

POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

FACULTAD DE CIENCIAS

**LIMNOLOGÍA Y DIAGNÓSTICO AMBIENTAL
DE UN JAGÜEY ALEDAÑO AL CORREDOR
INDUSTRIAL DE ALTAMIRA, TAMAULIPAS**

T E S I S

**QUE PARA OPTAR POR EL GRADO ACADÉMICO DE
DOCTORA EN CIENCIAS (BIOLOGÍA)**

PRESENTA

MA. ELIA ESTHER HOZ ZAVALA

**DIRECTORA DE TESIS: DRA. GUADALUPE JUDITH DE LA LANZA
ESPINO**

MÉXICO. D.F.

JUNIO, 2006



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

INDICE

	Pág.
Resumen	i
Abstract	ii
1.- Introducción general	1
2.- Planteamiento del problema y justificación	3
3.- Antecedentes informativos de trabajos de matrices de impacto	5
4.- Área de estudio	7
5.- Objetivo	10
6.- Metodología	11
7.- Resultados y Discusión	12
7.1.- Inserción de artículos publicados y enviados a revisión para publicación	12
7.2.- Aspectos geológicos	12
7.3.- Análisis sedimentológico	14
7.4.- Análisis de la columna de agua	15
7.5.- Elaboración de la matriz de impacto ambiental	21
7.6.- Indicadores fitoplanctónicos de calidad de agua	23
8.- Conclusiones	29
9.- Referencias	32
Anexo	

RESUMEN

El presente documento corresponde a la integración de dos artículos publicados con referencia a la descripción limnológica y a los impactos ambientales provocados a los cuerpos de agua denominados Jagüeyes del noreste de México, a un capítulo del libro Lagos y Presas de México y finalmente a un estudio sobre las características de la ficoflora del jagüey.

De los dos artículos presentados, uno de ellos hace referencia a las características geológicas, sedimentológicas y químicas de los sedimentos del fondo de un jagüey, que muestra que este tipo de cuerpo de agua 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. El alto contenido registrado de nitrógeno y fósforo en los sedimentos indican un impacto en el jagüey a causa de la entrada de nutrientes alóctonos; y debido a su poca profundidad, su circulación limitada, una prolongada sequía y alta tasa de evaporación, se considera en un estado de hipertrofia y senilidad, a pesar de tener un origen geológico reciente. El otro artículo se refiere a las características ambientales y al grado de contaminación que presenta el jagüey, a través de una matriz de impacto y de la elaboración de un diagrama de flujo para incorporar los principales factores climáticos, geológicos e hidrológicos. También los datos fisicoquímicos, tanto en sedimento como en la columna de agua y poder obtener datos referentes a los aspectos biológicos, tecnoestructurales y socioeconómicos del lugar donde se localiza el jagüey. El resultado de la matriz muestra un índice de -90 que indica un impacto negativo severo derivado de la entrada de nutrientes alóctonos, como nitrógeno y fósforo, y por las actividades antropogénicas que en él inciden.

El capítulo del libro hace referencia a las características, localización y descripción general del suelo, su hidrología, su origen, sus aguas subterráneas, flora y fauna, calidad del agua y usos de los jagüeyes que permite una descripción genérica.

Finalmente, el estudio sobre la ficoflora del jagüey hace referencia a los indicadores para determinar calidad en el cuerpo de agua, a través de los organismos registrados, y cataloga a su estado trófico.

ABSTRACT

The present document corresponds to the integration of two articles published in reference to the limnologic description and to the environmental impacts, caused to the water bodies denominated Jagüeyes of the northeast of Mexico, to a chapter of the book Lakes and Prey of Mexico and finally to a study about the characteristics of the ficoflora of the jagüey. Of articles both displayed, one of them makes reference to the geologic, sedimentologic and chemistry characteristics of sediments of the bottom of a jagüey, that sample that this type of water body is a recent coastal depression, cover by a thin fresh water lamina, of circular form, of little circulation, with predominance of sand-argillaceous at heart; what the contact with the phreatic mantle allows on which is fed through filtrations. The high registered content of nitrogen and phosphorus in sediments indicates an impact in the jagüey because of the entrance of alóctonos nutrients; and due to its little depth, its limited circulation, one prolonged drought and discharge rate of evaporation, one considers in a state of hipertrofia and senility, in spite of having a recent geologic origin. The other article talks about to the environmental characteristics and the degree of contamination that displays the jagüey, through a matrix of impact and the elaboration of a flow chart to incorporate the main climatic factors, geologic and hidrológic. Also the fisicoquimicals data, as much in sediment as in the water column and power to collect referring data to the biological aspects, socioeconomic tecnoestructurales and of the place where the jagüey is located. The result of the first one shows a -90 index that indicates a negative impact severe derivative of the entrance of alóctonos nutrients, like nitrogen and phosphorus, and by the antropogenics activities that in him affect.

The chapter of the book makes reference to the characteristics, location and general description of the ground, its hydrology, its origin, its underground waters, flora and fauna, quality of the water and uses of the jagüeyes that permits a generic

description. Finally, the study on the ficoflora of the jagüey makes reference to the indicators to determine quality in the water body, through the registered organisms, and catalogues to his trophic state

1.- INTRODUCCIÓN GENERAL.

Un total de 65% del agua disponible en el mundo está provista por ríos, lagos, presas y embalses naturales (De La Lanza Espino y García Calderón, 1995) y son utilizados para irrigación, consumo humano y uso industrial, entre otros.

México con una superficie de 1 953 162 km² y 11 122.5 kilómetros de costa, está catalogado como un país con riqueza media hidrológica en cuanto a los lagos y reservorios con que cuenta, ya que de acuerdo a INEGI (1995), los lagos y reservorios cubren 6910 km², de éstos, 2100 km² corresponden a lagos y 4810 km² a reservorios. México cuenta con 14,000 cuerpos de agua lénticos o sin movimiento; de ellos el 90% se catalogan como sistemas temporales con dimensiones menores a dos hectáreas (Hernández *et al.*, 1995).

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 km³, que le da una disponibilidad anual per capita de agua de 5 000 m³ (INEGI, 1997). Sin embargo, a pesar de la relativa abundancia del recurso agua que México posee, el 73% de los cuerpos de agua están impactados con un cierto grado de contaminación (CNA, 2001) por lo que resulta altamente prioritario definir su origen, evolución geológica y composición fisicoquímica del agua y sedimento, además de conocer aspectos de fauna y flora que permitan 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 Zavala y De la Lanza Espino, 2002), por lo que en este documento se abordan aspectos limnológicos (geológicos, de calidad de agua y sedimentos, así como biológicos) y de impacto a través de una matriz que proporciona información para una diagnosis de las condiciones ambientales y propone en la citada matriz elementos integrativos que permitan entender su dinámica para su conservación. Además propone indicadores de la ficoflora para estimar la calidad del agua y estado trófico.

Este trabajo está compuesto de una introducción sobre cuerpos de agua en México y en particular los jagüeyes de Altamira, Tamaulipas, donde se plantea el problema objeto de este documento e incluye una justificación de la importancia del estudio. También se aborda en este apartado los antecedentes que refieren a aquellos autores que han trabajado tipos de matrices de impacto y que forman parte del sustento de esta investigación, una somera exposición del área de estudio para mejor referencia y un apartado de materiales y métodos que sólo expone los elementos comunes a los dos artículos publicados sobre el marco ambiental, un capítulo de un libro sobre el mismo tema y finalmente la ficoflora de un jagüey.

El apartado correspondiente a resultados incluye la exposición de cada una de las publicaciones referidas, de las que una se encuentra en la revista *Lakes & Reservoirs: Research and Management* 2000 5: 249-260, indizada en GEOBASE, y que toca aspectos fisicoquímicos de agua y sedimento y plantea una matriz de diagnóstico de impacto sobre jagüeyes, otra publicación en la *Revista de Investigaciones Geográficas* 51. Boletín del Instituto de Geografía de la UNAM. Agosto 2003. pág 7-22, indizada en GEOBASE, donde se abordan aspectos geológicos, sedimentológicos y químicos. Finalmente un estudio que trata sobre aspectos de la ficoflora. Finalmente se anexa un capítulo sobre jagüeyes incluido en el libro *Lagos y Presas de México* (2002), donde se trata ampliamente lo que son y la importancia que revisten. Cada una de estas publicaciones incluye un tratamiento formal, por lo tanto contiene su propia introducción, área de estudio, metodología, resultados, discusión, conclusión, bibliografía, así como tablas y figuras, en su caso.

En el capítulo de Discusión, se retoman los elementos más sobresalientes de cada uno de los artículos referidos y se analizan en un contexto general del tema. En las Conclusiones se plantean las expuestas en los artículos y del capítulo del libro.

En la bibliografía sólo se anexa la complementaria al final, utilizada para la exposición y presentación de este documento considerando también aquella referida en la sección de la ficoflora de los dos jagüeyes; además la bibliografía en cada uno de los artículos publicados.

2.- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN.

Considerando que México cuenta con una variedad de reservorios, la gran mayoría de los cuales son de dimensión pequeña, pero innegablemente de gran valor como ecosistemas y de gran importancia por constituir una alternativa de soporte de vida para muchas poblaciones lo que los hace potencialmente relevantes por las posibilidades de uso que podrían tener, ya sea para consumo humano, riego agrícola y recreación entre otros, se vuelve necesario el prestar mayor atención a estos cuerpos de agua y empezar a entenderlos para hacer un uso y manejo racional y sostenido, e impedir que se sigan destruyendo o deteriorando por las actividades humanas que seriamente están impactando en ellos.

El estudio del agua se vuelve relevante, cuando éste se realiza en lugares donde dicho recurso falta o se ve seriamente impactado debido a las actividades del hombre. Tal es el caso del Corredor Industrial de Altamira, donde se encuentran asentados los jagüeyes, ya que si bien, son usados por la población del lugar para uso humano o animal, también es cierto que muchos de estos cuerpos de agua han quedado dentro de las industrias asentadas en este corredor, lo que provoca que algunos sean utilizados como fosas de oxidación y sedimentación de sus descargas de aguas residuales; lo que reafirma la importancia de llevar a cabo estudios limnológicos que permitan conocerlos más.

Durante el crecimiento del corredor industrial en Altamira, un gran número de jagüeyes desaparecieron y otros han experimentado cambios como resultado de las actividades antropogénicas realizadas en áreas adyacentes. Algunos jagüeyes aún se encuentran aislados. Prieto (1975) observó gran cantidad de estos cuerpos de agua desde la demarcación de Altamira, Tamaulipas, hasta el extremo norte de la Laguna Madre, cuantificando más de 40, hasta antes de 1970. En el presente, sólo 20 tipos de jagüeyes aun persisten durante el verano y pueden observarse dentro del corredor industrial de Altamira, todos ellos con características de forma, y dimensión diferente y con limitados grados de recarga; los restantes han desaparecido por haber sido rellenados para realizar el acceso carretero al puerto de Altamira; cuatro de ellos, localizados cerca de la línea costera del puerto fueron rellenados para asentar industrias.

El uso de suelo para actividades industriales que actualmente se da en la zona donde se encuentran los jagüeyes y la erosión que ocasionan las modificaciones derivadas de la construcción, extracción de tierra y pastoreo, son también factores de deterioro de estos cuerpos de agua.

El alto grado de perturbación al que se han sometido los jagüeyes en el noreste de México ha repercutido en la reducción de la diversidad biológica, con tendencia a la hipertrofia y al alto deterioro en la calidad del agua. Estos efectos son, en su mayoría, irreversibles y, a la larga, modificarán el ambiente. (Hoz-Zavala y De la Lanza-Espino, 2000). El principal impacto al que se han visto sometidos es la adición indiscriminada de desechos contaminantes y aporte constante de nutrimentos, principalmente nitrógeno y fósforo. La elevada presencia de estos elementos en el sedimento, aunada al incremento de hierro, grasas y aceites, muestran el poco movimiento que tienen, lo que promueve la eutrofia de los mismos, y por ende una lenta renovación que incide severamente en su recuperación. (Hoz, *et al.*, 2003)

El severo impacto ocasionado por la eliminación de vegetación a fin de construir plantas para las industrias química y petroquímica ha sido la principal causa de intemperización que ha acelerado la erosión. Ello se debe a la ausencia de vegetación que retenga las partículas del suelo, el cual se ha visto afectado en más del 70%. Esta erosión ayuda al transporte de partículas del suelo por fuerzas eólicas y al lavado y escurrimiento de agua, teniendo una severa incidencia en los jagüeyes.

Es lamentable reconocer que el futuro de los jagüeyes no es muy promisorio, debido al desconocimiento de la importancia que tienen como parte fundamental de los procesos de la biosfera, como soporte de la vida humana y como sustento de calidad de vida. De valorarlos adecuadamente, sería posible enfocar estudios dirigidos a tener un mejor entendimiento de ellos y, por ende, salvaguardarlos antes de que sean destruidos totalmente; promoviendo su protección y evitando que se efectúen actividades antropogénicas nocivas.

3.- ANTECEDENTES INFORMATIVOS DE TRABAJOS DE MATRICES DE IMPACTO.

En los estudios en impacto ambiental se deben incluir la identificación y organización de factores potenciales de una manera sistemática; caracterizados cuantitativamente para darles un valor objetivo. Hay diversas técnicas de evaluación e identificación que permiten agrupar y organizar datos, entre las más conocidas están las listas de causa-efecto que integran los impactos que van a ser generados y sus componentes (Westman, 1985).

Uno de las mejores técnicas que permite determinar valores sobre recursos de agua es el Sistema de Evaluación Ambiental (SEA) (Whitman *et al.*, 1971; Dee *et al.*, 1973). El SEA se basa en la medición de impactos e involucra 78 componentes ambientales de diferentes tipos: biológicos, de contaminación, de interés humano y estéticos. Se valora a través de un índice de impacto que es de acuerdo a la importancia del factor analizado y al producto del factor de magnitud que se agrega (Westman, 1985).

La matriz de Leopold (Holling, 1980) calcula el grado de impacto de acuerdo a la magnitud o importancia. Identifica la magnitud como un grado definitivo, teniendo una extensión o escala de impacto, así como la importancia y su significado humano. El índice de importancia es subjetivo, mientras el índice de magnitud es objetivo. Una lista de acciones producidas por actividades primarias, secundarias y terciarias son colocadas en un eje del esquema, mientras que los elementos humanos y naturales que potencialmente afectan al sistema son colocados del lado contrario. Se maneja una escala positiva o negativa que sugiera niveles de impacto y que se identifican como (+) y (-), respectivamente (Westman, 1985).

En 1969, Dinius (1987) designó un método para determinar la calidad de agua de acuerdo a sus usos. El método se basó en el porcentaje de pureza, donde 100 corresponde a una agua pura, y se requiere del cálculo de un índice de calidad basado en análisis de parámetros físico-químicos, microbiológicos y de metales pesados. De la misma forma Dinius (1987) designó un índice de calidad de agua de acuerdo a las causas de contaminación. También identificó diferentes usos y los subdividió en siete grupos: 1) abastecimiento público de agua; 2) natación y

actividades deportivas; 3) pesca y vida acuática; 4) recreación y canotaje; 5) riego agrícola y empleo industrial; 6) navegación; y 7) transportación de agua tratada. Estos usos son los que actualmente se consideran para los criterios de calidad de agua (Diario Oficial. 1989). Los factores de contaminación fueron agrupados en cuatro categorías: (i) aumento de materia orgánica (de acuerdo al porcentaje de saturación de oxígeno); (ii) número de bacterias coliformes (total y fecal); (iii) aumento de componentes iónicos (alcalinidad, dureza, cloruros, conductividad eléctrica y pH); y (iv) características físicas (temperatura y turbidez). El grado de contaminación de agua fue definido usando las cuatro categorías y 11 tipos de aguas de los principales ríos y lagunas en los Estados Unidos. La medición de belleza y atractivo físico fueron medidas subjetivas y también se consideraron en su evaluación.

Jiménez (1995) informó que el Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México ha desarrollado un método específico para determinar un índice de uso potencial (PU), basado en normas Mexicanas y el índice final de disponibilidad. En contraste con otros índices, éste toma en consideración tanto la calidad como la cantidad de agua, lo que lo hace más completo. Sin embargo, sólo puede ser aplicado si la información inicial de cantidad de agua superficial o de manto freático ha sido registrada. Desafortunadamente, en el caso de los jagüeyes, no ha existido este tipo de información.

El presente trabajo tomó como base lo descrito por los autores antes mencionados, a fin de generar datos limnológicos de un jagüey cercano a la Cd. de Altamira, Tamaulipas y dar con ello una diagnosis de su condición ambiental usando una matriz ambiental. Esta matriz, identifica impactos ambientales generados por las actividades que se realizan dentro del corredor industrial de Altamira, y provee una base para poder ser utilizada en otros jagüeyes localizados en el área del corredor industrial y puerto de Altamira.

4.- ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio donde se encuentra el jagüey es a 1.5 km de la carretera Tampico-Cd.Victoria, 5 km al norte de la ciudad de Altamira dentro de la denominada zona industrial 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 (Fig. 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 es entre 7 y 14 °C; con lluvias en verano y sequía en invierno (García, 1981).

La precipitación anual varía entre 788.6 mm y 1094 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, oscila entre 1068.5 mm y los 1578.5 mm. El promedio mensual es de 280 mm (INEGI, 1983a). La evaporación potencial promedio anual en la zona es de 1520.8 mm, siendo el mes de agosto el de mayor evaporación con 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 al 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 de estudio está dentro de la provincia Llanura Costera del Golfo Norte en 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 areno-arcillosos. Está limitada principalmente por estructuras orogénicas del inicio del Cenozoico; al norte por la Sierra de Tamaulipas, al occidente por la Sierra Madre Oriental y la Antefosa de Chicontepec, y al sur, por 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-SPP (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 no tienen fases diúricas en sus horizontes. En la parte superficial, tiene un pH ácido, son de textura arcillo-arenosa, donde 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 dentro de 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 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 está comprendida dentro de 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 el noreste de Tamaulipas, 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 *Monanochlōe littoralis* y *Distichlis spicata*.

En la actualidad, sólo se encuentra fauna adaptada a la urbanización y a la incidencia humana, entre los que se pueden mencionar los vertebrados tales como: rana (*Syrrhophus dennisî*), serpiente cascabel (*Crotalus priceî*), serpiente coral o coralillo (*Micrurus fulvius*), nauyaca (*Bothrops asper*), tortuga de fango (*Kinosternon herreraî*), pato texano (*Anas fulvigula.*), gallareta (*Fulica americana*), gato montes (*Lynx rufus*), zorrillo (*Mephitis macroura*), tlacuache (*Didelphis virginiana*), mapache (*Procyon lotor*), conejo castellano (*Sylvilagus floridanus*), ardilla (*Sciurus aureogaster*), y gran diversidad de quirópteros, ratas y ratones (Flores Villela y Gerez, 1988; SEDUE, 1989).

5.- OBJETIVO

El objetivo general de este trabajo es caracterizar limnológicamente el jagüey de Altamira e identificar las probabilidades de la restauración del mismo, con base en el diagnóstico ambiental.

Los objetivos particulares son:

- 1.- Determinar las condiciones actuales del jagüey, desde el punto de vista geológico y geohidrológico.
- 2.- Determinar la calidad del agua del jagüey, a través de análisis fisicoquímicos, microbiológicos y de metales.
- 3.- Describir la fauna y flora referida a la zona de estudio, y hacer una revisión climatológica y socio-económica del lugar que ayude a enmarcar de mejor manera el diagnóstico.
- 4.- Analizar el impacto ambiental generado actualmente y elaborar una matriz cuantitativa de diagnóstico de las condiciones ambientales con base en un diagrama de componentes principales tomando como base la matriz de Leopold.
- 5.- Establecer la potencialidad del estudio limnológico, para ser usado como prototipo en la implementación de otros estudios referidos a los jagüeyes dentro del Corredor Industrial de Altamira.

