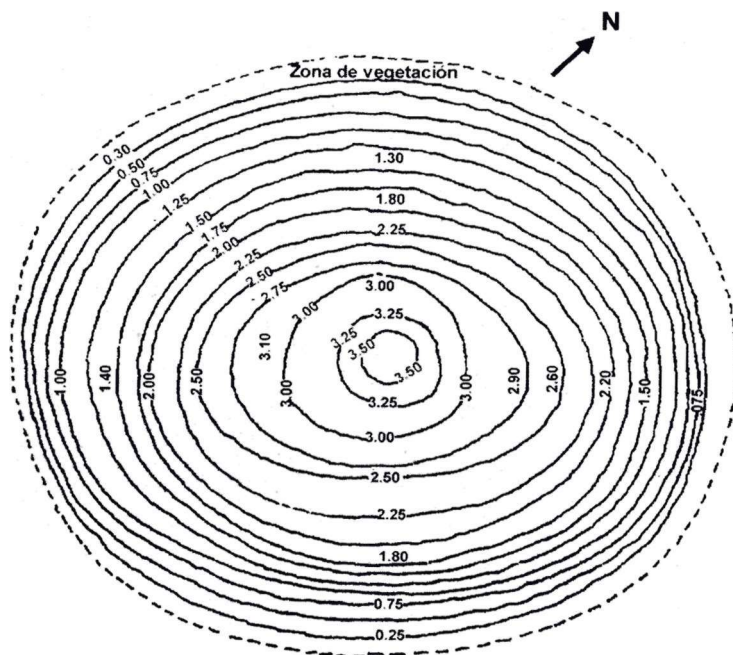


Figura 4. Batimetría e isobatas del jagüey ubicado en Altamira, Tamaulipas.

sedimento perforado lo constituye la arena arcillosa de color gris verdosa, con vetillas rojas y amarillas, cuya baja permeabilidad provocó un efecto de supresión; es decir, el agua con cierta carga hidráulica en el subsuelo se vio confinada e impidió su ascenso por el de la capa de arena-arcillosa que actúa como horizonte impermeable. Al romperse esta capa areno-arcillosa, con motivo de la perforación, el agua subió de 4 m de profundidad a un nivel de 3 m.

Se observaron permeabilidades superficiales altas, de 0.027 cm/s, hasta una profundidad de 50 cm (zona de arena). A partir de esta profundidad las permeabilidades decrecieron hasta 2.7×10^{-5} cm/s (zona areno-arcillosa), lo cual indica que una parte del agua meteorica que se infiltra fluye por el subsuelo encima de la arena arcillosa, hacia los jagüeyes; y otra, forma parte de los acuíferos más profundos localizados en el área. Las arenas más someras sirven de conducto para las aguas meteoricas, por su gran permeabilidad. Las arenas arcillosas, dada su baja permeabilidad, se comportan como sellos y receptoras de material fino y disuelto, ya que se observó alteración e impregnación química alóctona en ellas. En la capa de arena no se apreció impregnación ni alteración, ya que el agua pasó a través de ella con cierta rapidez.

La composición sedimentológica del jagüey y de su área aledaña se muestra en las Tablas 1, 2 y 3.

El análisis del suelo colindante al jagüey, de acuerdo con el *Sistema Unificado de Clasificación de Suelo* (SUCS), propuesto por Casagrande en 1942 (Alegria y Zamora, 1985), indicó ser de tipo SM, compuesto por arenas limosas. Más del 12% pasó por la malla 200 (Tabla 1).

La composición del suelo fue arenosa, caracterizada como permeable, con una infiltración de 12.6 cm/h (SARH, 1973); por consi-

guiente, en ese suelo el ensalitramiento es poco probable. De acuerdo con el grado de saturación, el estado del suelo es ligeramente húmedo.

La composición de los sedimentos del jagüey fue SM; es decir, la misma que la del suelo aledaño. Sin embargo, el grado de saturación fue del 50%, por lo que se les clasifica como suelos húmedos a muy húmedos (Alegria y Zamora, 1985; Tablas 2 y 3).