6.- METODOLOGÍA.

Dado lo mencionado en el interior de cada uno de los artículos, en este capítulo sólo se hace referencia a la selección de sitios de muestreo, así como a los estudios realizados y compendiados en los artículos.

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 actividades humanas en la región.

Se realizaron análisis de sedimento, suelo, agua, determinando parámetros fisicoquímicos, granulométricos, metales pesados y coliformes totales y fecales. También se determinó la extensión y la batimetría con la configuración del lecho o fondo, para lo cual se tomaron de referencia los mapas topográficos y de suelos de la SARH (1973), escala 1:50000 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.

Para el diseño de la matriz y el índice de magnitud para el diagnóstico de impacto ambiental se tomó como referencia a Westman (1985), así como el ordenamiento ecológico para la región de la desembocadura del río Pánuco, Tamaulipas-Veracruz. SEDESOL (INE, 1994), utilizado para el manejo ecológico del sur de Tamaulipas y norte de Veracruz (INE, 1994) y a Holling (1980) para la selección de técnicas cuantitativas y cualitativas en elaboración de la matriz.

Para el muestreo de clorofila "a" e identificación de ficoflora se seleccionaron dos sitios de muestreo; uno en la parte norte y otra en la sur. Para la cuantificación del contenido de clorofila "a" se tomaron 8 muestras, las cuales se pasaron a través de filtros de celulosa de 0.45µm, las que fueron extraídas con acetona al 90%, de acuerdo a la técnica descrita por Strickland y Parsons (1972). Los cálculos se basaron en la fórmula propuesta por De La Lanza-Espino y Hernández Pulido (1998). Para la colecta, fijación, y clasificación del material ficológico se siguieron los métodos establecidos por Bourrelly (1972).

7.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

7.1.- Inserción de artículos publicados y enviados a revisión para publicación.

7.1.1.- Limnology and pollution of a small, shallow tropical water-body (jagüey) in North-East Mexico. Revista Lakes & Reservoirs: Research and Management 200 5: 249-260 (ver Anexo).

7.1.2.- Características geológicas, sedimentológicas y químicas de un pequeño cuerpo de agua superficial (jagüey) en el noreste de México. Revista de Investigaciones Geográficas 51. Boletín del Instituto de Geografía de la UNAM. Agosto 2003. pág 7-22 (ver Anexo).

7.1.3.- Los jagüeyes, cuerpos de agua epicontinentales del noreste de México. En Lagos y Presas de México, Compiladores Guadalupe de la Lanza Espino y José Luis García Calderón. AGT Editores S.A., 1era. Edición., 2002. 295-322 pp (ver Anexo).

7.1.4.- Estudio de la ficoflora de un jagüey epicontinental del noreste de México. (no publicado)

7.2.- Aspectos Geológicos

El área de 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 este jagüey es dulce, aun estando cerca de la costa, debido a que es alimentado por flujos de agua subsuperficial de los acuíferos subaéreos que afloran localmente 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-Cd. Mante, a menos de 2 km del sitio de 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 (Boundstone) coquinoide del Pleistoceno. Se observa una delgada capa de arenisca roja, que indica esta

discordancia. Sobre estas rocas se encuentran sedimentos areno-arcillosos y arenas del Cuaternario (López-Ramos, 1956).

El nivel piezométrico se localizó 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.

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, tales como lo señalan algunos autores como Yáñez Arancibia (1986).

El jagüey se origina 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 (no mayor a 60 cm) formada principalmente de arena, que permite un mayor flujo de 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.

La profundidad máxima del jagüey registrada fue de 3.5 m y la mínima de 70 cm en las márgenes. 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).

7.3.- Análisis Sedimentológico.

La composición de los sedimentos del jagüey fue SM, de acuerdo con el Sistema Unificado de Clasificación de Suelo (SUCS), propuesto por Casagrande en 1942 (Alegría y Zamora, 1985). El grado de saturación fue de 50%, por lo que se les clasifica como suelos húmedos a muy húmedos (Alegría y Zamora, 1985).

Al agrupar el tipo de sedimentos según su composición mineralógica en cuarzo, arcillas y fragmentos de roca, se observa que el lado sureste del jagüey registra en su composición 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 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, 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.

Los resultados de los análisis del sedimento, mostraron concentraciones altas de grasas y aceites 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.

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 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, los metales trazas fueron indetectables y tanto el fenol con 0.97 ppm promedio y el cianuro con menos de 0.001 ppm, no fueron significativos, lo que indica la ausencia de contaminación industrial ocasionado por estos componentes.

7.4.- Análisis de la Columna de Agua.

La dinámica de un lago y su circulación vertical están ligadas a la variación del perfil de densidades, los que a su vez, está condicionado por los cambios de temperatura (Margalef, 1977), lo que promueve la estratificación, en donde la capa de agua superior normalmente presenta mayor temperatura y menor densidad (epilimnion) que las inferiores (hipolimnion) (Colinvaux, 1980). En lagos donde la dinámica es más suave, la insolación puede ocasionar la separación, la cual sólo se verá interrumpida por el forzamiento considerable que se le aplique para invertirlo (Margalef, 1977; Aldeco y Salas, 1994). En el caso del jagüey los vendavales huracanados son una de las fuerzas aplicadas al cuerpo de agua para la mezcla de los estratos de agua formados, así mismo el movimiento de las aguas subterráneas, de temperatura más baja que las superficiales, influyen la estratificación. y de acuerdo a ello el jagüey puede considerarse monomíctico, ya que la masa de agua circula una vez al año completamente, presentándose una mezcla vertical.

La media anual calculada de conductividad en el cuerpo de agua para el lado sureste fue de 149.02 $\mu\text{S}/\text{cm}$, con un máximo de 194.5 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en octubre y un mínimo de 106.5 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en enero y en el lado noreste se determinó una media anual de 134.44 $\mu\text{S}/\text{cm}$ con un máximo de 175.2 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en septiembre y un mínimo de 101.5 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en enero, lo que hace de este jagüey un cuerpo de agua dulce. Relacionando estos valores directamente con los sólidos disueltos, confirma que la mayor recarga del jagüey proviene de la precipitación pluvial y no del manto freático por la baja concentración de sales registradas en la columna de agua.

El pH presentó una media anual en el lado sureste y noreste del jagüey de 6.8, no habiendo diferencias significativas en ninguno de los ambientes con un máximo de 7.1 a 7.2 en mayo, y un mínimo de 6.3 a 6.5 en enero, con una tendencia, hacia la neutralidad. Así mismo los niveles registrados de pH estarían también referidos a la determinante precipitación pluvial, más que a la del manto freático, lo que muestra la mayor influencia del agua de lluvia en la recarga del jagüey.

La dureza total mostró una media anual de 69.5 mg/l en el lado sureste del jagüey, con un máximo de 100 mg/l en octubre y un mínimo de 34 mg/l en enero. En el lado noreste, la media anual registró un nivel de 67.3 mg/l, con un máximo de 100 mg/l en octubre y un mínimo de 34 mg/l en enero. Tomando en consideración los aspectos geológicos de la zona de estudio, la composición de carbonato de calcio dentro de los suelos de la entidad, explica la presencia moderada de esta sal, la que en el caso del jagüey se encuentra en el subsuelo en la capa arcillosa y no en el sedimento de arena fina, y por el flujo del manto freático puede tener incidencia sobre el jagüey y hace catalogar a este cuerpo de agua como de dureza moderada según la clasificación para la dureza del agua de la EPA (1986).

La media anual registrada para sulfatos en el lado sureste del jagüey fue de 20.43 mg/l, con un máximo de 51.47 mg/l en octubre y un mínimo de 2 mg/l. En el lado noreste se registró una media anual de 18.35 mg/l con un máximo de 43.99 mg/l y un mínimo de 7.27 mg/l. En ambientes reductores los sulfatos pueden transformarse en ácido sulfhídrico, por ello era importante establecer la presencia de este componente de acuerdo a la baja concentración de oxígeno disuelto registrado, al poco movimiento del jagüey, aunado a lo somero del mismo, a las tasas de evaporación y

a la presencia de materia orgánica en descomposición en la zona, que pueden tener un efecto negativo sobre la biota del lugar al transformarse esos sulfatos en ácido sulfhídrico.

El fósforo como fosfato registró una media anual para el lado sureste de 100 $\mu\text{g/l}$, con un máximo de 160 $\mu\text{g/l}$ en marzo y un mínimo $<100 \mu\text{g/l}$ en los restantes meses y en el lado noreste una media anual de 150 $\mu\text{g/l}$, con un máximo de 430 $\mu\text{g/l}$ en marzo y mínimos $<100 \mu\text{g/l}$ en la mayoría de los meses. Bernal (1995), refiere que un lago que presente 5 $\mu\text{g/l}$, deberá ser caracterizado como un cuerpo oligomesotrófico lo que de acuerdo a los resultados obtenidos en el jagüey, cuyo valor máximo fue de 430 $\mu\text{g/l}$, indica una eutroficación, lo que reafirma lo observado en sedimento donde las concentraciones de fósforo fueron altas. Margalef (1983) menciona que la concentración de Ca en aguas naturales aunado al ciclo biogeoquímico de los lagos tiende a mantener las concentraciones de fósforo en agua a un nivel bajo, inferior a 1 $\mu\text{g at/l}$ (en el caso del jagüey fue el máximo 13.9 $\mu\text{g at/l}$), y que probablemente todas las concentraciones por encima de este valor se deban a una alimentación forzada o a una eutrofización, que no han tenido tiempo de ser contrarrestada por procesos naturales biogeoquímicos.

Los sólidos sedimentables estuvieron por debajo de $<1.0 \text{ ml/l}$ y los sólidos suspendidos totales presentaron una media anual en el lado sureste de 13.6 mg/l , con un máximo de 30 mg/l en septiembre y un mínimo de 2 mg/l en diciembre, y en el lado noreste de 13.15 mg/l con un máximo de 34 en marzo y un mínimo de 5 mg/l en diciembre. De acuerdo a los criterios de calidad de agua que son de 500 mg/l (Diario Oficial, 1989); los valores reportados no fueron significativos. En cuanto a los sólidos disueltos registraron una media anual para el lado sureste del jagüey de 74.6 mg/l , con un máximo de 97.4 mg/l en octubre y un mínimo de 53.3 mg/l en enero; en el lado noreste se registró una media anual de 72.3 mg/l , con un máximo de 87.7 mg/l en septiembre y un mínimo de 50.9 mg/l en enero. Los cationes y aniones inorgánicos no resultaron elevados y hace presuponer la influencia de la precipitación pluvial en la recarga del jagüey, ya que las bajas concentraciones de sales detectadas, están más relacionadas a un cuerpo de agua que se encuentra influenciado por agua de lluvia, que por la recarga del manto freático.

El oxígeno disuelto señaló una media anual en el lado sureste del jagüey de 2.9 mg/l (58% de saturación), con un máximo de 5.3 mg/l (106% de saturación) y un mínimo de 0.79 mg/l (15.8% de saturación) en marzo, mientras que en el lado noreste se presentó una media anual de 3.25 mg/l (65% de saturación) con un máximo de 5.4 mg/l (108% de saturación) en abril y mayo y un mínimo de 1.3mg/l (26% de saturación) en octubre. Los niveles de oxígeno disuelto registrados para el jagüey indican una variación espacial y temporal de la actividad fotosintética y respiratoria como factor de la variación de oxígeno, pero no tan determinante como lo es la debida a los bajos niveles de agua y a la evaporación presente por las altas temperaturas registradas, que aunado al poco movimiento del cuerpo de agua, tienen una incidencia mayor en la disminución del oxígeno y reafirman la importancia que tiene la precipitación pluvial sobre la recarga del jagüey. Kennish en 1986 (en De la Lanza,1994), refiere que los reglamentos de la calidad del agua consideran que el contenido de oxígeno disuelto no debe ser menor del 10% de saturación, ya que de lo contrario los peces pueden morir por anoxia; en el caso del jagüey estos valores de saturación se mantuvieron por encima de este criterio de calidad de agua, pero en ciertas épocas del año la saturación no fue mayor de 15%, lo que considerando lo dicho por Kennish, podría incidir en la biota existente en el jagüey de forma negativa. Las grasas y aceites, presentaron una media anual en el lado sureste del jagüey de 22.84 mg/l, teniendo un máximo de 45.48 mg/l en septiembre y un mínimo de 0.5 mg/l en enero y en el lado noreste del jagüey la media anual fue de 9.72 mg/l, con un máximo de 24.41 mg/l en julio y 0.5 mg/l en enero. Margalef (1977), menciona que en forma natural uno de los orígenes de la presencia de grasas y aceites es el seston, que está formado por una parte viva (plancton) y una fracción desprovista de vida (tripton). En el jagüey el tripton está representado sólo por los fragmentos pequeños de arcilla, partículas finísimas de sílice y de hidróxidos de hierro. Otra fuente de origen natural para la presencia de grasas y aceites son los hidrocarburos fósiles que se encuentran como depósitos de aceite que representan acumulaciones de plancton (De la Lanza, 1986); además los compuestos húmicos derivados de la descomposición de materia orgánica (De la Lanza, 1994), principalmente de materia vegetal que por sus altos contenidos de celulosa, lignina conducen a un mayor

tiempo de degradación y formación de estos compuestos; en el caso del jagüey la mayor concentración de grasas y aceites se encuentran en el sedimento a diferencia de los registrados en la columna de agua. Margalef (1977), reporta que en las aguas dulces el material detrítico tiene una masa comprendida entre una y diez veces la del fitoplancton vivo. Estas tres fuentes naturales de formación de grasas y aceites, aunadas a la provocada por el impacto humano a través de sus desechos domésticos e industriales explicarían las concentraciones registradas en sedimento y en la columna de agua del jagüey, así mismo la alta concentración de compuestos húmicos explicaría la coloración amarilla observada en la capa superficial del cuerpo de agua e indica la presencia de materia orgánica en el lugar, que refuerza la idea de la eutrofización del jagüey

El nitrógeno total tuvo una media anual en el lado sureste de 1.41 mg/l, con un máximo de 2.07 mg/l y un mínimo de 0.84 mg/l en diciembre. En el lado noreste la media anual fue de 1.31 mg/l, con un máximo de 2.18 mg/l en mayo y un mínimo de 1 mg/l en febrero. En el jagüey las concentraciones de nitrógeno total en el agua fueron superadas por el sedimento, niveles registrados que pueden considerarse nocivos para la biota del lugar. Parte del nitrógeno está asociado con el basurero asentado en el lado noreste del jagüey, que resulta ser una fuente de aporte importante y que incrementa en gran medida la tendencia de la hipertrofia.

La demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5), registró una media anual en el lado sureste de 5.49 mg/l, con un máximo de 4.76 mg/l en marzo y un mínimo de 2.11 mg/l en enero. En el lado noreste del jagüey la media anual fue de 3.18 mg/l, con un máximo de 4.47 mg/l en abril y un mínimo de 1.43 mg/l en septiembre. Los niveles de DBO_5 que se registraron dentro del jagüey, pueden indicar por una parte bajos contenidos de materia orgánica biodegradable, o un alto consumo por organismos heterótrofos y alta tasa de remineralización de la materia orgánica (De la Lanza, 1986). Comparando los valores de DBO_5 con los obtenidos de la DQO, que fueron sensiblemente más elevados, se infiere que es mayor la materia orgánica no biodegradable que la biodegradable en el jagüey.

La demanda química de oxígeno (DQO), presentó una media anual de 67.8 mg/l para el lado sureste del jagüey, con un máximo de 103.16 mg/l en marzo y un mínimo de

30 mg/l en diciembre. En el lado noreste se calculó una media anual de 59.13 mg/l con un máximo de 93.24 mg/l y un mínimo de 47 mg/l. La materia orgánica no biodegradable fue mucho más alta que la registrada por la DBO₅, lo que puede estar relacionado a los componentes refractarios de origen lignulolíticos y celulolíticos presentes en el cuerpo de agua.

Los fenoles en la columna de agua no fueron detectados, sin embargo en el sedimento se registraron, lo que indicó la presencia de compuestos fenólicos refractarios procedentes de la descomposición y recondensación de subproductos de lignina y celulosa, las cuales han floculado en el sedimento.

La media anual cuantificada tanto para el lado sureste como para el noreste de sustancias activas al azul de metileno (detergentes) fue de 0.1 mg/l. En los meses de muestreo los niveles fueron < de 0.1 mg/l, excepto en abril donde se presentó una concentración de 0.35 mg/l debido a influencia humana, ya que este compuesto no se encuentra en forma natural en el jagüey.

Los cianuros no fueron detectados a lo largo del periodo de estudio. La importancia de la determinación de cianuros, se debe a que sólo se derivan de procesos industriales, por lo que su presencia alteraría nocivamente las condiciones naturales del jagüey ocasionando la muerte de la biota existente en el lugar.

El contenido de hierro en el lado sureste registró una media anual de 0.22 mg/l, con un máximo de 0.45 mg/l en octubre y un mínimo <0.01 mg/l en septiembre. La media anual en el lado noreste del jagüey fue de 0.19 mg/l, con un máximo de 0.33 mg/l en octubre y 0.03 mg/l en abril, como mínimo. De acuerdo a lo reportado en la geología del lugar, el color rojizo presente en el suelo, se debe a las altas concentraciones de fierro (López-Ramos, 1956, 1981), por lo que los contenidos indican que provienen del arrastre de partículas al cuerpo de agua por efecto eólico, aunado a las concentraciones de hierro presentes en el manto freático. Margalef (1983), refiere que en muchos lagos el hierro viene con el agua de alimentación profunda, que lo introduce en forma ferrosa, aunque en el caso del jagüey la influencia del manto freático no es el determinante para la presencia de este mineral.

El cromo hexavalente, cadmio y plomo, metales también analizados durante el estudio, no fueron detectados. Era de gran interés el establecer la presencia o

ausencia de estos metales, ya que, debido a la geología del lugar y composición del suelo, se sabía que no podían encontrarse en forma natural, pero debido a que alrededor del jagüey se encuentran asentadas industrias, que a través de sus procesos podrían determinar la presencia de estos elementos.

Los niveles de coliformes totales medios anuales fueron de 814 UFC/100ml en el lado sureste del jagüey, con un máximo de 4000 UFC/100ml en marzo, y un mínimo de 20 UFC/100ml en octubre. El lado noreste registró una media anual de 617 UFC/ml, con un máximo de 2400 UFC/100ml en marzo y 80 UFC/100ml en octubre. Los coliformes fecales registraron una media anual de 622 UFC/100ml, con un máximo de 3700 UFC/ml en marzo y un mínimo de 0 a 10 en los meses de octubre-diciembre. En el noreste la media anual fue de 348 UFC/100ml con un máximo de 1400 UFC/100ml en marzo y un mínimo de 10 UFC/100ml de octubre y diciembre. La sola presencia de enterobacterias, determina una contaminación sobre un cuerpo de agua, y cuando ésta presenta niveles como los registrados para el jagüey, determinan desde el punto de vista ecológico una afectación potencial, pero que en el caso del jagüey se vuelve un daño muy severo, debido a la falta de la recarga, de precipitación pluvial, aunado al poco movimiento, y a la alta evaporación. La superficialidad del manto freático, lleva a que en épocas de lluvias, cuando se recarga el acuífero y tiene un flujo incidente en el jagüey, se difundan los coliformes, no sólo en el jagüey, sino también, en los demás jagüeyes de la zona, por donde se de el flujo del manto freático.

7.5.- Elaboración de la Matriz de Impacto Ambiental.