De la cuantificación porcentual del contenido de las fracciones texturales principales (arena, limo y arcilla) del sedimento del jagüey muestreado a lo largo de un año de estudio, se elaboraron las figuras de deposición sedimentológica, que señalan un movimiento de los sedimentos a través del tiempo (Figura 5). La deposición parece tener la tendencia de realizarse de sur a norte, dado que, de acuerdo con la Figura 5 y por observación directa en campo, en la margen sur del jagüey es donde se presenta la mayor erosión, la cual es fácilmente observable durante la época de seca o estiaje, cuando el nivel de profundidad del cuerpo de agua disminuye de 3.5 m a 1.5 m y deja descubierta a una gran parte de su fondo. Por otra parte, observando la composición textural de los sedimentos, en la parte sureste del jagüey, se encontró 18.4% de arcilla y 81.6% de arena y, en la parte noreste del jagüey, se determinó 30.32% de arcilla y 69.68% de arena, lo que confirmaría la tendencia del depósito hacia la parte norte del reservorio.

Cabe mencionar que la disminución en el nivel del agua se observó durante 1994 y 1995. Sin embargo, desde principios de 1996, debido a la sequía tan severa que se dejó sentir en la zona, el nivel de agua decreció hasta mantener un tirante de agua de sólo 50 cm. Esto muestra el efecto que también han experimentado los mantos acuíferos por la falta de recarga, al descender drásticamente la precipitación pluvial.

Tabla 1. Análisis de mecánica de suelo de la zona aledaña al jagüey

Muestra	1	2	3	4
Peso vol. húmedo kg/m ³	1 137	1 246	1 034	1 149
Peso vol. seco suelto kg/m ³	1 192	1 351	1 246	1 384
% que pasa por la malla				
10	99.82	99.85	99.74	99.78
20	99.60	99.53	99.42	99.68
40	98.90	98.96	98.86	99.18
60	90.32	91.10	93.14	92.74
100	29.56	28.86	32.38	29.48
200	18.08	16.39	21.30	8.76
Límite líquido %	14.4	15.60	18.90	14.90
Límite plástico %	N.P.	" N.P.	N.P.	N.P.
Contracción lineal %	N.P.	N.P.	N.P.	N.P.
Densidad de sólido g/cm ³	2.72	2.73	2.67	2.72
Contenido natural de agua %	1.70	0.50	3.30	0.50
Clasificación SUCS	S.M.	S.M.	S.M.	S.M.
Grado de saturación %	3.6	1.34	7.71	1.41

Tabla 2. Análisis de mecánica de suelos de los sedimentos del jagüey del lado sureste

Muestra	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Septiembre	Octubre
Peso vol. húmedo kg/m ³	702	864	1 268	1 121	1 132	1 065	1 094
Peso vol. seco suelto kg/m ³	1 070	1 109	1 311	1 176	1 207	1 141	1 151
% que pasa por la malla							
10	100	100	100	100	100	100	100
20	100	100	100	100	100	100	100
40	98	99	98	99	99	99	99
60	88	90	85	88	88	94	92
100	34	34	23	29	44	34	42
200	22	12	6	15	22	18	24
Límite líquido %	21.7	19.4	17.8	20.9	18	22.3	20.8
Límite plástico %	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP
Contracción lineal %	NP	NP	NP	NP	NP	NP	1.6
Densidad de sólido g/cm ³	2.63	2.62	2.62	2.59	2.67	2.5	2.52
Concentración natural de agua %	13.4	5.4	0.7	1.4	2.4	4.4	2.9
Clasificación SUCS	S.M.	S.M.	S.M.	S.M.	S.M.	S.M.	S.M.
Grado de saturación %	24.17	37.31	46.71	45.02	39.65	46.81	44.07

Tabla 3. Resultados de la mecánica de suelos de los sedimentos del jagüey del lado noreste