Para la elaboración de la matriz se consideraron cuatro bloques de factores que podían ser afectados: biológicos, de contaminación ambiental, estéticos y los de importancia humana (elementos culturales y socioeconómicos), que llevarían a caracterizar al cuerpo de agua, lo que permitió una mejor validación para establecer el problema del manejo en el jagüey y el área circundante. Los cuatro bloques, a su vez, se subdividieron en siete bloques más específicos: agua, sedimento, elementos bióticos, suelo, aspectos climáticos y atmosféricos, tecnoestructurales y

de importancia humana, dando por resultado 63 parámetros potenciales ambientales y humanos inductores de impacto.

Se dio un valor de importancia a cada elemento (referido en la matriz como “ponderación”), a través de lo cual fue posible determinar si un parámetro en particular representaba un impacto importante en el jagüey. Esto fue utilizado para establecer la relación entre el daño causado por el elemento y su severidad o magnitud.

Los 63 parámetros fueron agrupados y clasificados como de baja significancia; moderada significancia; y alta significancia.

La magnitud fue representada en una escala de 0-4 con significancia negativa o positiva, de acuerdo a cada caso; tal que (0), significaba un impacto indeterminado; (1), sin impacto; (2) con bajo impacto (+ ó -); (3), con moderado impacto (+ ó -); y (4) con alto impacto (+ ó -).

Cada valor de importancia y magnitud fue establecido, donde cada elemento fue listado de acuerdo a las 7 subdivisiones propuestas.

Todos los elementos clasificados, junto con su valor de importancia, fueron colocados en una matriz, y cada uno fue multiplicado por su valor de importancia obteniendo un Índice. La evaluación diagnóstica se basó en el Índice obtenido, ya fuera positivo o negativo. El valor de la escala fue en base 100 (+ ó -). El resultado positivo o negativo cercano a 100 mostraba un mayor impacto, mientras el resultado más cerca de 0 mostraba un menor impacto.

Derivado del análisis de los 63 parámetros, se obtuvo un índice de -90. El índice global resultante fue confirmado con cada bloque de la matriz y fue analizado separadamente, tomando los resultados de campo en consideración. Los datos de campo, junto con la evaluación de la matriz que consideraba la importancia y magnitud, indicaron y reforzaron la conclusión de que el jagüey ha sufrido un severo daño lo que indica un diagnóstico de impacto negativo, que comparándolo con los resultados obtenidos de los análisis de sedimento y columna de agua, reforzaron que el jagüey debido al aporte de nutrientes, la escasa profundidad y circulación limitada por el poco movimiento, aunado a la estratificación, provocada por la alta tasa de evaporación y los bajos niveles de oxígeno disuelto que promueven la anoxia

del cuerpo de agua, presentara un impacto severo y características de un estado hipertrófico.

La matriz permite, no sólo dar una valoración general del impacto en el jagüey, sino que en forma parcial se puede valorar cada uno de los componentes considerados en el diagnóstico lo que lleva a tener más certidumbre del componente que incide más negativa o positivamente. Al analizar los componentes de mayor negatividad a través de ponderación y magnitud, se observa que las causas principales de todo el daño que se ha generado en el jagüey son las urbanas y las derivadas de las actividades denominadas tecnoestructurales, que son las que han incidido tanto en la composición del agua como en el sedimento.

7.6.- Indicadores fitoplanctónicos de calidad de agua.

Si bien se han venido realizando trabajos tendientes a caracterizar limnológicamente (en aspectos fisicoquímicos y geológicos principalmente) a los jagüeyes de la zona de Altamira, de los que en la actualidad sólo se conservan 20 aproximadamente, de 40 que se reportaban para 1970 (Hoz y De La Lanza, 2002), es poco lo que se conoce de su ficoflora y la productividad primaria, que revisten gran importancia en el campo de la biología, por ello la presente sección aborda la información básica sobre composición y abundancia algal y clorofila.

Del muestreo realizado en la época de secas y de lluvias, se obtuvieron 10 especies, comprendidas en cuatro divisiones algales: **CHLOROPHYTA, CYANOPHYTA, EUGLENOPHYTA Y CHROMOPHYTA** como se muestra en la tabla 1.

En el jagüey estudiado la mayor abundancia correspondió a **EUGLENOPHYTA**, división constituida por algunos organismos indicadores de calidad de agua en abrevaderos que aún quedan en el área y con fauna silvestre, así como con un basurero que promueve lixiviados al cuerpo de agua, ya que se encuentra localizado a un lado del jagüey y por la fosa séptica cercana al lugar que contribuyen al aumento de materia orgánica. Le siguió **CHLOROPHYTA** representada por los géneros *Pediastrum* y *Scenedesmus*, los que normalmente se localizan en ambientes eutróficos de acuerdo a Hutchinson (1967) (Citado por Tavera, 1991). Los

restantes grupos estuvieron poco representados en términos de abundancia y diversidad de especies.

Tabla 1.- Organismos algales encontrados en el jagüey de Altamira, Tams., México

DIVISIÓN	GÉNEROS	TOTAL DE ORGANISMOS
CHLOROPHYTA	<i>Spirogyra flavescens.</i>	4
	<i>Pediastrum tetras.</i>	7
	<i>Scenedesmus acuminatus.</i>	6
CYANOPHYTA	<i>Oscillatoria tenerrima</i>	5
	<i>Merismopedia minima.</i>	3
EUGLENOPHYTA	<i>Euglena spirogyra.</i>	25
	<i>Trachelomonas hispida.</i>	5
CHROMOPHYTA	<i>Navicula</i> sp	2
	<i>Pinnularia gibba</i>	1
	<i>Synedra ulna</i>	1

Dasí *et al.* (1998) han registrado a los siguientes géneros: **Trachelomonas** en reservorios de agua oligomesotróficos, a **Scenedesmus** en ambientes de meso a eutróficos, así como a **Merismopedia** en reservorios de eutrófico a hipertróficos y a **Oscillatoria** en esta última categoría. Reynolds (1998) en un espectro provisional trófico, registra a **Euglena** en la categoría de hipereutrófica.

De acuerdo a Moreno (2000), **Scenedesmus**, **Oscillatoria**, **Merismopedia** y **Euglena** son especies bioindicadoras de calidad de agua, siendo cada una de ellas catalogadas como organismos indicadores de β -mesosaprobiedad, que son los que se encuentran en aguas de impureza moderada o contaminación moderada. Por otro lado, Godínez (2000), considera a **Oscillatoria** como indicador α -mesosaprobio; alga presente en aguas altamente contaminadas por materia orgánica. Dados los impactos mencionados en el jagüey por Hoz-Zavala y De la Lanza (2000), podría decirse que los organismos encontrados, proveen una buena referencia para considerar al jagüey contaminado.

Estos bioindicadores fitoplanctónicos proveen información integrada del ambiente. En este jagüey, la presencia de estos géneros, la alta tasa de concentración de nutrientes y el bajo contenido de oxígeno señalados previamente por Hoz-Zavala y

De La Lanza (2002), además del elevado contenido de clorofila “a”, como se verá a continuación, permite sugerir a los géneros aquí determinados, como indicadores de descargas de aguas residuales con alto contenido de materia orgánica.

Así como la comunidad fitoplanctónica resulta ser un indicador del estado trófico de un cuerpo de agua, también lo es el conocer la biomasa fitoplanctónica, a través de la determinación de clorofila “a”, la cuál es una de las técnicas indirectas más comúnmente usada y está estrechamente asociada al proceso de productividad primaria.

La concentración de clorofila “a” en el agua es una respuesta inmediata de la variabilidad en el contenido de nutrimentos presentes, por lo que su cuantificación y seguimiento sirven como indicadores confiables de las variaciones de la biomasa fitoplanctónica y por ende de poder establecer la salud del ecosistema (Contreras *et al.*, 1994).

Para este trabajo, la toma de muestras para el análisis de clorofila “a” se realizó en el mes de octubre siendo las concentraciones, registradas para el lado este y oeste del jagüey, las siguientes (Tablas 2 y 3).

Tabla 2.- Análisis de clorofila “a” en el lado este del jagüey

PARÁMETROS	ENERO	ABRIL	JULIO	OCTUBRE
Clorofila “a” $\mu\text{g L}^{-1}$	29.3	42.1	41.4	42.2

Tabla 3.- Análisis de clorofila “a” en el lado oeste del jagüey

PARÁMETROS	ENERO	ABRIL	JULIO	OCTUBRE
Clorofila “a” $\mu\text{g L}^{-1}$	30.3	47.1	42.2	29.8

La clasificación de los cuerpos de agua generalmente está basada en la cantidad de nutrimentos inorgánicos y orgánicos que se incorporan a los sistemas acuáticos de forma natural o antropogénica, y en función de ello se ha establecido la clasificación trófica. Margalef (1983), clasifica a los cuerpos en oligotróficos, eutrófico y politrófico y cuyas características distintivas son:

Oligotróficos	Es un sistema en equilibrio, rico en oxígeno disuelto, con pocos nutrimentos orgánicos e inorgánicos, con diversidad de organismos baja y con muchos organismos de la red trófica superior y pocos microorganismos.
Eutrófico	Sistema en proceso de purificación natural, con una cantidad de oxígeno bajo y/o consumo de oxígeno alto, con gran cantidad de nutrimentos, debido al avanzado proceso de mineralización, que promueve la presencia de gran cantidad de amonio, nitratos y nitritos; la cantidad de bacterias, algas y animales es muy alta.
Politrófico	Sistema con alto grado de contaminación orgánica, sin oxígeno disuelto, con altos contenidos de nutrimentos orgánicos, con diversidad de organismos baja y con mayor número de microorganismos.

De acuerdo a la capacidad trófica, Carlson (1977) y Carlson y Simpson (1996), aplican los siguientes criterios para definir las categorías tróficas conocidas como son: oligotrófico, mesotrófico, eutrófico e hipertrófico.

Oligotrófico	productividad pobre y concentración baja de nutrientes; transparencia alta (a gran profundidad) al disco de Secchi, clorofila "a" baja, fósforo bajo
Mesotrófico	moderada productividad; claridad intermedia, concentración de clorofila y del fósforo moderada
Eutrófico	muy productivo y fértil; poca claridad y altas concentraciones de clorofila y fósforo
Hipereutrófico	extremadamente productivo con alta concentración de algas que forman espumas superficiales que resultan nocivas.

Al realizar la cuantificación del contenido de clorofila "a" se tiende a relacionarla con las categorías tróficas señaladas, y con ello explicar las condiciones de salud del cuerpo de agua. A continuación se comparan los niveles de clorofila "a" en las diversas categorías, por diferentes autores.

VANT (en Burns <i>et al</i> , s/a)		OCDE (2002) en: (Ministerio del Medio ambiente. Confederación Hidrográfica del Ebro. Embalse de Escales 2002).		CARLSON Y SIMPSON (1996)		
Atributo Trófico	Clorofila a $\mu\text{g/L}$	Atributo Trófico	Clorofila a $\mu\text{g/L}$ Máximo anual	Atributo Trófico	Clorofila a $\mu\text{g/L}$	Indice de Estado Trófico
		Ultraoligotrófico	<1 a <2.5			
Oligotrófico	<2.0	Oligotrófico	2.5 a <8	Oligotrófico	<0.95-2.6	<30 a 40
Mesotrófico	2-5	Mesotrófico	8-25	Mesotrófico	2.6-7.3	40 a 50
Eutrófico	5-30	Eutrófico	25-75	Eutrófico	7.3-56	50 a 70
Hipertrófico	>30	Hipertrófico	<75	Hipertrófico	56 a >155	70 a >80

Tomando en consideración estas clasificaciones de diversos autores y usándolas como referencia en cuanto a lo cuantificado en el jagüey se observa que la concentración de clorofila "a" para el lado este fue de 29.3 a 42.2 $\mu\text{g L}^{-1}$ y en el lado oeste de 29.8 a 47.1 $\mu\text{g L}^{-1}$; estos resultados muestran un estado eutrófico.

Al comparar estudios de otros investigadores en diversos cuerpos de agua del país encontramos también esta relación entre la concentración de clorofila y la categoría trófica, la cual se muestra en la tabla 4.

De acuerdo con Barreiro y Balderas (1991), la producción primaria más alta en lagunas tropicales ocurre en las temporadas de lluvias y nortes, pues aunque la intensidad de la luz disminuye por la cantidad de sólidos en suspensión, aumenta la cantidad de nutrientes disponibles y la mayoría de los autores referidos en la tabla 4 encontraron que sus mayores concentraciones de clorofila "a" se dieron durante la época de lluvia y la menor durante la temporada de estiaje. Sin embargo, al comparar los resultados obtenidos en el jagüey esta inferencia no puede aplicarse, valores altos no siempre correspondieron a la época de lluvia y aquí se tiene que considerar otro factor, que son los efectos producidos por los impactos derivados de actividades antropogénicas.

Tabla 4.- Cuadro comparativo de cuerpos de agua y estado trófico en función de la concentración de clorofila “a” .

CUERPO DE AGUA	AUTOR	TIPO DE CUERPO DE AGUA	LOCALIZACIÓN	CONCENTRACIÓN DE CLOROFILA “a”	ESTADO TRÓFICO REPORTADO
El lago El Sol	Banderas Tarabay y González Villela R.(2002)	Embalse alpino	Porción más alta del Nevado de Toluca	Concentración máxima 3.14 mg/m ³	Oligotrófico
El lago de Zirahuen	Bernal Brooks Fernando (1995)	Embalse natural	Centro del estado de Michoacán	Concentración máxima 4 µg/L	Oligotrófico
El lago de Catemaco	Torres-Orozco Bermeo. y Pérez Rojas (2002)	Lago natural	Región de los Tuxtlas, Sureste del Estado de Veracruz	Concentración máxima 40 µg/L	Eutrófico
Laguna de Celestún	Herrera Silveira (1994)	Reserva faunística. Laguna de agua dulce por afloramiento de manto freático	Costa Oeste de la Península de Yucatán	Concentración media <1 a 12 mg/m ³ Concentración máxima 5-a 22 mg/m ³	Mesotrófico a Eutrófico

Como se ha señalado las causas de la eutrofización de los cuerpos de agua dependen de factores externos localizados en su área tributaria, por lo que sus características pueden modificarse significativamente y responder de forma particular de su geomorfología, clima, de la hidrodinámica del ecosistema entre otros; además están los impactos debidos a las actividades humanas, que en el caso del jagüey son severos y continuos.

8.- CONCLUSIONES.-

1.- La estratigrafía confirma el origen geológico 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 han disectado el relieve lo que produce un paisaje de aparente madurez geomorfológica.

2.- 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 y aceites que son absorbidas en la capa arcillosa donde permanecen durante más tiempo. El jagüey presenta dos etapas, una de dilución y una de concentración de materiales.

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

4.- 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.

- 5.- Los análisis de sedimento y agua, señalan 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 al escaso flujo del manto freático que lo inducen a comportarse como monomítico.
- 6.- Los datos muestran que el jagüey recibe un considerable suministro de nutrientes procedentes de un basurero aledaño y de la fosa séptica, lo que incrementa la tendencia a la eutrofización del cuerpo de agua.
- 7.- 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.
- 8.- El severo intemperismo en que se encuentra sometida la zona y las condiciones climáticas adversas, han incidido negativamente sobre el jagüey, que se ve agravado por los impactos humanos que se están ejerciendo en el jagüey, por las actividades antropogénicas que ahí se realizan en la zona circundante, por el asentamiento del basurero, que filtra al suelo en dirección al flujo del manto freático de materia orgánica procedente de fosas sépticas aledañas al jagüey y al uso como abrevadero para ganado en época de estiaje.
- 9.- Los bajos niveles de oxígeno disuelto se debieron a la alta tasa de evaporación y a las altas temperaturas, junto con la alta acumulación materia orgánica y el reducido movimiento en el cuerpo de agua.
- 10.- Los niveles de DBO_5 presentes, indican baja concentración de materia orgánica biodegradable, un alto consumo de oxígeno por organismos heterotróficos y una alta tasa de remineralización de materia orgánica.
- 11.- La DQO fue mayor que la DBO lo que indica una mayor contribución de materia orgánica no biodegradable, posiblemente derivada de la vegetación superior y de los compuestos industriales refractarios.
- 12.- Se registraron altas concentraciones de materia orgánica, fosfato, nitrógeno, grasas y aceites, dando un diagnóstico de impacto negativo tanto en la columna de agua, como en sedimento.

- 13.- La presencia significativa de enterobacterias indica una contaminación fecal.
- 14.- Se calculó un Índice de -90, derivado del diagnóstico ambiental de impacto del jagüey a través de la matriz cuantitativa con base en componentes principales, que reafirma el impacto ambiental negativo al que se ha visto sometido el jagüey.
- 15.- Del estudio ficoflorístico se determinaron 10 especies pertenecientes a cuatro divisiones algales, siendo las EUGLENOPHYTA y CHLOROPHYTA las más representativas..
- 16.-Entre las especies registradas, cinco de ellas: **Scenedesmus**, **Oscillatoria**, **Merismopedia**, **Pediastrum** y **Euglena** han sido reportadas como bioindicadores de calidad de agua, siendo propias de ambientes con alta contaminación debida a la presencia de materia orgánica.
17. Las altas concentraciones de clorofila "a", así como al alto contenido de nutrientes asociado a la presencia de las algas referidas indica una clara eutrofización.

9.- REFERENCIAS

ALDECO J. Y SALAS DE L. D., 1994. LAGUNAS COSTERAS Y EL LITORAL MEXICANO: FISICA. En: De la Lanza E. G. y Cáceres M. C., Lagunas Costeras y El Litoral Mexicano. Universidad Autónoma de Baja California Sur. 1994.

ALEGRÍA, C.N. Y ZAMORA, M. F., 1985, Instructivo de laboratorio para geotécnica (primera parte). Fac. de Ingeniería. División de Ingeniería Civil, Topográfica y Geodésica. Depto de Geotecnia. UNAM. 228 pp.

BANDERAS TARABAY A. y GONZÁLEZ VILLELA R., 2002., Limnología de el Sol, un lago alpino tropical. En De la Lanza E. G. Y García C. J. L., Lagos y Presas de México. AGT Editor, S. A. México, 2002. 63 –79 p.

BARREIRO Y BALDERAS , 1991., Evaluación de algunas comunidades de productores primarios de la Laguna de la Mancha, Veracruz. Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología. Trabajo recibido el 17 de enero de 1991 y aceptado para su publicación el 1 de octubre de 1991.

BERNAL B. F., 1995., El Lago de Zirahuén. En: De la Lanza E. G. y García C. J.L., Lagos y Presas de México. Centro de Ecología y Desarrollo, México. 1995. 109-116 pp.

BOURRELLY, P. 1972. Les Algues d'eau Douce. Initiation a la Systematique. Vol I. Les Algues Vertes. Ed. N. Boubée et Cie. París, France. 569 pp. 121 pl.

BURNS *et al.* s/a., Chapter 1: Concepts used in formulating the lakes monitoring protocol. Pág 1-11.

CARLSON, R. E., 1977., Limnol. Oceanogr., A trophic state index of lakes. 361-368 22 (2)

CARLSON, R.E. Y J. SIMPSON. 1996. *A coordinator's guide to volunteer lake monitoring methods*. North american lake management society. 96 pp.

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 (1986).

CNA. 2001., Programa Nacional Hidráulico. 2001-2006. Resumen Ejecutivo. 2da. Edición. Comisión Nacional del Agua., México. 23 pp.

COLINVAUX P., 1980., INTRODUCCION A LA ECOLOGIA. Editorial Limusa, México 679 pp.

CONTRERAS E. F., O. CASTAÑEDA-LÓPEZ Y A. GARCÍA-NAGAYA., 1994., La Clorofila a como base para un índice trófico en lagunas costeras mexicanas. Anales

del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología. Trabajo recibido el 25 de marzo de 1993 y aceptado para su publicación el 31 de agosto de 1994.