Muestra	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Septiembre	Octubre
Peso vol. húmedo kg/m ³	810	736	1 108	1 092	1 186	1 194	1 141
Peso vol. seco suelto kg/m ³	1 070	1 047	1 178	1 186	1 269	1 281	1 205
% que pasa por la malla							
10	100	100	100	100	100	100	100
20	99	100	100	100	100	100	100
40	98	99	99	99	100	100	99
60	92	92	88	93	88	94	90
100	41	47	56	40	26	76	50
200	20	25	22	15	14	55	27
Límite líquido %	18.6	16.9	17.7	19.1	19.6	18.1	18.6
Límite plástico %	NP	NP	NP	NP	NP	NP	14.4
Concentración lineal %	NP	NP	NP	NP	NP	NP	1.4
Densidad de sólido g/cm ³	2.61	2.59	2.63	2.62	2.62	2 61	2.61
Concentración natural de agua %	6.8	7.4	2.6	1.6	2	1.7	2.7
Clasificación SUCS	S.M.	S.M.	S.M.	S.M.	S.M.	S.M.	S.M.
Grado de saturación %	33.73	29.7	37.77	41.39	48.23	45.53	41.64

Según lo observado en microscopio y tomando como base las características en cuanto a tamaño, forma y fases de madurez textural, se observó cuarzo con manchas de color ámbar en el exterior y no se encontraron feldespatos. Algunas de las rocas presentaron impregnación de aceite. En el noreste se registraron pequeñas cantidades de resinas. Las dos muestras registraron arenas muy finas (cuarzosas). Aproximadamente el 97% de lo observado en la laminilla correspondía a granos de cuarzo que variaban de color ámbar a incoloro y con aspecto cristallino, subredondeadas; 2% fueron granos de pedernal de color oscuro y 1% de fragmentos de roca silicificadas.

Al agrupar el tipo de sedimentos según su composición mineralógica en cuarzo, arcillas y fragmentos de roca, se observa que la muestra del lado sureste del jagüey registra un 79.15% de cuarzo, 18.4% de arcilla y 2.45% de fragmentos de roca o pedernal y la parte noreste un 67.58% de cuarzo, 30.32% de arcilla y 2.10% de fragmentos de roca o

pedernal.

Tomando la clasificación de Pettijohn (1956) y refiriéndose a los resultados anteriores, el lado sureste del jagüey presenta areniscas cuarzosas y el lado noreste grauvaca lítica.

La ausencia de feldespatos indica una alta intensidad de intemperismo en la zona, lo que explica, a su vez, la mayor presencia de arcillas en el subsuelo (Carranza, 1986).

El sedimento formado de arena fina tiene una alta permeabilidad, lo que propicia una activa interacción entre el acuífero y el jagüey y al mismo tiempo promueve el flujo subterráneo. Esta condición también favorece en gran medida el transporte de materiales disueltos y contaminantes como grasas y aceites, materia orgánica, fósforo total y nitrógeno total contenidos en la columna de agua y que pueden ser retenidos por el sedimento. Durante el período de estudio y ante la sequía prolongada, este proceso de dispersión y transporte se ha visto reducido,