DASI M. J., M. R. MIRACLE., A. CAMACHO., J.M. SORIA AND E. VICENTE. 1998. Summer phytoplankton assemble across trophic gradients in hard-water Reservoirs. *Hidrobiol* 369/370: 27-43.

DE LA LANZA, G., 1986, Calidad ambiental de la laguna de Mezcaltitán, Nayarit, México. Durante el Estiaje. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología. Universidad Autónoma de México. 13(2): 315-328 (1986).

DE LA LANZA, G., 1994. Lagunas Costeras y el Litoral Mexicano: Química: En: De la Lanza E. G. y Cáceres M. C., Lagunas Costeras y El Litoral Mexicano. Universidad Autónoma de Baja California Sur. 1994.

DE LA LANZA Y GARCÍA CALDERÓN, 1995. LAGOS Y PRESAS DE MEXICO_ 1era. Ed. Centro de Ecología y Desarrollo. 320 pp.

DE LA LANZA E. G. Y HERNÁNDEZ P. S., 1998., Nutrientes y Productividad primaria en sistemas acuícolas. Capítulo 2. En: Martínez C. L. R., Ecología de los Sistemas Acuícolas. AGT Editor, S. A. México, 1998. 27-65 p.

DEE N., BAKER J.K., DROBNY N.L., DUKE K.M., WHITMAN I. & FAHRINGER D.C. 1973., Environmental Evaluation System for Water Resource Planning. *Water Resour. Res.* 9, 523-535

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. .

DINIUS S.H., 1987, Design of a water quality index. *W.R. Bulletin.* 23(5), 833-843.

EPA, 1986, *Quality Criteria for Water United States Environmental Protection Agency*. Office of Water Regulations and Standards Washington. EPA 440/5-86-001. Mayo, 1986.

FLORES VILLELA, O. Y P. GEREZ, 1988, *Conservación en México*. Síntesis sobre Vertebrados Terrestres, Vegetación y Uso de Suelo. Edit. Instituto Nacional de Investigaciones sobre Recursos Bióticos. Conservación Internacional. 302 pp.

GARCÍA, E., 1981, *Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Koppen. (Para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana)*. Instituto de Geografía. UNAM. 252 pp.

GODÍNEZ O. J. L., 2000. Algas. En: De La Lanza E. G., Hernández P. S., Carbajal P. J. L., Organismos Indicadores de la Calidad del Agua y de la Contaminación (Bioindicadores). P y V (Plaza y Valdéz) Editores, México. 109-193 p.

GONZÁLEZ MEDRANO F., 1966. La Vegetación del Nordeste de Tamaulipas. Tesis de Biología de la Facultad de Ciencias de la U.N.A.M., 60 pp

HERNÁNDEZ A. J., GALINDO DE S. M., Y LOERA P. J., 1995. Bordos o Microembalses. En: De la Lanza E. G. y García C. J.L., Lagos y Presas de México. Centro de Ecología y Desarrollo, México. 1995. 291-308 p.

HERRERA SILVEIRA J. A., 1994., Correlaciones de parámetros hidrobiológicos de la Laguna de Celestún, Yucatán. Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología. Trabajo recibido el 29 de enero de 1993 y aceptado para su publicación el 15 de mayo de 1994.

HOLLING C.S., 1980. Adaptive environmental assessment and management. Jhon Wiley and Sons. New. York.

HOZ-ZAVALA Y DE LA LANZA E. G., 2000., Limnology and Pollution of a small, shallow tropical water-body (jagüey) In North-East Mexico. In: Lakes & Reservoirs: Research and Management 2000 5: 249-260.

HOZ-ZAVALA MA. E. E. Y DE LA LANZA E. G., 2001. Los Jagüeyes, reservorios de agua del noreste de México. Publicado en el periódico la Jornada en el suplemento Ecológico del 30 de julio del 2001.

HOZ Z. MA. E. E. Y DE LA LANZA E. G., 2002., Los Jagüeyes, Cuerpos de Agua Epicontinentales del Noreste de México. En: De la Lanza E. G. Y García C. J. L., Lagos y Presas de México. AGT Editor, S. A. México, 2002. 295-321 p.

HOZ Z. MA. E. E., DE LA LANZA E. G., Y ALVAREZ A. A., 2003. Características geológicas, sedimentológicas y químicas de un pequeño cuerpo de agua superficial (Jagüey) en el noreste de México. Revista de Investigaciones Geográficas 51. Boletín del Instituto de Geografía de la UNAM. Agosto 2003. pág 7-22,

INE., 1994, *Ordenamiento Ecológico para la región de la desembocadura del Río Pánuco, Tamaulipas-Veracruz*. SEDESOL. Instituto Nacional de Ecología. Dirección General de Planeación Ecológica.

INEGI, 1983a, Síntesis Geográfica del Estado de Tamaulipas. Edit. Secretaría de Programación y Presupuesto. 158 pp.

INEGI, 1983b, Cartografía del Estado de Tamaulipas. Edit. Secretaría de Programación y Presupuesto. 12 mapas.

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. Edit. INEGI. México. 465 p.

INEGI. 1997. Estadísticas del Medio Ambiente. Edit. INEGI. México. 461 p.

JIMÉNEZ C. B., 1995, Availability Index of Water based on quality and quantity and its application in Mexico. Water Resources Management in Arid Countries. Muscat Sultanate of Oman, March 1995.

LÓPEZ RAMOS E., 1956., Bosquejo geológico de la cuenca sedimentaria de Tampico-Misantla con referencia a las formaciones terciarias. En: Congreso Geológico Internacional. Excursión C-16. Vigésima sesión., México. 11-17 p.

LÓPEZ RAMOS E., 1981., Geología de México. 2da. Edición. Instituto de Geología de la U.N.A.M.

MARGALEF R. (1977). Ecología, Ediciones Omega. Barcelona, España. 951 pp.

MARGALEF R. (1983). Limnología. Editorial Omega. Barcelona, España. 1010 p.

MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE. Confederación Hidrográfica del Ebro. Comisaría de Aguas. Asistencia Técnica para la actualización limnológica de embalses. Embalse de Escales. 2002.

MORENO R. J.L., 2000. Fitoplancton. En: De La Lanza E. G., Hernández P. S., Carbajal P. J. L., Organismos Indicadores de la Calidad del Agua y de la Contaminación (Bioindicadores). P y V (Plaza y Valdéz) Editores, México. 43-108 p.

PETTIJOHN F.J., 1956. Sedimentary Rocks, (2a. ed.). Nueva York, Harper and Row, Publishers.

PRIETO, A., 1975. Historia, Geografía y Estadística del Estado de Tamaulipas. Reproducción Facsimilar de la Edición de 1873. Editorial Manuel Porrúa, S.A., México. 361 pp.

REYNOLDS, C.S. 1998 What factors influence the species composition of phytoplankton in lakes of different trophic status? *Hidrobiol*, 369/370: 11-26

SARH., 1973., Estudio Agrológico semidetallado del proyecto "Tamesí", Tam. Vol. 1. Reporte Técnico de la SARH, Tamaulipas.

SEDUE., 1989., Guía de Aves Acuáticas Cinegéticas de México. Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología. Subsecretaría de Ecología. Dirección de Conservación Ecológica de los Recursos Naturales.

STRICKLAND, J. D. H. Y T. PARSONS, 1972., A practical handbook of seawater analysis, Fisheries Research Board of Canada. 2nd. Ed. Ottawa 1972. 310 p.

TAVERA A. G. F., 1991., Contribución al estudio de las algas en la Laguna del Chairel, Tampico, Tamaulipas, México., BIOTAM., Vol 3 (1). Abril- Julio 1991. 27-37 p.

TORRES OROZCO BERMEJO R. E. Y PÉREZ ROJAS A., 2002. El lago de Catemaco. En De la Lanza E. G. Y García C. J. L., Lagos y Presas de México. AGT Editor, S. A. México, 2002. 213-251p

WETSMAN, W. E., 1985, ECOLOGY, IMPACT ASSESMENT AND ENVIRONMENTAL PLANNING. Editor: Jhon Wiley and Sons, Inc.

WHITMAN I. L., DEE N., MCGINNIS J. T., FAHRINGER D.C. & BAKER J.K. 1971., Design of an environmental evaluation system. Report PB-201 743. Battelle Columbus, Columbus, USA.

YAÑEZ- ARANCIBIA, A., 1986, Ecología de la Zona Costera. Análisis de siete tópicos. AGT Editor, S.A. México. 189 pp.

Limnology and pollution of a small, shallow tropical water-body (jagüey) in North-East Mexico

Elia Hoz Zavala¹ and Guadalupe de la Lanza Espino*²

¹Asociación Tamaulipeca de Investigación Científica y Tecnológica A.C. (ATICTAC), Tampico and ²Departamento de Zoología, Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma De México Ciudad Universitaria, Coyoacán CP 04510, México

Abstract

The environmental characteristics and degree of pollution of a jagüey (a small, shallow tropical water-body) in Mexico were identified by means of an environmental impact matrix. Jagüeyes are important as their main sources of water are the subsurface water-table and rainfall, however, they have not been studied because of their small size. A flow diagram was designed to incorporate the main climatic, geological and hydrological environmental factors, as well as physico-chemical data on sediment and water qualities, and biological, technostructural and socioeconomic aspects. The resulting index of -90 in the environmental impact matrix indicates a severe negative impact on jagüeyes from the input of allochthonous nutrients because of their small depth, limited circulation and the high rate of evaporation. The jagüeyes studied appear in a state of hypertrophy and senility, despite geological youth.

Key words

jagüeyes, Mexico, pollution.

INTRODUCTION

A total of 65% of the available water in the world is provided by rivers, lakes and dams (de la Lanza Espino & García Calderón 1995). They provide water for irrigation, human consumption and industry, all of which cause damage and change to the natural environment. This is certainly so in the industrial corridor in Altamira, Tamaulipas, Mexico, where chemical and petrochemical industries, as well as urban, agricultural and cattle farming settlements are located near small natural wetlands known as jagüeyes. These are generally <3 ha in size and are closed water-bodies with no hydrological connection to rivers or the sea, so water levels only reflect interaction with the subsurface water-table and rainfall. The word jagüey or jagüel (jahgüel) is a taíno word meaning raft, ditch or hole full of water where cattle drink (Salvat Editores 1976). Jagüeyes around Altamira originated when the sea regressed and basins of different sizes were formed, fed by the subsurface water-table and rainfall (Longwell & Flint 1979; Margalef 1983).

The study of water is particularly relevant when carried out in areas where water is often absent, in short supply or

somehow altered. During the growth of the industrial corridor in Altamira, a great number of jagüeyes disappeared and others suffered changes as a result of anthropogenic activities in adjacent areas. Some jagüeyes have even been isolated. Prieto (1975) noted that a great number of small natural dams fed by rainfall and subsurface water dry up during the summers in the south of Tamaulipas. At present, only 20 types of jagüeyes that persist during the summer can be found in the industrial corridor, all with different shapes and sizes, and with limited degrees of recharge. Prieto (1975) estimated that more than 40 existed before 1970, but with the industrial development of the area, most have been drained or filled to build roads to the port. Four that were located near the shore were recently filled to build a road for new industries in the port of Altamira. Thus, limnological studies of these water-bodies, as well as the nature of environmental impact, are important.

Studies on environmental impact must include identification and organization of potential factors in a systematic manner. The impacts must be characterized quantitatively for studies to have any objective value. There are several evaluation and identification techniques that allow the grouping and suitable organization of data. Among these are the cause-effect lists that integrate the impacts that may be generated, and their components (Westman 1985).

*Corresponding author. Email: gdille@servidor.unam.mx

Accepted for publication 18 September 2000.

One of the best-known techniques that weights scaling values for water resources is the Environmental Evaluation System (EES) (Whitman *et al.* 1971; Dee *et al.* 1973). The EES is based on measuring impacts, and involves 78 environmental components of different types: biological, pollution, human interest and aesthetic. These become common units when using scales. The impact index is given a value according to importance, and the product for calculating a magnitude factor is added (Westman 1985).

Leopold's matrix (Holling 1980) represents qualitative simulations. This method calculates the degree of impact separately according to magnitude or importance. It identifies magnitude as a definite grade, having an extension or scale of impact (e.g. how big an area is or how severely affected it is), and importance as well as human significance. The importance index is a subjective evaluating process, while the magnitude index is objective. A list of actions produced by primary, secondary or tertiary activities forms one axis, while human and natural elements that potentially affect the system form another axis. A scale of positive or negative points suggest levels of impact, and these are identified as (+) and (-), respectively (Westman 1985).

In 1969, Dinius (1987) designed a method to determine water quality according to uses. The method is based on a purity percentage, where 100 corresponds to perfect water, and requires the calculation of a quality index based on physico-chemical, microbiological and heavy metal parameters. In the same way, Dinius (1987) designed index numbers to assess water quality according to causes of pollution. He also identified different uses (i.e. public supply, swimming and sports activities, fishing and aquatic life, leisure and canoeing, agricultural watering, industrial use, navigation and wastewater transportation). Pollution factors were grouped into four categories: (i) amounts of organic matter (according to the percentage of saturation of oxygen); (ii) number of coliform bacteria (total and faecal); (iii) amounts of ionic components (alkalinity, hardness, chlorides, electrical conductivity and pH); and (iv) physical characteristics (temperature and turbidity). The degree of pollution was defined using these four categories and 11 types of water from the main rivers and lakes in the United States. Subjective measures of beauty and physical attraction were also taken into account (Dinius 1987).

Beck (1997) noted that methods of systems analysis, particularly mathematical modelling, simulation and optimization, have been widely used to solve problems in aquatic environments during the past three decades. However, it is unclear which methods can be applied, or in what context can they be applied. During the past 10 years, models have also changed in response to environmental ethics, analysis of life cycles, sustainability and industrial ecology, and other factors. This mathematical modelling considers not only

objective and quantifiable aspects, but also intuition, empirical knowledge, and hypothetical knowledge that cannot be verified by conventional and strict criteria.

Wu (1997) referred to environmental modelling based on algorithms, available data, computer requirements, and the interpretation of results called in exact fuzzy approach for multiobjective planning (IFMOP the method for multiobjective, inaccurate and confusing programming), providing solutions and also flexibility in the making of decisions. Even so, the results of this type of modelling usually form the basis of state and regional policies, as well as strategies for socioeconomic development and environmental protection.

Anderson (1995) reported that mathematical models are widely used to interpret sedimentological information in lakes. In spite of this, the problem in using dynamic models is that they are frequently specific for a given place and need to be calibrated for each new study area. According to Anderson (1995), these models, together with field studies, are of great value in the interpretation of environmental alterations.

Young (1996) mentioned a combination of several procedures within environmental studies that generate new tools such as the hydrogeochemical model (HM), the geographical model (GM) and the multivariate statistical model (MSM). These, used together, have demonstrated that there is a meaningful similarity among methods, although the significant dissimilarities reflect distinctive properties. The results obtained from the integrated classification model exhibited less dispersion, although the process of information integration was difficult.

Jiménez (1995) reported that the Institute of Engineering at Universidad Nacional Autónoma de México has developed a specific method to determine an index of potential use (PU), based on Mexican norms and the final index of availability. In contrast with other indices, this index takes into consideration both the quality and the quantity of the water, which is why it is more complete. However, it can only be applied if the initial information of the quantity of the surface water or groundwater has been recorded. Unfortunately, in the case of jagüeyes, there is little information.

The present study aimed to provide limnological data on a jagüey near Altamira and carry out a diagnosis of its environmental condition using an environmental matrix. The research identifies environmental impacts generated within the industrial corridor in Altamira, and provides a basis for the recovery of other jagüeyes in viable conditions in the area.

Study area

Altamira is located 22°26'N, 97°54'W, at an altitude of 30 m. The study area is 1.5 km away from Altamira (Fig. 1). Based on Köppen's climate classification for Mexico

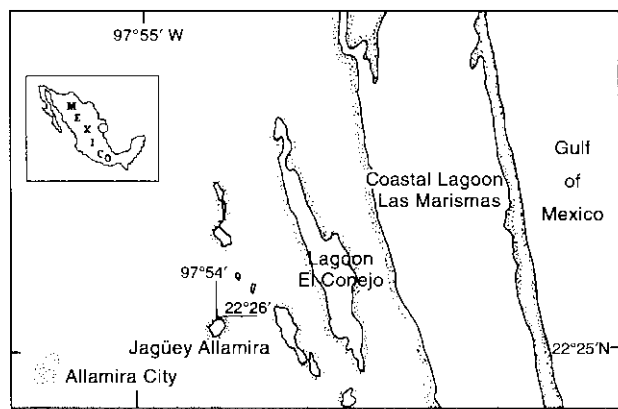


Fig. 1. Geographic location of the jagüey in Altamira.

(modified by García 1981), Altamira's climate is type Awo(e). This is hot and damp, with an average annual temperature greater than 22°C, with variation of 7–14°C, rainy summers and dry winters, and an average percentage of more than 10.2% of rainfalls in winter.

The study area is located in the geological province of the Tampico-Misantla basin with a surface of 25 000 km², in the eastern part of the Mexican Republic. Rocks of the Palaeozoic, Mesozoic, Tertiary and Quaternary age lie below the subsoil (López-Ramos 1981). A remarkable sequence of sandy-muddy sediments developed and is limited by orogenic structures from the early Cenozoic: to the north by the Sierra de Tamaulipas, to the west by the Sierra Madre Oriental and the Antefosa Chicontepéc, and to the south by the Macizo de Teziutlan. The tertiary deposits in this basin appeared during a regression of the sea that left successive bands parallel to the present coast line (Instituto Nacional de Estadística, Geografía Informática (INEGI) 1983a).

According to sedimentary maps (INEGI 1983b), the study area corresponds to various types of edaphic units that were formed by the association of calcareous regosol (re) + calcic cambisol (ck) + pelic vertisol (vp/2) with an average texture. The soil in the area is shallow, less than 90 cm deep, with a superficial obstruction of 5–15%, and without duric phases in the horizon. The pH is alkaline with a great accumulation of calcium carbonate in the muddy part. The calcium content suggests that this subsurface material derived directly from limestone, in contrast with the surface which has an acid pH and a clay-sandy texture, and where the limestone and the calcium carbonate remain unchanged and there is no sign of weathering. Thus, it is thought that these two parameters have not affected the formation of the soil on the A horizon, which includes the litter (an aromatic carpet of dark needles), humus and surface mineral soil. It is through this horizon that materials are leached and an acid reaction occurs (Secretaría de Agricultura y Recursos

Hidráulicos (SARH) 1973). The soil covering the part nearest the shore originated mainly from consolidated materials deposited by the sea and the wind, of which sand is the most important (SARH 1973).

The River Barberena arises in the Sierra de Tamaulipas, a municipality of Aldama. This river and the Tamesí River divide Tamaulipas and Veracruz, and are the main hydrological resources for Altamira (INEGI 1983a). No waterbodies with volumes greater than 5×10^6 m³ exit in this area, with the exception of several lagoons. Most jagüeyes, which are smaller, lack names.

Aquifer recharge occurs through rainfall in lithological units, mainly rivers and streams, where permeability is high, and sometimes in units where the structural characteristics aid permeability. In general, the important recharge areas are in the Sierra Madre Oriental, as well as in the hills of Tamaulipas. The rain is abundant in these areas and the soil is permeable as a result of geological folds that have caused abundant fragmentation and vertical strata favouring infiltration of rainwater. Low-scale water extraction takes place through wells. However, the surface and subsurface flows, which discharge into the sea through rivers, are the most common natural form of water movement in the area. The subsurface current is a low energy flow that travels eastward (INEGI 1983a).