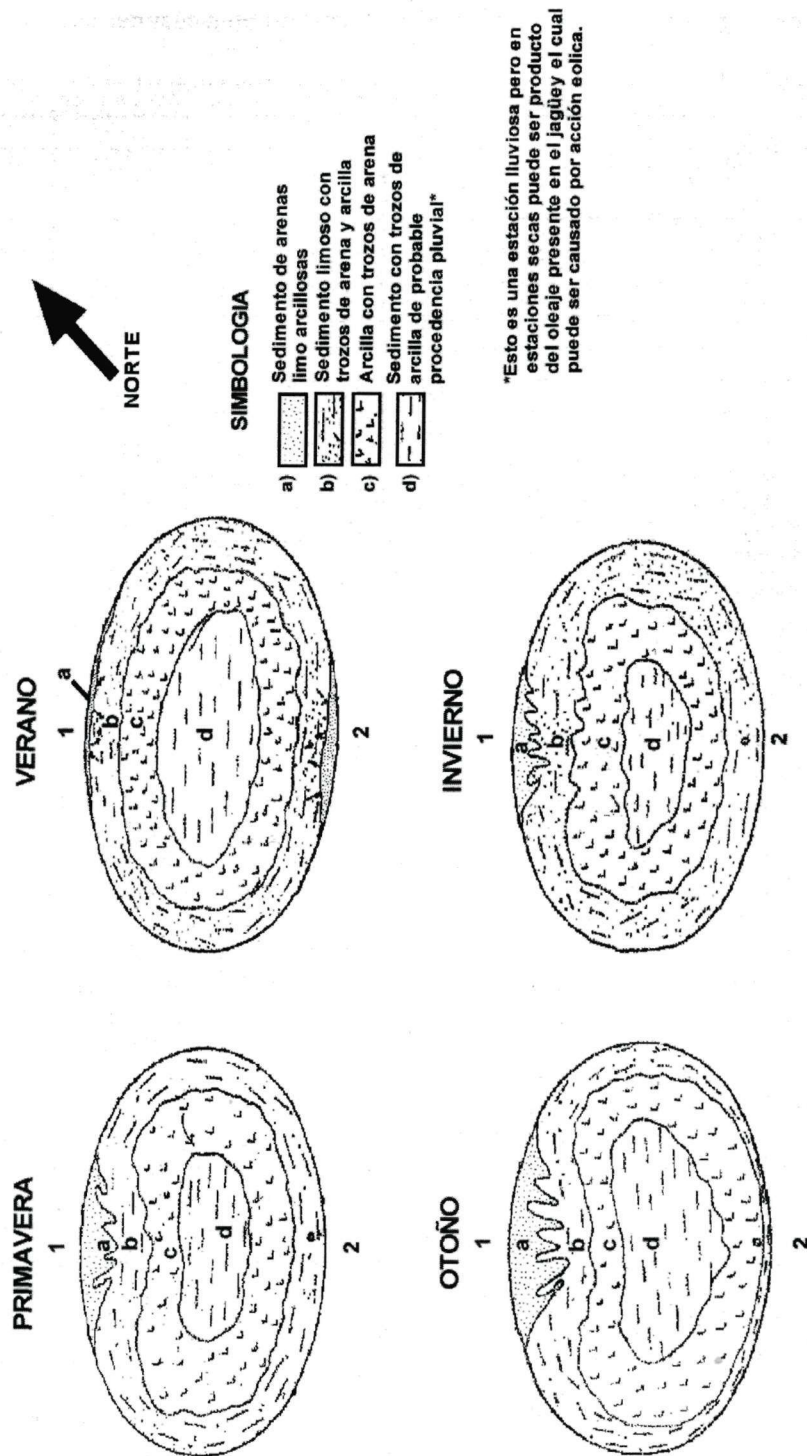


Figura 5. Modelo sedimentario del jagüey ubicado en Altamira, Tamaulipas, durante las cuatro estaciones del año, mostrando los límites transicionales de fase sedimentaria.

dando lugar al proceso inverso de absorción de algunas sustancias orgánicas e inorgánicas y a la precipitación de sales, provocando un impacto negativo en el jagüey, como se ha visualizado *in situ*.

Los resultados mostraron altas concentraciones de grasas y aceites en el sedimento con un promedio de 1 868 ppm, siendo la posible causa las altas concentraciones de materia orgánica con una coloración amarillenta en la superficie del agua. La concentración de fósforo fue alta en el sedimento con un promedio de 3.15 ppm y la de nitrógeno total de 512 ppm, lo que indica el gran aporte de material alóctono de nutrientes debido probablemente a la presencia de un basurero en el lado noreste del área (Tablas 4 y 5).