The original vegetation around Altamira was a deciduous seasonal forest (INEGI 1983b). However, this has been destroyed and only shrub-like vegetation, such as the huizachal (*Acacia farnesiana*) remains. There is 'esparto' grass (secondary vegetation on abandoned agricultural soils) as well, although only in saline areas used by cattle (SARH 1973). The secondary vegetation around the jagüey developed after many years following human activities. Prieto (1975) reported that at the end of the last century the area was mainly agricultural, and when agriculture was abandoned, the local people used the soil to extract construction materials. This constituted the most important economic activity of the town (Zorrilla 1967). In the mid-1970s, when industrial development in the area began, the lands were sold to industrial companies, which changed soil use and modified the landscape (Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas (SAHOP) 1982).

The land surface area of Altamira is 179.2×10^7 m², with 88×10^7 m² agricultural, and 45.4×10^7 m² for cattle farming, 323 ha for forests and 12 ha for industrial use. The jagüey in this study is located in the industrial use category (INEGI 1993). The negative impact on jagüeyes followed change in the original vegetation, with an increase in erosion, weathering and human activities. These constitute the main causes of landscape change in the area. The only vertebrate fauna present in the area is that adapted to human presence and activities.

METHODS

Sampling took place from January to December 1994, at two locations in the north-east and south-east of the water-body. Sediment, soil and water samples, as well as data

on physico-chemical parameters, metal concentrations, and total and faecal bacteria numbers, were collected and analysed. Fauna and vegetation were recorded following local inquiries and field observation. Climatic, geological and

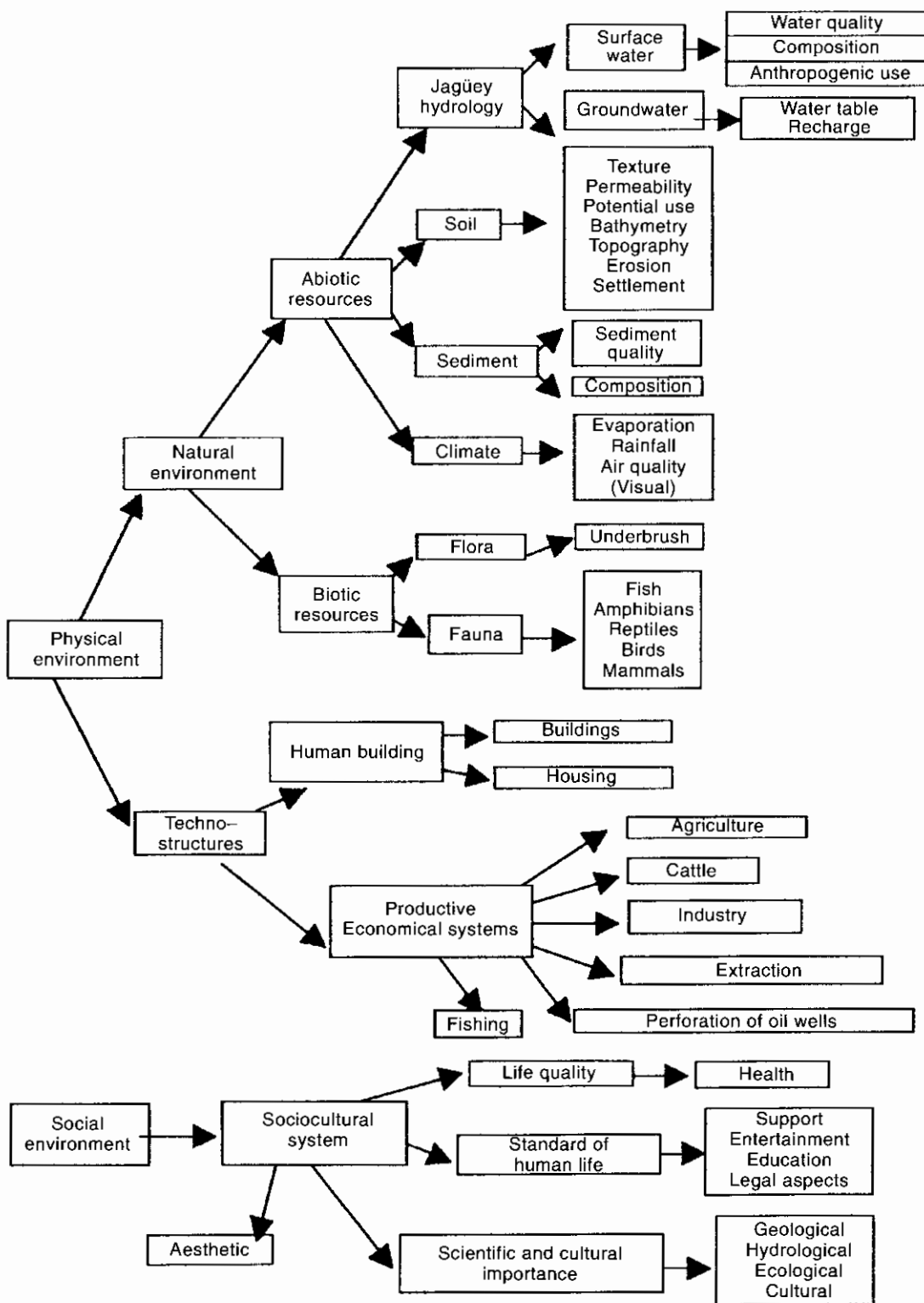


Fig. 2. Potential environmental and human components that affect the jagüey.

socioeconomic data were taken from Zorrilla (1967), Prieto (1975), the Sintesis Geográfica del Estado de Tamaulipas (INEGI 1983a), and the Anuario Estadístico del Estado de Tamaulipas (INEGI 1993).

Water samples were collected throughout the year and 26 physico-chemical parameters were analysed. Analyses used the techniques of the Normas Mexicanas (Unidad de Informacion y Enlace de Telnologia Ambiental (UNINET) 1994), American Public Health Association (APHA) (1976, 1995) and Standard Methods (Anonymous 1963). Sediment was analysed for 13 parameters based on Palmer and Troeh (1989), a manual of methods for the physico-chemical analysis of soils, water and plants (SARH 1975), and Alegría and Zamora (1985).

Principal components and their subdivisions were identified to establish direct relationships between cause and effect for various environmental factors, with special reference to biophysical and human factors. All field

data were included in the principal components analysis, as well as socioeconomic data, the results of the inquiries on biota, and local infrastructure. Thus, a principal components diagram was obtained using all factors of major relevance for the jagüey and its environmental condition (Fig. 2).

The design of the matrix and magnitude index for diagnosis was based on Westman (1985), the ecological land regulation manual (Secretaria de Desarrollo Urbano y Ecologia (SEDUE) 1988) used for the ecological land management of the Pánuco River mouth in Tamaulipas, and Veracruz (Instituto Nacional de Ecologia (INE) 1994) and Holling (1980) for the selection of qualitative and quantitative techniques in compiling the matrix. Four main blocks of information were considered for the matrix: biological, environmental pollution, aesthetics and those of human importance (cultural and socioeconomic elements). The major elements within each block were considered; these

Table 1. Factors that may be affected

Water	Sediment	Biological	Soil	Climatic and atmospheric	Technostructural	Human importance
pH	Organic matter	Fauna	Texture	Evaporation	Human building	Quality of life
Matter that settles	pH	Vegetation	Permeability	Rainfall	Agriculture	Entertainment
Total suspended matter	Conductivity		Use	Air quality (visual)	Cattle	Education
Total dissolved matter	Phosphates		Bathymetry		Industry	Legal aspects
Conductivity	Sulphate		Topography		Extraction	Scientific and cultural importance
Floating matter	Grease and oil		Erosion		Perforation of oil wells	Support
Grease and oil	Nitrogen		Settlement		Fishing	Aesthetic
Colour	Phenol					
Phosphates	Cyanide					
Hardness	Total chromium					
Oxygen (dissolved)	Cadmium					
BOD ₅	Lead					
COD	Iron					
Sulphate						
Methylene-blue-active substances						
Cyanide						
Phenols						
Nitrogen						
Iron						
Hexavalent Chromium						
Cadmium						
Lead						
Standard total coliform bacteria						
Faecal coliform bacteria						

BOD₅, biochemical oxygen demand; COD, chemical oxygen demand.

included 63 potential receptors of impact related to water, sediment, soil, biological, climatic, atmospheric and technostructural aspects, and those of human importance (Table 1).

A value of importance for each element (referred in the matrix as 'ponderation') was assigned, through which it was possible to determine if a particular parameter represented an important impact on the jagüey. This was used to

Table 2. Analyses for physico-chemical, metal and microbiological parameters in the water in the south-eastern area of the jagüey (for months in 1994)

Parameters	Mexican	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jul	Sept	Oct	Dec	Average
	norm										
Water temperature (°C)	22–28	20	22	27	30	30	32	30	25	21	26.33
pH	6.5–8.0	6.3	6.5	6.9	6.9	7.1	6.5	6.9	7.1	7	6.8
Matter that settles (mL ⁻¹)	<1.0	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.1	<0.1	0.1	<0.1	<0.1
Total suspended matter (mg L ⁻¹)	500	10	8	20	17.44	10	3	30	22	2	13.6
Total dissolved matter (mg L ⁻¹)	500	53.3	61.6	65.8	65.8	69.4	81.3	88.5	97.4	88	74.57
Conductivity (umhos cm ⁻¹)	Low	106.5	123.2	131.6	131.9	138.8	162.2	176.7	194.5	175.8	149
Floating matter (mesh 3 mm)	Absent	Absent	Absent	Absent	Absent	Absent	Absent	Absent	Absent	Absent	Absent
Grease and oil (mg L ⁻¹)	1	0.5	2.84	4.57	6.83	3.46	16.92	45.48	44.94	44.94	22.84
Colour (Pt-Co)	75	90	80	80	80	70	80	100	100	100	86.66
Orthophosphates (mg L ⁻¹)	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Total phosphorus (mg L ⁻¹)	0.1	<0.1	<0.1	0.16	<0.1	0.13	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.1
Hardness (mg L ⁻¹)	300	34	51.04	55.3	59.55	97.84	63.81	80	100	84	69.5
Oxygen (dissolved) (mg L ⁻¹)	5	2.39	1.7	0.79	4.2	5.1	1.33	3.38	1.82	5.31	2.9
BOD ₅ (mg L ⁻¹)	6	2.11	3.04	4.76	4.08	3.55	3.86	3.29	4.03	3.14	5.49
COD (mg L ⁻¹)	10	56	63.48	103.16	44	79.36	63.54	75.39	95.23	30	67.8
Sulphate (mg L ⁻¹)	0.005	11.09	8.18	23	8	2	9.11	25.75	51.47	45.24	20.43
Methylene-blue-active-substances (mg L ⁻¹)	0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.35	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.1
Cyanide (mg L ⁻¹)	0.005	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.009
Phenols (mg L ⁻¹)	0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.09
Nitrogen (mg L ⁻¹)	0.1	1.28	1.9	1.62	1.28	2.07	1.17	1.23	1.34	0.84	1.41
Iron (mg L ⁻¹)	1	0.27	0.33	0.17	0.08	0.06	0.27	0.26	0.45	0.15	0.22
Hexavalent chromium (mg L ⁻¹)	0.05	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Cadmium (mg L ⁻¹)	0.005	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Lead (mg L ⁻¹)	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Standard total coliform bacteria (FCU)	1000	120	500	4000	280	1540	300	500	20	65	814
Faecal coliform bacteria (FCU)	1000	23	350	3700	140	860	200	310	0	10	622

Pt-Co, platinum-cobalt; BOD₅, biochemical oxygen demand; COD, chemical oxygen demand.

establish the relationship between the damage caused by the element and its severity or magnitude. The 63 elements mentioned were grouped and a classification system was established to manage the values quantitatively, thus:

(i) low significance; (ii) moderate significance; and (iii) high significance.

The magnitude was represented on a scale of 0–4, with positive or negative significance, according to each case;

Table 3. Analyses for physico-chemical, metal and microbiological parameters in the water in the north-eastern area of the jagüey (for months in 1994)

Parameters	Mexican										
	norm	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jul	Sept	Oct	Dec	Average
Temperature (°C)	22–28	20	22	27	30	30	32	30	25	21	26.33
pH	6.5–8.0	6.5	6.6	7	6.7	7.2	6.6	7.1	7	7	6.86
Matter that	<1.0	<0.1	0.1	0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Total suspended matter (mg L ⁻¹)	500	11	20	34	12.34	11	7	12	6	5	13.15
Total dissolved matter (mg L ⁻¹)	500	50.9	60.8	62.7	65.7	71.7	81	87.7	86.3	83.5	72.26
Conductivity (umhos cm ⁻¹)	Low	101.5	121.6	125.4	131.3	143	161.1	175.2	172.1	167.9	144.3
Floating matter (mesh 3 mm)	Absent	Absent	Absent	Absent	Absent	Absent	Absent	Absent	Absent	Absent	Absent
Grease and oil (mg L ⁻¹)	1	0.5	3.45	0.51	6.3	7.33	24.41	0.4	12.76	12.76	9.72
Colour (Pt-Co)	75	80	100	80	80	80	100	100	100	100	91.11
Orthophosphates (mg L ⁻¹)	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Total phosphorus (mg L ⁻¹)	0.1	<0.1	<0.1	0.43	<0.1	0.15	<0.1	<0.1	<0.1	0.26	0.15
Hardness (mg L ⁻¹)	300	34	55.3	68.06	63.81	76.57	63.81	76	100	68	67.28
Oxygen (dissolved) (mg L ⁻¹)	5	3.58	2.1	1.72	5.4	5.4	1.59	3.65	1.3	4.53	3.25
BOD ₅ (mg L ⁻¹)	6	2.05	3.57	4.16	4.47	3.42	4.12	1.43	2.6	2.76	3.18
COD (mg L ⁻¹)	10	47	19.84	49.6	66	65.47	57.58	71.42	93.24	62	59.13
Sulphate (mg L ⁻¹)	0.005	9.63	7.27	23	10	10	8.3	25.03	43.99	27.96	18.35
Methylene-blue-active-substances (mg L ⁻¹)	0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.35	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.1
Cyanide (mg L ⁻¹)	0.005	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Phenol (mg L ⁻¹)	0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Nitrogen (mg L ⁻¹)	0.1	1.17	1	1.73	1.4	2.18	1.01	1.12	1.12	1.06	1.31
Iron (mg L ⁻¹)	1	0.24	0.29	0.17	0.03	0.06	0.24	0.32	0.33	0.06	0.19
Hexavalent chromium (mg L ⁻¹)	0.05	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Cadmium (mg L ⁻¹)	0.005	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Lead (mg L ⁻¹)	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Standard total coliform bacteria (FCU)	1000	110	500	2400	260	1600	250	200	80	150	617
Faecal coliform bacteria (FCU)	1000	26	350	1400	120	940	120	160	10	10	348

Pt-Co, platinum-cobalt; BOD₅, biochemical oxygen demand; COD, chemical oxygen demand.

thus: 0, indeterminate impact; 1, without impact; 2, with low impact (+ or -); 3, with moderate impact (+ or -); 4, with high impact (+ or -).

Once values of importance and the magnitudes were established, every element was listed according to the proposed block, taking into account the results observed in the field and those obtained by analysis (Tables 2-6). For aesthetics, the cultural importance of the area and the socio-economic aspects were taken from the National Institute of Statistics, Geography and Informatics (INEGI 1993).

The qualitative importance of each block may be established from the partial addition of each as follows: (i) the physico-chemical water and sediment analyses; (ii) the biological, soil, climatic and atmospheric aspects; (iii) the technostructural aspects; and (iv) the human aspects. This last block may have different meanings with respect to the elements within it that are considered important at a particular time, so its position could be changed by other researchers.

The main environmental and human components previously established externally and internally as factors that might affect the jagüey were considered in the elaboration of the diagnosis matrix. Values of importance were provided with one ponderation per component.

All classified elements, together with their value of importance, were placed in the matrix, and each was multiplied by its value of importance. The values obtained were then added, resulting in one index. The diagnostic evaluation was carried out according to the positive or negative index that was obtained. The value scale was based on 100 (+ or -). Positive and negative results nearest 100 showed a major impact, whereas results nearest 0 showed a small impact.

The degree of alteration of the jagüey may be analysed through the matrix in its entirety with one global index, although the parameters with greatest positive or negative impacts on the jagüey may be identified through the analysis of each matrix block.

RESULTS AND DISCUSSION

The monthly data on water analyses are presented in Tables 2 and 3. Unlike the water column, the greatest concentration of fats and oils occurred in the sediment. The cause of this was the high concentration of humic compounds; this explains the yellow colouration observed in the surface water and suggests a eutrophic condition in the jagüey.

The low levels of dissolved oxygen were due to the high rate of evaporation and high temperature, together with the high organic load and reduced movement in the water-body. The biochemical oxygen demand (BOD₅) levels indicate low concentrations of biodegradable organic matter, a high oxygen consumption by heterotrophic organisms, and a high rate of organic matter remineralization. The chemical oxygen demand (COD) was greater and indicated a major contribution of non-biodegradable organic matter, possibly from vegetation and industrial refractory components.

Total phosphorus concentration the water column was high (0.43 mg L⁻¹), possibly indicating eutrophication, and it was also high in the sediment. Total nitrogen concentration in the water was low compared with that in the sediment. The high levels in the sediment could be due to solid waste in the north-eastern area.

Significant numbers of enterobacteria indicate faecal contamination. Such levels indicate severe ecological damage, as a result of results low water recharge, low

Table 4. Analyses for physico-chemical and metal parameters in the sediment in the south-eastern area of the jagüey

Parameters	Feb 1994	Mar 1994	Apr 1994	May 1994	Jul 1994	Sept 1994	Oct 1994	Dec 1994	Average
Organic matter (%)	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
Conductivity (umhos cm ⁻¹)	65.4	191	236	108	148	146.4	107.2	115.3	140
Phosphorus (mg L ⁻¹)	16.2	2.5	1.2	0.6	<0.01	3.8	0.3	0.6	3.15
Sulphate (mg L ⁻¹)	50	25	20	<0.01	<0.01	<0.01	19.75	12	15.8
Grease and oil (mg L ⁻¹)	720	40	180	660	7240	1660	2840	1600	1868
Nitrogen (mg L ⁻¹)	644	660.8	352.8	879.2	649.6	308	302.4	300	512
Phenol (mg L ⁻¹)	0.6	0.6	0.9	1.08	1.08	2.4	0.8	0.6	1.01
Cyanide (mg L ⁻¹)	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0
Chromium (mg L ⁻¹)	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0
Cadmium (mg L ⁻¹)	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0
Lead (mg L ⁻¹)	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0
Iron (mg L ⁻¹)	5.6	7.4	1.3	7.4	3.5	4	2.5	4	4.46

rainfall, a reduced flow and high evaporation. The low depth of the groundwater during the rainy season does not affect the movement of faecal and total coliform bacteria. When the jagüey is recharged, the water in the aquifers and the groundwater moves within the jagüey, and bacteria may then be transported to other jagüeyes in the area.

High concentrations of organic matter, pH, phosphate, nitrogen, fats and oils were recorded (Tables 4 and 5), giving a negative impact diagnosis in water and sediment. The pH level was low. The capacity for adsorption, retention and adhesion by the sediment resulted in a high concentration of fats and oils that varied throughout the year. The concentration of organic matter also varied with sediment texture. As fine sand was the dominant sediment class, the content of organic matter was low (De la Lanza & Cáceres Martínez 1994). Furthermore, water flow in the aquifer during the main period of recharge determines the variability in the percentage of organic matter present.

The data show that the jagüey receives a considerable supply of nutrients, leading not only to high productivity, but extreme eutrophication. However, the great retention capacity of the sediment enables the phosphorus to be returned to the water-column efficiently. This enables the water-body to recover gradually throughout the year, in appropriate climatic conditions.

The 63 parameters obtained by analysis of potential environmental and human components are documented in Table 6. Analysis provided an value index of -90. The global index result was confirmed when each matrix block was analysed separately, taking the field results into account. The field data, together with the matrix evaluation that considered importance and magnitude, indicated and

reinforced the conclusion that the jagüey has suffered severe damage, hypertrophy and senility. The main factors of this alteration are the high concentration of nutrients, the limited flow of water, the stratification established by the high evaporation rate, and the low concentration of dissolved oxygen.

Actions including primary, secondary or tertiary activities could cause problems if the climatic, geological, biological, physico-chemical and socioeconomic characteristics in the area are not known. To construct the matrix, it is necessary to identify the main impacts and to compare these with the nature of the impacts caused. This analysis takes time, but clearly indicates the damages and positive effects generated by activities in the area. Furthermore, it makes it possible to diagnose the conditions within the jagüey with regard to the study area.

Much of research on the classification of the conditions of water-bodies has considered issues of quality (Varis 1996), or quality and quantity (Jiménez 1995, 1996), or is complex (Anderson 1995; Young 1996; Wu 1997), but does not consider climatic, socioeconomic and biological issues. This limits the value of the results and leads to a limited limnological characterization of aquatic ecosystems. The matrix presented here takes all issues into account, provides a more complete validation and a more realistic characterization, and enables better problem management.

Time could be limiting if nothing is known of the study area and if no background information to aid evaluation is available. However, it is important to invest the time to obtain data to ensure a valid appraisal of the study area and to obtain correct results for the global index.

The development of this matrix involved factors obtained

Table 5. Analyses for physico-chemical and metal parameters in the sediment in the north-eastern area of the jagüey

Parameters	Feb 1994	Mar 1994	Apr 1994	May 1994	Jul 1994	Sept 1994	Oct 1994	Dec 1994	Average
Organic matter (%)	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
Conductivity ($\mu\text{mhos cm}^{-1}$)	100.8	127	143.8	131.5	163.4	99.7	80	102.5	119
Phosphorus (mg L^{-1})	3.8	2.4	1.2	<0.01	<0.01	3.7	0.3	1.2	1.58
Sulphate (mg L^{-1})	40	10	25	<0.01	<0.01	<0.01	11.85	10	12.1
Grease and oil (mg kg^{-1})	20	80	320	880	920	820	2080	880	750
Nitrogen (mg kg^{-1})	868	599.2	792.4	644	128.8	190.4	308	500	504
Phenols (mg kg^{-1})	0.6	0.6	1.98	1.68	0.88	0.8	0.6	0.6	0.97
Cyanide (mg kg^{-1})	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0
Chromium (mg kg^{-1})	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0
Cadmium (mg kg^{-1})	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0
Lead (mg kg^{-1})	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0
Iron (mg kg^{-1})	7.5	7.35	7.4	7.4	1.5	0.8	1.6	6	4.94

from an environmental analysis in a specific study area and established a reference model for other related studies. The parameters used for the matrix may be modified by each researcher. Its use will provide greater certainty about the characterization of an ecosystem under study.

This study made it possible to recognize different aspects of the environmental frame of the jagüey under study, although this individual site is not considered important

because of its small size. Nevertheless, jagüeyes are recharged by aquifers and rainfall and represent an important resource for the local people. They are at present being affected by road construction and by inadequate use of an oxidative basin. The study of jagüeyes is important for all these reasons, particularly with respect to the recuperation of this type of tropical epicontinental water ecosystem in coastal areas.

Table 6. Environmental diagnosis matrix for the jagüey taking into account the components analysed

Jagüey water composition	Weight	Magnitude	Diagnosis	Jagüey sediment composition	Weight	Magnitude	Diagnosis
pH	1	1	1	Lead	3	1	3
Matter that settles	1	1	1	Iron	2	1	2
Total suspended matter	1	1	1	Biological aspects			
Total dissolved matter	1	1	1	Vegetation	3	-4	-12
Conductivity	1	1	1	Fauna	3	-4	-12
Floating matter	1	1	1	Soil aspects			
Grease and oil	2	-4	-8	Texture	2	1	2
Colour	1	1	1	Permeability	3	3	9
Phosphate	3	-3	-9	Use	3	-4	-12
Hardness	1	1	1	Bathymetry	3	1	3
Oxygen (dissolved)	3	-3	-9	Topography	3	1	3
BOD ₅	3	-3	-9	Erosion	3	-4	-12
COD	3	-4	-12	Deposition	3	-3	-9
Sulfate	2	1	2	Climatic and atmospheric aspects			
Methylene-blue-active substances	2	1	2	Evaporation	3	-4	-12
Cyanide	3	1	3	Rainfall	3	4	12
Phenol	2	1	2	Air quality (visual)	1	4	4
Nitrogen	3	-4	-12	Technostructure			
Iron	2	1	2	Human building	3	-4	-12
Hexavalent chromium	3	1	3	Agriculture	1	1	1
Cadmium	3	1	3	Cattle	2	-2	-2
Lead	3	1	3	Industry	3	-4	-12
Standard total coliform bacteria	3	-4	-12	Extraction	3	-4	-12
Faecal coliform bacteria	3	-4	-12	Perforation of oil wells	3	-3	-9
Jagüey sediment composition				Fishing	1	1	1
Organic matter	3	-4	-12	Human importance			
pH	2	-3	-6	Quality of life	3	4	12
Conductivity	1	1	1	Entertainment	3	4	12
Phosphorus	3	-3	-9	Education	3	4	12
Sulfate	2	1	2	Legal aspects	3	4	12
Grease and oil	3	-4	-12	Scientific and cultural importance	3	4	12
Nitrogen	3	-4	-12	Support	3	4	12
Phenol	2	-2	-4	Aesthetic	3	4	12
Cyanide	3	1	3	Index			-90
Total chromium	3	1	3				
Cadmium	3	1	3				

ACKNOWLEDGEMENT

We would like to thank Salvador Hernandez Pulido for computer processing.

REFERENCES

- Alegria C. N. & Zamora M. F. (1985) *Instructivo de Laboratorio para Geotecnia (primera parte)*. Fac. de Ingeniería. División de Ingeniería Civil, Topográfica y Geodésica. Depto. de Geotécnia. UNAM, México.
- Anderson N. J. (1995) Using the past to predict the future: lake-sediments and the modeling of limnological disturbance. *J. Ecol. Model.* **78**, 149–72.
- Anonymous (1963) *Métodos Estándar para el Examen de Aguas y Aguas de Desecho. Undécima Edición*. Editorial Interamericana, S.A., México.
- American Public Health Association (APHA). (1976) *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 14th edn*. American Public Health Association, Washington DC.
- American Public Health Association (APHA). (1995) *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 21st edn*. American Public Health Association, Washington DC.
- Beck M. B. (1997) Applying systems-analysis in managing the water environment – towards a new agenda. *J. Water Sci. Technol.* **36**, 1–17.
- De la Lanza G. & Cáceres Martínez C. (1994) *Lagunas Costeras y El Litoral Mexicano*. Universidad Autónoma de Baja California Sur. México.
- de la Lanza G. & García Calderón J. L. (1995) *Lagos y Presas de México*. Centro de Ecología y Desarrollo.
- Dee N., Baker J. K., Drobny N. L., Duke K. M., Whitman I. & Fahringer D. C. (1973) Environmental Evaluation System for Water Resource Planning. *Water Resour. Res.* **9**, 523–35.
- Dinius S. H. (1987) Design of a water quality index. *W.R. Bulletin.* **23**, 833–43.
- 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.
- Holling C. S. (1980) *Adaptive Environmental Assessment and Management*. John Wiley & Sons, New York.
- Instituto Nacional de Ecología (INE) (1994) *Ordenamiento Ecológico para la región de la desembocadura del río Pánuco, Tamaulipas-Veracruz. SEDESOL. Instituto Nacional de Ecología*. Dirección General de Planeación Ecológica, México.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía Informática (INEGI) (1983a) *Síntesis Geográfica del Estado de Tamaulipas*. Edit. Secretaría de Programación y Presupuesto, México.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía Informática (INEGI) (1983b) *Cartografía del Estado de Tamaulipas*. Edit. Secretaría de Programación y Presupuesto, México. 12 mapas.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía Informática (INEGI) (1993) *Anuario Estadístico del Estado de Tamaulipas*. Edit. INEGI. México.
- Jiménez C. B. (1995) *Availability Index of Water based on Quality and Quantity and its Application in Mexico. Water Resources Management in Arid Countries*. Muscat Sultanate of Oman, Arabia.
- Jiménez C. B. (1996) Water availability index based on quality and quantity. Its application in Mexico. *Water Sci. Technol.* **34**, 165–72.
- Longwell C. H. R. & Flint R. F. (1979) *Geología Física*. Editorial Limusa, México.
- López-Ramos. (1981) *Geología de Mexico*. 2nd ed. Instituto de Geología, UNAM, México.
- Margalef R. (1983) *Limnología*. Editorial Omega, Barcelona.
- Palmer R. G. & Troeh F. R. (1989) *Introducción a la Ciencia Del Suelo. (Manual de Laboratorio)*. AGT. Editor, S.A., México.
- Prieto A. (1975) *Historia, Geografía y Estadística del Estado de Tamaulipas. Reproducción Facsimilar de la Edición de 1873*. Editorial Manuel Porrúa, México.
- Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas (SAHOP) (1982) *Plan Ecológico del Estado de Tamaulipas. Gobierno del Estado de Tamaulipas, Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas, Centro SAHOP y Dirección General de Ecología Urbana*, México.
- Salvat Editores (1976) *Enciclopedia Salvat Diccionario*. Salvat Editores de México, Tomo 7, México.
- Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH) (1973) *Estudio Agrológico Semidetallado del Proyecto 'Tamesi'*, SARH, Tamaulipas.
- Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH) (1975) *Métodos para el Análisis Físico y Químico de Suelos, Aguas y Plantas. Subsecretaría de Planeación*. Dirección de Agrolología, México.
- Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología (SEDUE) (1988) *Guía de Aves Acuáticas Cinegéticas de México. Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología. Subsecretaría de Ecología*. Dirección de Conservación Ecológica de los Recursos Naturales, México.
- Unidad de Información y Enlace de Tecnología (UNINET) (1994) *Normas Mexicanas (Métodos de Prueba). Unidad de Información y Enlace de Tecnología Ambiental (UNINET)*. ITESM. Centro de Calidad Ambiental. Monterrey, Nuevo Leon, México.
- Varis O. (1996) Water Quality Models: Typologies for Environmental Impact Assessment. *Wat. Sci. Tech.* **34**, 109–17.

- Westman W. E. (1985) *Ecology, Impact Assessment and Environmental Planning*. John Wiley and Sons, New York.
- Whitman I. L., Dee N., McGinnis J. T., Fahringer D. C. & Baker J. K. (1971) *Design of an environmental evaluation system*. Report PB-201 743. Battelle Columbus, Columbus, USA.
- Wu S. M. (1997) An Interactive Inexact-Fuzzy Approach for Multiobjective Planning of Water-Resource-Systems. *J. Water Sci. Tech.* **36**, 235–42.
- Young T. C. (1996) The temporally integrated monitoring of ecosystems (time) project design. 1. Classification of northeast lakes using a combination of geographic, hydrogeochemical, and multivariate techniques. *Water Resour. Res.* **32**, 2517–28.
- Zorrilla L. E. (1967) *Panorama de la Geografía Económica del Estado de Tamaulipas*. Monterrey, México.

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 km³ (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: gdle@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).

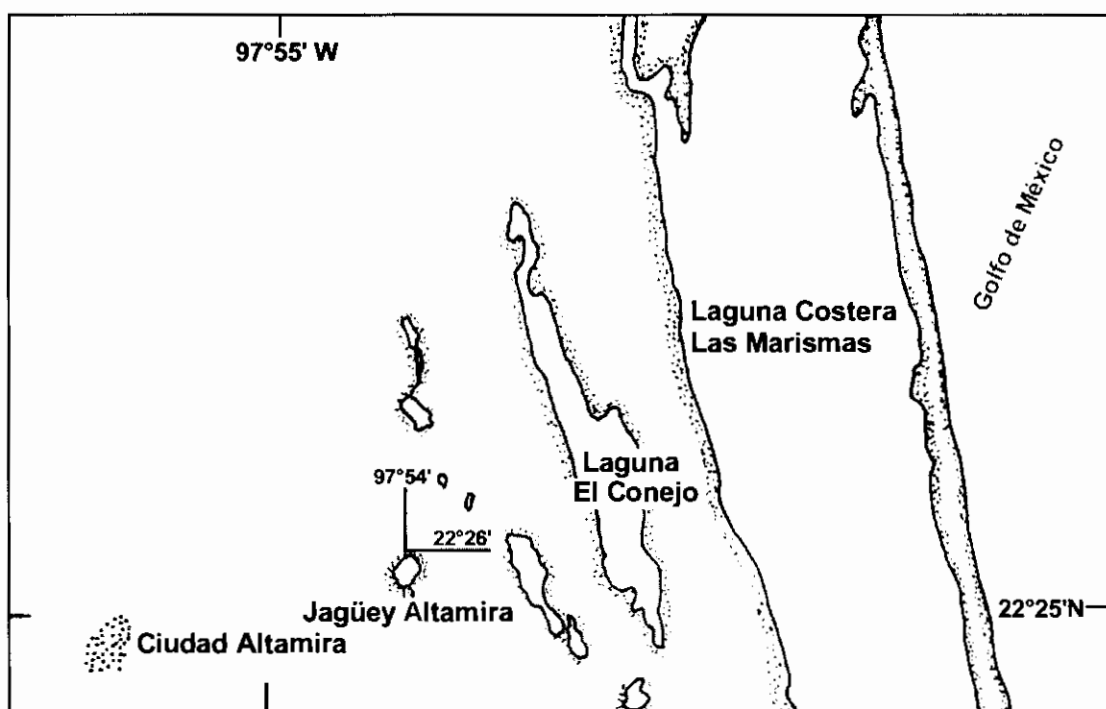


Figura 1. Localización del jagüey en Altamira, Tamaulipas, México (tomado de Hoz y De la Lanza, 2000).

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 *Monanochloë 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,

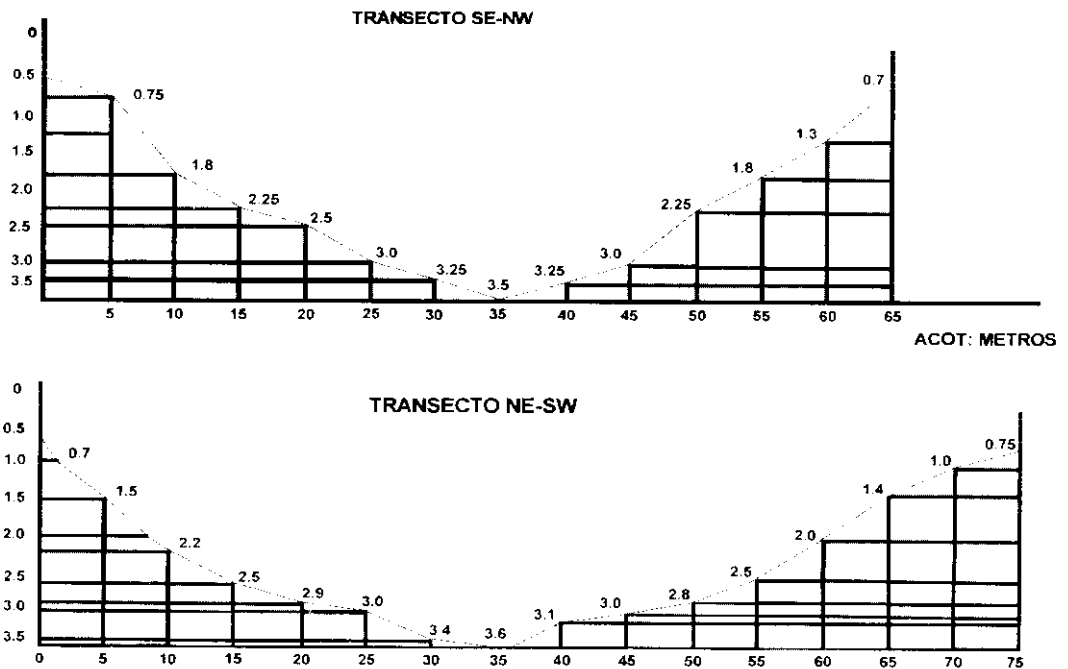


Figura 2. Sección que establece las dimensiones y profundidad del jagüey.

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 (apertura de malla de 2.00 mm), 20 (apertura de 0.84 mm), 40 (apertura de 0.42 mm), 60 (apertura de 0.25 mm), 100 (apertura de 0.149 mm) y 200 (apertura 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 deposición 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

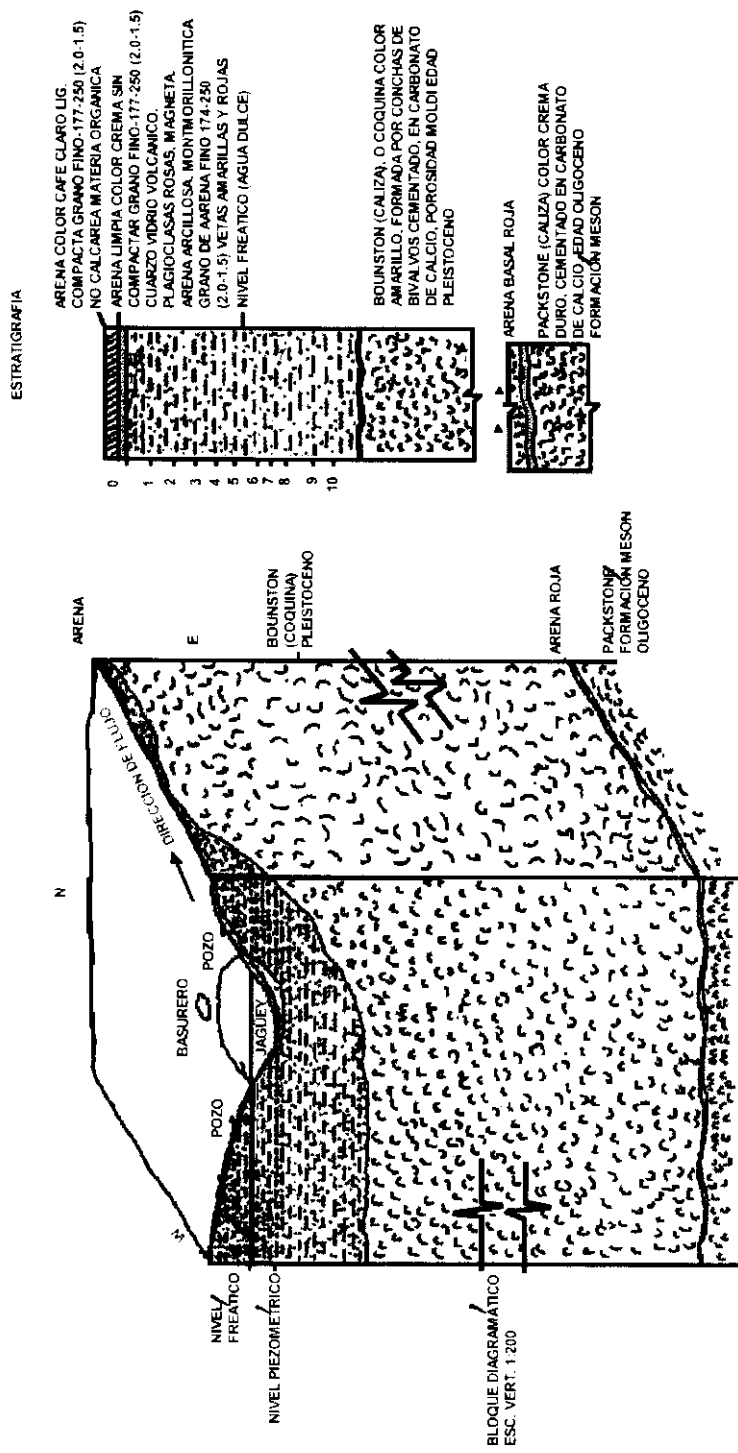


Figura 3. Modelo geológico, geohidrológico y estratigrafía del jagüey ubicado en Altamira, Tamaulipas.