También se registraron altas concentraciones de materia orgánica (5.26% promedio), el pH fluctuó de cuatro a seis a lo largo del

año, probablemente resultado de la descomposición anaeróbica de la materia orgánica. Estos datos muestran que la columna de agua en el jagüey tiende a la eutrofización a pesar de la eficiente capacidad de adsorción, retención y adhesión del sedimento. La concentración de materia orgánica fue variable debido a la textura del sedimento. Debido a que la arena de clase fina fue la predominante, el contenido de materia orgánica se mantuvo bajo (De la Lanza, 1994).

La conductividad presentó un promedio de $119 \mu\text{Scm}^{-1}$, mientras que los sulfatos, 12.1 ppm (Tablas 4 y 5). Los metales traza fueron indetectables y tanto el fenol, con 0.97 ppm promedio, como el cianuro, con menos de 0.001 ppm, no fueron significativos, lo que indica la ausencia de contaminación industrial ocasionada por estos componentes (Tablas 4 y 5)

Tabla 4. Parámetros fisicoquímicos y de metales, tomados en el lado sureste del jagüey

Parámetros	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Julio	Sept.	Octubre	Diciembre	Promedio
	94	94	94	94	94	94	94	94	
Materia orgánica %	8.74	9.12	7.34	5.05	3.53	3.17	3.53	3.72	5.53
PH	5.6	5.4	6.7	6.7	5.1	5.8	5.9	6.7	5.99
ConductividadmS/cnv'	65.4	191	236	108	148	146.4	107.2	115.3	140
Fosfato ppm	16.2	2.5	1.2	0.6	<0.01	3.8	0.3	0.6	3.15
Sulfato ppm	50	25	20	<0.01	<0.01	<0.01	19.75	12	15.8
Grasas y aceites ppm	720	40	180	660	7240	1660	2840	1600	1868
Nitrógeno ppm	644	660.8	352.8	879.2	649.6	308	302.4	300	512
Fenoles ppm	0.6	0.6	0.9	1.08	1.08	2.4	0.8	0.6	1.01
Cianuro ppm	<0.001	<0.001	<0.001	0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0
Cromo ppm	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0
Cadmio ppm	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0
Plomo ppm	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0
Fierro ppm	5.6	7.4	1.3	7.4	3.5	4	2.5	4	4.46

Tabla 5 Parámetros fisicoquímicos y de metales, tomados en el lado noreste del jagüey

Parámetros	Febrero 94	Marzo 94	Abril 94	Mayo 94	Julio 94	Sept. 94	Octubre 94	Diciem- bre 94	Prome- dio
Materia orgánica %	9.27	7.98	6.91	4.41	3.13	3.39	3.39	3.57	5.26
pH	5.9	4.9	6.2	6.5	4	5.6	5.4	5.8	5.54
ConductividadmScm ¹	100.8	127	143.8	131.5	163.4	99.7	80	102.5	119
Fosfato ppm	3.8	2.4	1.2	<0.01	<0.01	3.7	0.3	1.2	1.58
Sulfato ppm	40	10	25	<0.01	<0.01	<0.01	11.85	10	12.1
Grasas y aceites ppm	20	80	320	880	920	820	2080	880	750
Nitrógeno ppm	868	599.2	792.4	644	128.8	190.4	308	500	504
Fenoles ppm	0.6	0.6	1.98	1.68	0.88	0.8	0.6	0.6	0.97
Cianuro ppm	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0
Cromo ppm	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0
Cadmio ppm	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0
Plomo ppm	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0
Fierro ppm	7.5	7.35	7.4	7.4	1.5	0.8	1.6	6	4.94

Entre las actividades que inciden negativamente en el cuerpo de agua está el asentamiento de un basurero en la parte noreste del jagüey; estos residuos se mantienen al aire libre, lo que en época de lluvias y ciclones incrementa fuertemente el impacto sobre el cuerpo de agua.

CONCLUSIONES

La estratigrafía confirma el origen reciente del jagüey, cuya depresión puede estar relacionada con un proceso de karstificación de las calizas pleistocénicas subyacentes. Los sedimentos areno-arcillosos que se presentan en la superficie pudieron depositarse en el marco general de acreción costera. La ausencia de corrientes superficiales de alta energía no ha impedido la disección del relieve, lo que produce un paisaje de aparente madurez geomorfológica.