(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 topografía 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

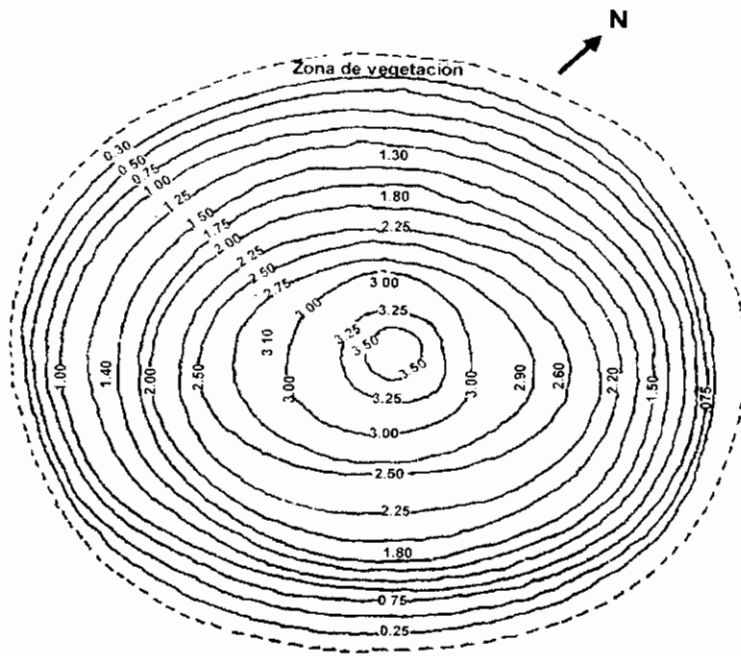


Figura 4. Batimetría e isobatas del jagüey ubicado en Altamira, Tamaulipas

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 meteórica 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 meteóricas, 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 sur 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
Concentración 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 cristalino, 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,

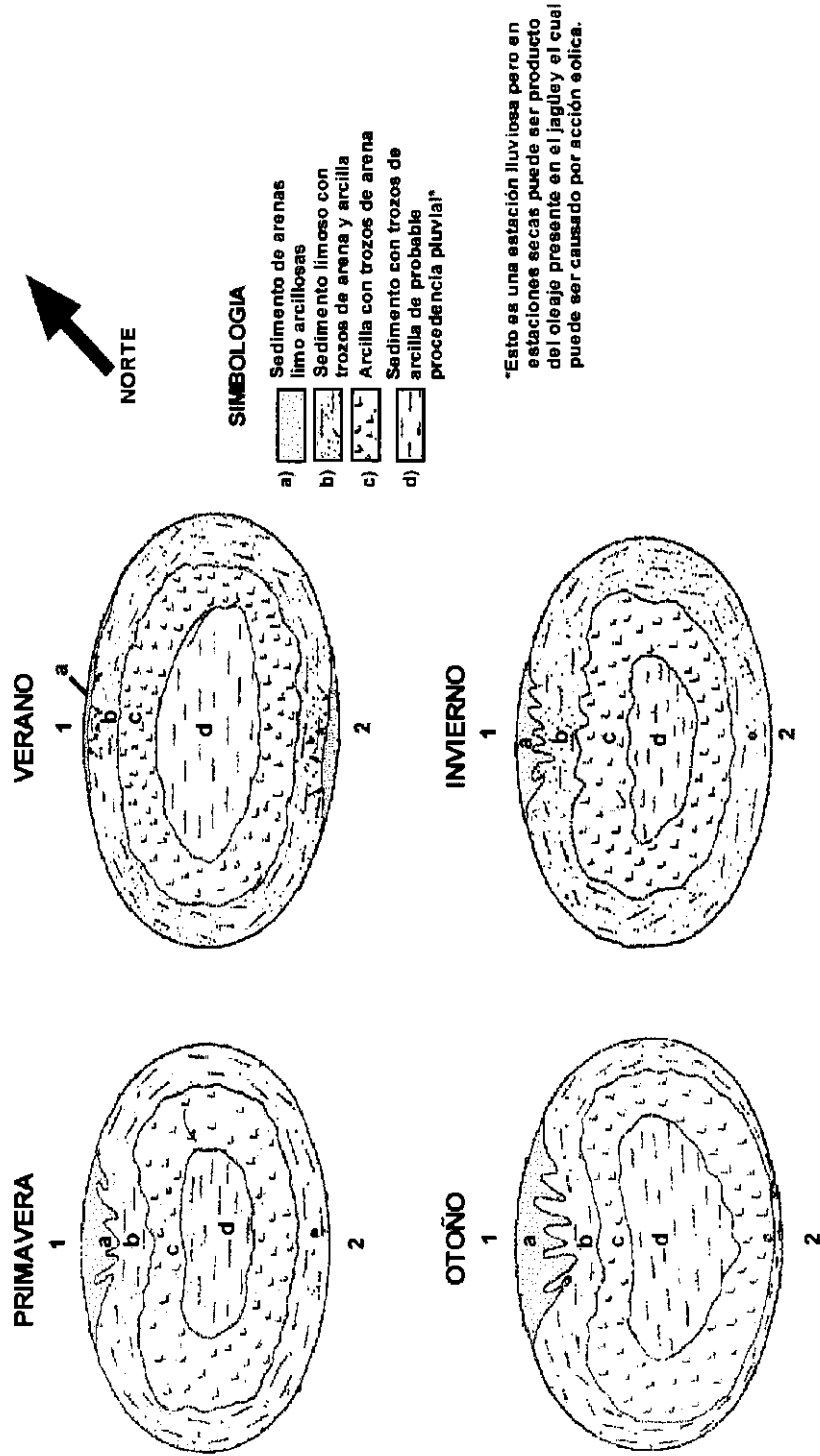


Figura 5. Modelo sedimentario del jagüey ubicado en Altamira, Tamaulipas, durante las cuatro estaciones del año, mostrando los límites transicionales de fase sedimentaria.

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 μScm^{-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 94	Marzo 94	Abril 94	Mayo 94	Julio 94	Sept. 94	Octubre 94	Diciembre 94	Prome- dio
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
Conductividad $\mu\text{S}/\text{cm}^{-1}$	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
Conductividad μScm^{-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 monomítico, aunque en la época de ciclos se considera polimítico.

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 Mexico", *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 Koerdell, M. (ed.), *Congreso Geológico Internacional*, Excursión C-16, Vigésima 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.

LOS JAGÜEYES, CUERPOS DE AGUA EPICONTINENTALES DEL NORESTE DE MEXICO

*Ma. Elia Esther Hoz Zavala
Guadalupe de la Lanza Espino*

México tiene una superficie de 1 953 162 km² con 11 122. 5 kilómetros de costa, por lo que se le considera el quinto país más extenso de América. Presenta como rasgo físico característico y relevante el que casi la mitad del territorio nacional es predominantemente de clima seco (INEGI, 1997).

Las diversas cuencas hidrológicas del país son alimentadas principalmente por el 28% del agua de lluvia que anualmente precipita sobre el territorio nacional; el restante 72% es regresado a la atmósfera por transpiración y evaporación. La Comisión Nacional del Agua (C.N.A.) ha cuantificado hasta el momento 649 acuíferos, los que presentan una recarga natural de 48 km³ anuales y una recarga inducida, en las zonas de riego, que se estima en 15 km³; lo que sumado da un total de recarga anual de 67 km³ (INEGI, 1997).

De acuerdo a INEGI (1995), los lagos y reservorios de México cubren 6 910 km²; de éstos, 2 100 km² corresponden a los lagos y 4 810 km² a los reservorios. México cuenta también con 14 000 cuerpos de agua lénticos o sin movimiento horizontal como ocurre con los ríos; de ellos el 90% se consideran sistemas temporales con dimensiones menores a dos hectáreas (Hernández et al., 1995).

De acuerdo a los datos hidrológicos mencionados podría decirse que México cuenta con un balance hídrico positivo, lo que ubica al país como uno de riqueza media en cuanto al recurso agua, por tener una

disponibilidad anual per capita de cinco mil metros cúbicos. (INEGI, 1997). Sin embargo, a pesar de la gran abundancia del recurso agua que México posee, la alta evapotranspiración, la sobreexplotación de acuíferos, la eutrofización de cuerpos de agua epicontinentales por el constante aporte de nutrimentos y la contaminación de los mismos por vertimiento de compuestos orgánicos e inorgánicos tóxicos, aunado a las descargas de aguas negras, que se vierten sin tratamientos a ríos y lagos; todo ello promovido por las diversas actividades humanas ha deteriorado en gran medida la disponibilidad de este recurso.

Considerando que México cuenta con una gran cantidad de reservorios, la gran mayoría de los cuales son de dimensión pequeña, pero innegablemente de gran valor como ecosistemas y de gran importancia por constituir una alternativa de soporte de vida para muchas poblaciones lo que los hace potencialmente relevantes por las posibilidades de uso que podrían tener, ya sea para consumo humano, riego agrícola y recreación entre otros, se vuelve necesario el prestar mayor atención a estos cuerpos de agua y empezar a entenderlos para hacer un uso y manejo racional y sostenido de los mismos, e impedir que se sigan destruyendo o deteriorando por las actividades humanas que seriamente están impactando en ellos.

Uno de estos tipos de reservorios conocidos en México como jagüeyes, constituyen un recurso natural de gran importancia, por lo que se hace necesario el protegerlos y evitar su destrucción.

CARACTERIZACIÓN DE LOS JAGÜEYES

La palabra jagüey o jagüel (jahuel), es un vocabio taíno el cual significa balsa, zanja o pozo lleno de agua en el que abreva el ganado (Salvat, 1976). Hernández et al, (1995), haciendo referencia a estos cuerpos de agua llamados jagüeyes, mencionan que también son denominados

bordos o estanques de índole rústica; siendo reservorios naturales o artificiales de agua temporal o permanente. A los jagüeyes también se pueden definir como cuerpos de agua epicontinentales lénticos, cerrados sin conexión con ríos o mar; que sólo conservan su nivel de agua a través de mantos freáticos y precipitación pluvial.

En el noreste de México, a lo largo de la franja costera desde el Municipio de San Fernando hasta Altamira, hay jagüeyes naturales (Fig. 1). De acuerdo a la crónica de Prieto (1975) los antiguos pobladores indígenas de Tamaulipas, en las zonas donde se localizan los cués, se han encontrado estanques o jagüeyes de forma circular de 12 a 14 metros de ancho, generalmente rodeados de un borde de piedras irregulares combinadas entre sí para evitar derrumbes; estos jagüeyes son poco profundos y en su parte central tienen apenas 1.5 metros. También los observó en los municipios de Ocampo, Magiscatzin; además desde la demarcación de Altamira al norte, siguiendo la cadena de la sierra que se prolonga hacia Aldama, Soto la Marina, San Fernando y hasta el extremo norte de la Laguna Madre, se encuentran diseminadas gran cantidad de charcas de agua dulce, de poca extensión, las cuales están ocultas en el seno de los bosques. Prieto también refiere que la mayor cantidad de estanques o jagüeyes se localizan en la demarcación de la Sierra de la Palma y que en el Valle de las Rusias se encuentran desde las faldas orientales de la Sierra Madre hasta las playas de Tampico. Saldivar (1988), por otra parte, refiere que a lo largo del Estado se forman depósitos en muchas partes, pero la gran mayoría no son permanentes, sólo mantienen un volumen de agua durante algunos meses del año, principalmente durante la temporada de lluvias; hay otros que si almacenan agua durante todo el año, como los localizados en la región montañosa de Tula, que se ubica en la provincia de la Sierra Madre Oriental.

Los jagüeyes que se encuentran asentados en la zona de Altamira son de dos tipos principales: de agua dulce, influenciados por los

escurrimientos provenientes de la Sierra Madre Oriental, y salinos, que su principal recarga está influenciada por la cuña salina que tiene repercusión sobre el acuífero que los recarga (Hoz Zavala, 1999). En la actualidad se considera hay un total aproximado de unos 20 jagüeyes entre dulces y salinos; aunque Prieto (1975), reportó que en 1873 se localizaban más de 40 tan sólo en la zona de Altamira y que en San Fernando, entre los Río Conchos y el norte, existían sembrados gran cantidad de estos estanques de agua de lluvias, como él los denominó, aunque no da un número estimado de ellos. Pero considerando que están registrados como abundantes desde la parte norte del Estado hasta el sur, abarcando la franja costera que es de 420 kilómetros de largo, puede decirse que debe haber por lo menos más de 80 de estos cuerpos de agua en todo el Estado.

Se les considera como cuerpos de agua someros lo que favorece la circulación y mezcla continua por vientos en una zona cálida de latitudes tropicales. La dinámica de circulación vertical que presentan los jagüeyes del noreste de México, está condicionada más que por los cambios de densidad, determinados por las variaciones de temperatura, por los vendavales huracanados de agosto a octubre, brisas y vientos del norte que ejercen fuerza sobre la columna de agua, ocasionando una mezcla de los estratos. Por su parte el agua subterránea, de temperatura más baja que la superficial tiende a estratificar al jagüey pero con frecuente circulación completa en el año (Reid y Wood, 1976).

Aunque son embalses someros con profundidades máximas entre uno y seis metros, logrando esta máxima profundidad en época de lluvias y la menor en época de estiaje son permanentes, por presentar un volumen remanente de agua constante al año. El tiempo de permanencia del agua en estos jagüeyes depende directamente de tres factores, que son: la precipitación, la evaporación y el escurrimiento superficial, al que se suma el flujo de agua subterránea, y en forma secundaria las pérdidas por

filtración y captura de agua por la vegetación aledaña (Hernández et al., 1995).

LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA Y CLIMA

Los jagüeyes se encuentran comprendidos dentro de la provincia fisiográfica denominada Llanura Costera del Golfo Norte (INEGI, 1983a). Se localizan en mayor cantidad a los 22° 26' N y 97° 54' W; a 1.5 kilómetros de la Ciudad de Altamira, Tamaulipas.

Conforme a la clasificación de Köppen (García, 1981), se presenta un clima que se clasifica como Awo(e). Este corresponde con el grupo cálido húmedo, con temperatura media anual mayor que 22°C, su oscilación es entre 7 y 14°C. Con lluvias en verano y sequía en invierno. Presenta un porcentaje de lluvias invernales mayor de 10.2, del subtipo de los más secos de los subhúmedos.

La precipitación anual varía entre 788.6 milímetros y 1 094 milímetros. El mes más lluvioso es junio, con 218.9 milímetros. En los alrededores de Tampico, Madero y Altamira, se localizan pequeñas áreas con mayor grado de humedad, en donde la precipitación anual, puede oscilar entre 1 068.5 milímetros y los 1 578.5 milímetros. El promedio mensual es de 280 milímetros (INEGI, 1983a).

La evaporación promedio anual (hasta 1986) en la zona de Altamira era de 1 520.8 milímetros, siendo agosto el de mayor evaporación promedio: 172.9 milímetros (CNA, Rep. Clim. 1990-1995); sin embargo para 1998 la evaporación promedio aumentó hasta cerca de 2 000 milímetros (CNA. Rep. Clim. 1997-1998).

La temperatura media anual fluctúa entre 24.6 y 26.5°C. Las medias mensuales más altas se registran en junio y agosto con 29.4°C y las más bajas en enero con 19.4°C, en contraste con las más altas en

mayo de 37.9°C. La temperatura mínima promedio anual es de 14.7°C. En diciembre, enero y febrero se presentan las más bajas, oscilando entre 4.5 y 8.6°C. De acuerdo a los datos proporcionados por la oficina de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, de 1990 a 1995, la temperatura máxima ha fluctuado de 36 a 44.5°C, y la mínima de 0 a 8°C promedios anuales (CNA. Rep. Clim. 1990-1995). Las temperaturas máximas para 1997-1998 han fluctuado entre 28 a 46°C y las mínimas de 14 a 20°C (CNA. Rep. Clim. 1997-1998).

Por su situación geográfica, el territorio tamaulipeco se encuentra influenciado por el centro de las bajas presiones ecuatoriales y por el de las altas presiones de la latitud 30° N; y su vecindad al Golfo de México lo ha colocado dentro de la influencia de los centros ciclónicos y anticiclónicos. Generalmente, los ciclones que afectan a este territorio tienen su formación a partir del 15 de agosto hasta el 15 de octubre. Tanto los que llegan directamente como los que arriban de cualquier trayectoria cercana en el Golfo de México tienen una gran importancia hidrológica, porque es cuando se producen los gastos máximos. Las velocidades máximas de los vientos que se reportan por la incidencia de ciclones son de 170 km/h y ráfagas de 240 km/h (INEGI, 1983a). Los vientos que más influencia tienen sobre el territorio de Tamaulipas son los Vientos Alisios (regulares) y los monzones (periódicos).

ORIGEN

El área donde se encuentran localizados los jagüeyes es la provincia geológica llamada Cuenca Tampico-Misantla, la cual se ubica en la parte oriental de la República Mexicana, con una superficie de 25 000 km². En su subsuelo yacen rocas cuyas edades comprenden el Paleozoico, el Mesozoico, el Terciario y el Cuaternario (López-Ramos, 1981).

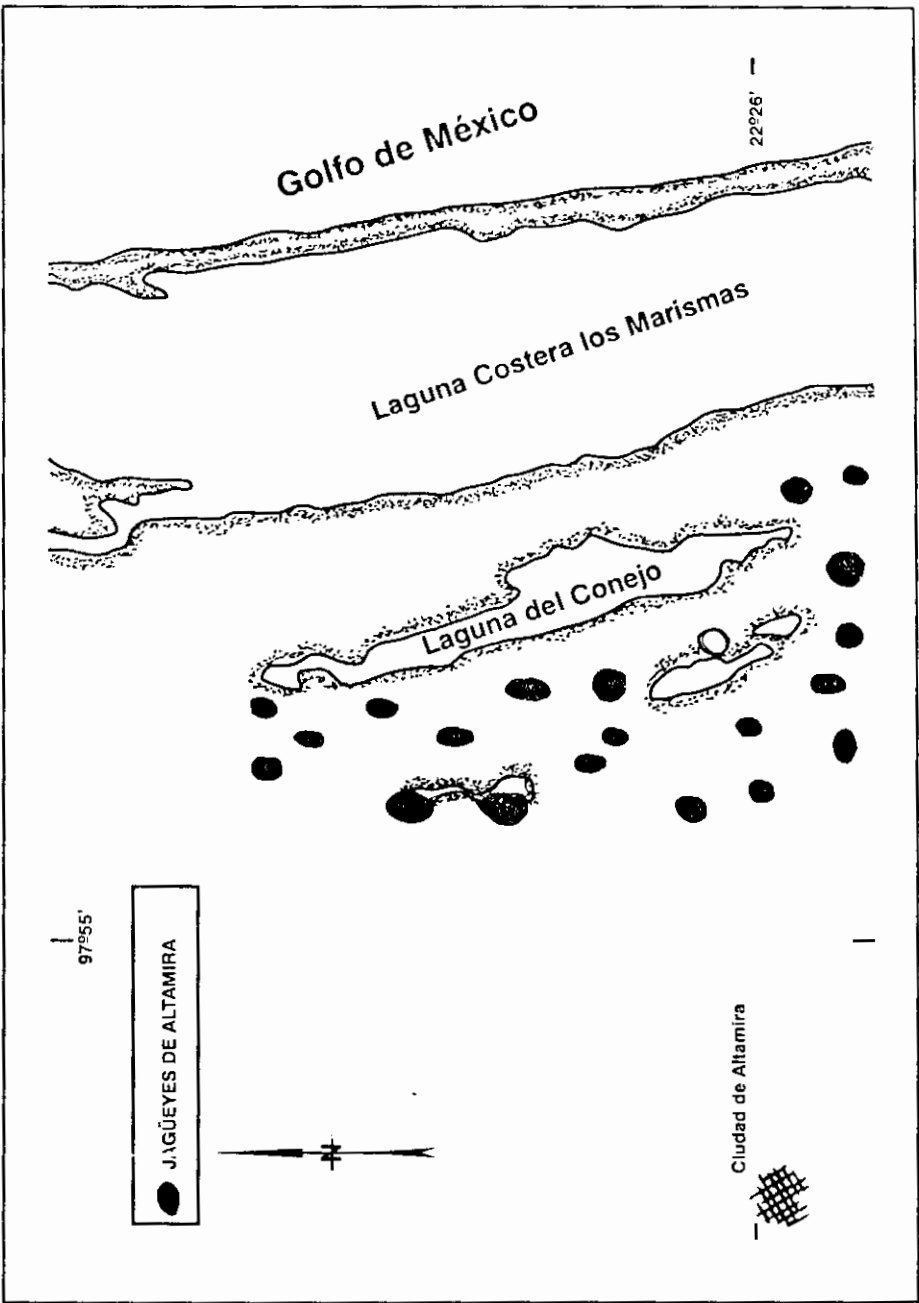


Figura 1. Localización de los Jagüeyes al sur de Tamaulipas.