Los estudios geotécnicos han determinado que debido a la composición de arena fina en la capa superficial del sedimento del jagüey, se presenta una alta permeabilidad

que permite el intercambio hidrodinámico entre este cuerpo de agua y el acuífero, cuando este último se encuentra recargado por la infiltración del agua de lluvia, que ayuda a la remoción y arrastre de materiales disueltos que han quedado en el sedimento, de donde algunos compuestos son incorporados al agua del acuífero y por el flujo serán transportados, a diferencia de sustancias como grasas, aceites y fenoles, que son absorbidas en la capa arcillosa donde permanecen durante más tiempo. Por lo anterior, puede decirse que el jagüey presenta dos etapas, una de dilución y una de concentración de materiales.

La topografía y la batimetría muestran que el jagüey es un cuerpo de agua circular de tipo cóncavo con su mayor profundidad al centro. La depositación de sedimentos en el jagüey es preferentemente sobre su margen norte y la erosión sobre la margen sur, aunque no se observan corrientes superficiales importantes; los desniveles piezométricos inducen un flujo, sobre todo en época de recarga vía precipitación pluvial. Esto es lo que conduce

a un arrastre de sedimentos y sustancias disueltas entre el jagüey y el acuífero. La prolongada sequía durante el período de estudio causó la acumulación y precipitación de sales en los sedimentos del jagüey, debido a la poca circulación y restricción del flujo subterráneo.

La composición litológica del lugar muestra que la parte superior del suelo es de una capa delgada (no mayor a 60 cm) formada principalmente de arena, que permite un mayor flujo y transportación de contaminantes atrapados en la zona arenosa, a diferencia de la zona areno-arcillosa donde el movimiento es más lento debido a la baja permeabilidad causada por la presencia de arcilla.

En el análisis del sedimento y agua se distingue al jagüey desde el punto de vista limnológico como un cuerpo con características eutróficas con tendencia a la hipertrofia, derivado de la falta de movimiento y circulación limitada, consecuencia de la baja influencia eólica y el escaso flujo del manto freático que lo inducen a comportarse como monomíctico, aunque en la época de ciclones se considera polimíctico.

Los datos muestran que el jagüey recibe un considerable suministro de nutrientes, lo que incrementa la tendencia a la eutrofización del cuerpo de agua. Sin embargo, la gran capacidad amortiguadora y de retención del sedimento posibilita que el nitrógeno y fósforo sean mantenidos en niveles bajos en la columna de agua eficientemente y posibilita que el jagüey se recobre gradualmente a través del año, en condiciones climáticas apropiadas.

Las concentraciones de materia orgánica, fósforo y nitrógeno total, así como grasas y aceites en el sedimento, señalan un impacto; sin embargo, el sedimento arenoso permite la infiltración hacia el manto freático que promueve el transporte de estos compuestos en

dirección este hacia el mar.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen ampliamente al Ing. Vicente González Ávila por su inestimable asesoría y apoyo en la interpretación de los resultados, así como al Técnico Salvador Hernández Pulido y al Biol. Juan Carlos Gómez Rojas por su asistencia en la transcripción del manuscrito.

REFERENCIAS

- 📖 Alegría, C. N. y M. F. Zamora (1985), *Instructivo de laboratorio para geotécnica (primera parte)*, División de Ingeniería Civil, Topográfica y Geodésica, Depto de Geotecnia, Facultad de Ingeniería, UNAM, México.
- 📖 Apha, American Water Work Association (AWWA) y Water Pollution Control Federation (WPCF; 1976), *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 14th ed., American Public Health Association, Washington, D.C.
- 📖 Carranza, E. A. (1986), "Estudio sedimentológico de playas del estado de Chiapas, México", *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología*, UNAM, 13(1):331-344.
- 📖 CNA (2001), *Compendio Básico del Agua en México*, Comisión Nacional del Agua, México.
- 📖 De La Lanza-Espino, G. (1994), "Lagunas costeras y el litoral mexicano", en De la Lanza-Espino, G. y C. Cáceres-Martínez (eds), *Lagunas Costeras y El Litoral Mexicano*, Universidad Autónoma de Baja California Sur, pp. 127-182.
- 📖 Diario Oficial (1989), "Criterios ecológicos de calidad de agua", *Diario Oficial de la Federación* del 2 de diciembre de 1989, CE-CCA-001/89, Acuerdo por el que se establecen los Criterios Ecológicos de Calidad de Agua, México.
- 📖 Folk, R. (1969), *Petrología de las rocas sedimentarias*, Schlaepfer, C. y R. M. de Schmitter (traduc), Instituto de Geología, UNAM, México.

- 📖 García, E. (1981), *Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana)*, Instituto de Geografía, UNAM, México.
- 📖 González Medrano, F. (1966), *La vegetación del nordeste de Tamaulipas*, tesis de Biología de la Facultad de Ciencias, UNAM, México.
- 📖 Hoz-Zavala, E. y De La Lanza-Espino, G. (2000), "Limnology and pollution of a small, shallow tropical water-body (jagüey) in North-East México", *Lakes & Reservoirs: Research and Management* 5:249-260.
- 📖 Hoz-Zavala, E. y De La Lanza-Espino (2002), "Los jagüeyes cuerpos de agua epicontinentales del noreste de México", en De la Lanza-Espino, G. y J. L. García-Calderón (comps.), *Lagos y presas de México*, AGT Editor, México, pp. 295-320.
- 📖 INEGI-SPP (1983a), *Síntesis geográfica del estado de Tamaulipas*, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática-Secretaría de Programación y Presupuesto, México.
- 📖 INEGI-SPP (1983b), *Cartografía del estado de Tamaulipas*, 12 mapas, escala 1:50 000, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática-Secretaría de Programación y Presupuesto, México.
- 📖 INEGI-SPP (1984), *Geología de la República Mexicana*, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática-Secretaría de Programación y Presupuesto, México.
- 📖 INEGI (1995), *Estadísticas del Medio Ambiente*, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, México.
- 📖 INEGI (1997), *Estadísticas del Medio Ambiente*, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, México.
- 📖 López Ramos, E. (1956), "Bosquejo geológico de la cuenca sedimentaria de Tampico-Misantla con referencia a las formaciones terciarias", Mandonado Koerdeü, M. (ed.), *Congreso Geológico Internacional*, Excursión C-16, Vígésima Sesión, pp. 11-17.
- 📖 López Ramos, E. (1979). *Geología General de México*, 2a. ed., vol. 2, México.
- 📖 Mata, V. H. (1992), "El muestreo de suelos para análisis de fertilidad", *Revista Agromundo*, año 5, vol. 9, núm. 50, octubre de 1992, pp. 30-33.
- 📖 Palmer, R. G. y F. R. Troeh (1989), *Introducción a la Ciencia del Suelo* (manual de laboratorio), AGT Editor, México.
- 📖 Pettijohn, F. J. (1956), *Rocas sedimentarias*, Edit. Harpes, New York.
- 📖 Prieto, A. (1975), *Historia, Geografía y Estadística del estado de Tamaulipas* (reproducción facsimilar de la edición de 1873), Manuel Porrúa Editores, S.A., México.
- 📖 SARH (1973), *Estudio agrológico semidetallado del proyecto "Tamesí"*, Tams, vol. 1, Reporte Técnico de la SARH, Tamaulipas, México.
- 📖 SARH (1975), *Métodos para el análisis físico y químico de suelos, aguas y plantas*, Subsecretaría de Planeación, Dirección General de Estudios, Dirección de Agrología, México
- 📖 Yáñez Arancibia, A (1986). *Ecología de la zona costera; análisis de siete tópicos*, AGT Editor, México.