En esta cuenca se desarrolla una considerable secuencia de sedimentos areno-arcillosos. Se encuentra limitada principalmente por estructuras orogénicas del inicio del Cenozoico, en las siguientes posiciones geográficas: al norte, por la Sierra de Tamaulipas; al oriente, por la Sierra Madre Oriental y la Antefosa de Chicontepec; y al sur, por 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 afloramientos paralelos a la actual línea de costa (INEGI, 1983a).

La mayor parte de los terrenos del estado están constituidos por rocas sedimentarias, cuyas edades cubren un intervalo geocronológico del Paleozoico al Cuaternario; son de origen marino o continental, con predominio de las primeras (INEGI, 1983a).

En el noreste de México, en la zona costera de Tamaulipas, los jagüeyes estratigráficamente tienen su origen en la depositación de sedimentos areno-arcillosos que ocurrieron en el marco general de regresión del mar (López-Ramos, 1981). La composición litológica del lugar muestra que la parte superior del suelo es de una capa delgada (no mayor a 60 centímetros) formada principalmente de arena, lo 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 por la presencia de arcilla (SARH, 1973).

Tanto la topografía como la batimetría muestran la conformación de los jagüeyes como cuerpos circulares de tipo cóncavo que tienen su mayor profundidad al centro, y cuya depositación de sedimentos también es en esa dirección pudiendo ser constante por no tener una corriente de desplazamiento; sin embargo, el nivel piezométrico tiene una influencia directa en la dirección y velocidad del flujo en época de recar-

ga vía precipitación pluvial, lo que conduce a un arrastre de sedimentos, no permitiendo la acumulación de éstos y por ello la posible obstrucción del punto de recarga de agua subterránea de los jagüeyes. Aunque debido a la constante intemperización de la zona, aunada a las fuerzas eólicas y a la sequía extrema a la que se ha visto sometida la entidad, los sedimentos se han ido depositando al centro, con poco movimiento de arrastre, por la falta de recarga del acuífero que impide su movilización (Hoz Zavala, 1999).

La estratigrafía confirma el origen reciente de los jagüeyes, formados por depósitos de sedimentos areno-arcillosos que ocurrieron en el marco general de regresión del mar, pero que debido a la intemperización imperante en la zona, aunada a la influencia de los vientos y precipitación pluvial, así como por los impactos humanos por el desmonte del área, que promueve una mayor erosión, dan una apariencia de madurez con una tasa de renovación lenta que se manifiesta en un estado avanzado de senectud (Margalef, 1977); aunque esto no sea un indicador de que los jagüeyes tiendan a su auto eliminación.

Los estudios geotécnicos han determinado que debido a la composición de arena fina en la capa superficial del sedimento de los jagüeyes, se presenta una alta permeabilidad, que permite el intercambio hidrodinámico entre los jagüeyes y el acuífero, cuando este último se encuentra recargado por la infiltración del agua de lluvia, que ayuda a la remoción y arrastre de componentes contaminantes que han quedado en el sedimento, en donde las partículas más finas serán incorporadas al acuífero y por el flujo serán transportadas, a diferencia de las más densas que serán adsorbidas en la capa arcillosa donde permanecerán más tiempo (Hoz Zavala, 1999). Debido a esta característica, los Jagüeyes presentan dos etapas una de dilución y una de concentración de materiales en disolución; en la etapa de dilución hay mayor penetración de luz y mayor concentración de nutrientes y de oxígeno, lo que promueve mayor

diversidad fitoplanctónica, ocurriendo lo contrario en la etapa de concentración. (Hernández et al., 1995)

SUELOS

Los suelos que cubren la parte más cercana a la costa se han originado principalmente de materiales no consolidados, entre los que predomina la arena, los cuales han sido depositados por el mar y el viento (SARH, 1973).

HIDROLOGÍA

Dentro del ámbito hidrológico, corresponde a la zona denominada "Pánuco" (Región Hidrológica 26), ubicada en la parte sur, en un área de 16 226.07 km² (INEGI, 1983a). La región hidrológica "Bajo Río Pánuco" está considerada como una de las cinco más importantes del país, tanto por el volumen de sus escurrimientos como por la superficie que ocupa. Pertenece a la vertiente del Golfo de México. Sus corrientes más importantes son los ríos Pánuco, Guayalejo, Moctezuma y Tampaón. La región hidrológica RH26 presenta dos cuencas, una de las cuales (la 26 B), denominada "Río Tamesí", corresponde a la zona donde se localizan los jagüeyes (INEGI, 1983a).

En Altamira, los principales recursos hidrológicos son el Río Barberena, que nace en la Sierra de Tamaulipas, en el Municipio de Aldama, y se ubica en la parte norte del municipio; y el Río Tamesí, que marca los límites con el Estado de Veracruz (INEGI, 1983a).

Dentro de la región no hay almacenamientos que sobrepasen la capacidad de 5 000 000 m³; de tal manera que sólo se consideran los cuerpos naturales que están alrededor de la zona: Laguna del Conejo, Laguna de Champayán, Laguna del Camalote, Estero del Salado, Laguna de la Tortuga, Laguna del Chairel, Laguna de la Puerta, Laguna Altamira.

Los más pequeños, conocidos como jagüeyes (aproximadamente unos 20), en la mayoría de los casos no tienen nombre (INEGI, 1983a).

AGUAS SUBTERRÁNEAS

La recarga de los acuíferos del noreste de México, específicamente en Tamaulipas se debe a la infiltración directa del agua pluvial sobre las unidades litológicas que presentan condiciones de permeabilidad favorable, ya que al ser una zona areno-arcillosa, que si bien no es totalmente permeable, permite un flujo constante de agua, a diferencia de una zona arcillosa en donde el movimiento del líquido se vuelve muy lento (SARH, 1973). En general las zonas de recarga más importantes se localizan en las estribaciones de la Sierra Madre Oriental y en el sistema de sierras localizadas dentro del Estado. En estas áreas, las precipitaciones son más abundantes y los materiales más permeables por efectos de los plegamientos de las sierras. Estos plegamientos han generado fragmentaciones abundantes y estratos verticales que favorecen la infiltración del agua pluvial (INEGI, 1983a, b).

La descarga se realiza en baja escala por medios artificiales, pozos y norias. Sin embargo, es mayor por el medio natural, manifestado por los manantiales y corrientes subterráneas que descargan al mar, sobre todo a través de los ríos que funcionan como drenes superficiales. El flujo subterráneo en el área, por lo general, conserva la dirección de las corrientes superficiales, la cual es de oeste a este, con bajo flujo de energía (INEGI, 1983a).

A pesar de ser un área relativamente joven geológicamente hablando, aunque se conduce de una manera senil en la superficie (penillanura), su comportamiento en el subsuelo es activo. Es decir, como una cuenca geohidrológicamente joven, aportando la cuenca agua hacia el exterior. (Longwell y Flint, 1979).

FLORA Y FAUNA

La vegetación original de la cuenca donde se ubican estos cuerpos de agua se ha visto tan diezmada, que actualmente sólo se encuentra vegetación de tipo huizachal (*Acacia farnesiana*), y pasto esparto, comúnmente llamado zacahuiste (*Spartina spartina*) (considerada vegetación secundaria asentada en terrenos abandonados por la agricultura); sólo encontrándolo en áreas salinas utilizándolo el ganado en la zona como alimento (SARH, 1973; Martínez -Ojeda y González- Medrano, 1977).

La fauna de vertebrados existente que ha resistido a la presencia humana incluye: rana (*Syrhophus dennis*), serpiente cascabel (*Crotalus sp.*), serpiente coral o coralillo (*Micrurus sp.*), nauyaca (*Bathrops asper*), tortuga verde (*Kinosternon herrerai*), pato texano (*Anas fulvigula*), gallareta (*Fulica americana*), gato montes (*Lynx rufus*), zorrillo (*Mephitis macroura*), tlacuache (*Didelphis virginiana*), mapache (*Procyon lotor*), conejo castellano (*Sylvilagus floridanus*), ardilla (*Sciurus aureogaster*), y gran diversidad de quirópeteros, ratas y ratones (Flores-Villela y Gerez-García, 1988).

CALIDAD DEL AGUA

Entre las características fisicoquímicas presentes en los jagüeyes se tienen los siguientes datos: la temperatura del agua presenta una media anual de 26.3 °C, con un máximo de 32 °C durante el mes de julio y un mínimo de 20 °C en enero.

La media anual de conductividad es de 149 ($\mu\text{S}/\text{cm}$), con un máximo de 194 ($\mu\text{S}/\text{cm}$) en octubre y un mínimo de 106 ($\mu\text{S}/\text{cm}$) en enero. Relacionando estos valores directamente con los sólidos disueltos, confirma que la mayor recarga de los jagüeyes proviene de la preci-

pitación pluvial y no del manto freático por la baja concentración de sales registradas en la columna de agua.

El oxígeno disuelto señala una media anual de 2.9 mg/L (58% de saturación), con un máximo de 5.3 mg/L (106% de saturación) y un mínimo de 0.79 mg/L (15.8% de saturación) en marzo y de 1.3 mg/L (26% de saturación) en octubre. Esto indica una variación espacial y temporal de la actividad fotosintética y respiratoria como factor de la variación, pero la determinante es la debida a los bajos niveles de agua y a la evaporación presente por las altas temperaturas registradas, aunado al poco movimiento del cuerpo de agua.

El pH presenta una media anual de 6.8, con un máximo de 7.1 a 7.2 en mayo, y un mínimo de 6.3 a 6.5 en enero, con una tendencia, hacia la neutralidad. De la Lanza (1994), establece que aunque el pH es una variable referida principalmente como importante para las evaluaciones de la calidad de agua para consumo humano y para aguas de descarga y de tratamiento urbanas e industriales, también lo es desde un punto de vista ecológico, ya que las variaciones de pH pueden influir, entre otras cosas en el proceso de descomposición de la materia orgánica y liberación de amonio y en la precipitación del fierro y magnesio.

Margalef (1977) reporta que la forma ferrosa se llega encontrar en cantidades apreciables solamente en aguas ácidas y poco oxigenadas, en niveles que fluctúan de 2 a 400 $\mu\text{g-at Fe/L}$ y en aguas neutras o alcalinas menores de 10 $\mu\text{g-at Fe/L}$. En el caso de los jagüeyes los contenidos de oxígeno disuelto fueron bajos y los del fierro variaron desde 60 $\mu\text{g-at Fe/L}$ hasta 450 $\mu\text{g-at Fe/L}$.

La dureza total muestra una media anual de 69.5 mg/L, con un máximo de 100 mg/L en octubre y un mínimo de 34 mg/L en enero. Basado en el contenido de carbonato de calcio (CaCO_3) la EPA

(1986), estableció una clasificación para la dureza en agua (dura o blanda). Dicha clasificación marcó lo siguiente: una concentración de 0 a 75 mg/L de CaCO_3 el agua se considera blanda; de 75 a 150 moderadamente dura; de 150 a 300 como dura y >300 muy dura. Tomando esa clasificación de referencia las concentraciones, indican un tipo de agua en los jagüeyes moderadamente dura. Tomando en consideración los aspectos geológicos de la zona, la composición de carbonato de calcio dentro de los suelos de la entidad, explica la presencia moderada de esta sal, la que en el caso de los jagüeyes se encuentra en el subsuelo en la capa arcillosa y no en el sedimento de arena fina, y por el flujo del manto freático puede tener incidencia sobre los jagüeyes. Van der Leeden et al, (1990), por ejemplo, reportan que se han encontrado hasta 10 mg/L de carbonatos en la composición química de mantos freáticos; también refieren que el sulfato, el cual está presente en la naturaleza, tiene la capacidad de combinarse con el calcio formando una sal y ocasionando con ello un incremento en la dureza del agua.

La media anual registrada para sulfatos es de 20.43, con un máximo de 51.47 mg/L en octubre y un mínimo de 2 mg/L. El sulfato es un parámetro a considerar dentro de la calidad del agua de un ambiente natural, pero en ambientes reductores se transforma en ácido sulfhídrico el cual en altas concentraciones llega a ser letal para la biota existente en el lugar (Margalef, 1977).

La media anual para el color es de 86.7 en la escala Pt-Co con un máximo de 100 de septiembre a diciembre y un mínimo de 70 en mayo. El color en el agua resulta principalmente de los procesos de degradación del ambiente natural, ya que los colores son compuestos orgánicos complejos originados *in situ* (EPA, 1986), por lo que los niveles registrados en los jagüeyes, indican una relación con la materia orgánica y con los sólidos suspendidos, por la gran cantidad de material

detrítico orgánico en suspensión que da lugar a los compuestos húmicos, imprimiéndoles un color amarillo al agua (De la Lanza-Espino, 1994).

El término de sólidos sedimentables describe partículas de materia orgánica e inorgánica en el agua, que al depositarse en el fondo, dañan a las poblaciones de invertebrados, y si este material fuese orgánico removería el oxígeno disuelto de las capas superiores de agua (EPA, 1986), por lo que su presencia es relevante como indicador de calidad de agua. Los niveles de sólidos sedimentables, de acuerdo a los criterios ecológicos (Diario Oficial, 1989), están aún por debajo de < 1.0 mg/L lo que indica que sólo hay componentes inorgánicos y orgánicos finos, como arcillas y limos, no teniendo un efecto adverso en la columna de agua para la comunidad biótica presente.

Los sólidos suspendidos totales, tienen una media anual de 13.6 mg/L, con un máximo de 30 mg/L en septiembre y un mínimo de 2 mg/L en diciembre. La presencia de altas concentraciones de sólidos suspendidos en el agua actúan sobre los peces pues reducen su tasa de crecimiento; evitan el desarrollo de huevos de peces; modifican sus movimientos naturales y de migración y reducen la abundancia de alimento disponible por tener un efecto sobre la actividad fotosintética del lugar (EPA 1986). En los jagüeyes no son tan altos que pudieran tener un efecto negativo sobre la biota del lugar, pero se debe determinar la residencia de componentes orgánicos e inorgánicos suspendidos en la columna de agua por un tiempo mayor.

Los sólidos disueltos presentan una media anual de 74.6 mg/L, con un máximo de 97.4 mg/L en octubre y un mínimo de 53.3 mg/L en enero. Estos cationes y aniones inorgánicos no son elevados si se toma de referencia a Alcocer y Kato (1995) que reportan 309.4 g/L para las lagunas de Cuatro Ciénegas, y lo que hace presuponer la influencia de la precipitación pluvial en la recarga de los jagüeyes, ya que las bajas

concentraciones de sales detectadas, están más relacionadas a cuerpos de agua que se encuentran influenciados por agua de lluvia, más que por la recarga de manto freático.

Las grasas y aceites, se encuentran presentes con una media anual de 22.8 mg/L, teniendo un máximo de 45.4 mg/L en septiembre y un mínimo de 0.5 mg/L en enero. En aguas dulces Guzmán (1995), registra contenidos de grasas y aceites que van de 4.1 a 115.6 mg/L para el Lago de Chapala. De la Lanza-Espino (1986) reporta niveles de grasas y aceites que van de 0.0 a 19.8 mg/L en la Laguna de Mezcaltitán. La medición de grasas y aceites es de gran interés e importancia para la determinación de la calidad del agua, y las posibles fuentes que las originan. Margalef (1977), menciona que en forma natural uno de los orígenes es del seston, que está formado por una parte viva (plancton) y una fracción desprovista de vida (tripton). En los jagüeyes el tripton está representado sólo por los fragmentos pequeños de arcilla, partículas finísimas de sílice y de hidróxidos de hierro. Otra fuente de origen natural para la presencia de grasas y aceites son los hidrocarburos fósiles que se encuentran como depósitos de aceite que representan acumulaciones (De la Lanza-Espino, 1986); además los compuestos húmicos derivados de la descomposición de materia orgánica principalmente de materia vegetal que por sus altos contenidos de celulosa y lignina conducen a un mayor tiempo de degradación y formación de estos compuestos. En el caso de los jagüeyes la mayor concentración de grasas y aceites se encuentran en el sedimento a diferencia de los registrados en la columna de agua. Estas fuentes naturales de formación de grasas y aceites, aunadas a la provocada por el impacto humano a través de sus desechos domésticos e industriales explicarían las altas concentraciones registradas en sedimento cuya media anual es de 1 868 mg/kg con un máximo de 7 240 mg/kg en julio y de 2 080 en octubre, y un mínimo de 20 mg/kg en enero y de 40 mg/kg en marzo.

Los fosfatos han tenido una media anual de 100 $\mu\text{g/L}$, con un máximo de 160 $\mu\text{g/L}$ en marzo y un mínimo $<100 \mu\text{g/L}$ en los restantes meses. Bernal (1995) reporta que en la mayoría de los lagos, el fósforo se identifica como el nutriente que en caso de estar ausente limitará la fotosíntesis del cuerpo de agua y por tanto su producción, y que su reducida disponibilidad mantendrá una limitada productividad microalgal y fitoplanctónica, con lo que se dará mayor penetración de luz al ecosistema; así mismo, refiere que un lago que presente 5 $\mu\text{g/L}$, deberá ser caracterizado como un cuerpo oligomesotrófico lo que de acuerdo a los resultados obtenidos en jagüeyes, cuyo nivel máximo es de 430 $\mu\text{g/L}$, indica una eutrofización. En el sedimento las concentraciones de fósforo han sido altas (1 105 $\mu\text{g/kg}$; con un máximo de 5 346 $\mu\text{g/kg}$ en enero y un mínimo $<33 \mu\text{g/kg}$ en julio). Margalef (1983) menciona que la concentración de Ca en aguas naturales aunado al ciclo biogeoquímico de los lagos tiende a mantener las concentraciones de fósforo en agua a un nivel bajo, inferior a 1 $\mu\text{g at/L}$ (en el caso del jagüey el máximo es 13.9 $\mu\text{g at/L}$), y que probablemente todas las concentraciones por encima de este valor se deban a una alimentación forzada o a una eutrofización, que no han tenido tiempo de ser amortiguadas por procesos naturales biogeoquímicos.

El nitrógeno total es de una media anual de 1.4 mg/L , con un máximo de 2.1 mg/L y un mínimo de 0.8 en diciembre. Orbe y Acevedo (1995), mencionan que las concentraciones altas de nitrógeno, aunadas al aumento de fósforo y sólidos disueltos confirman la eutrofia de un lago. Margalef (1983) señala que una parte importante del nitrógeno va en las excreciones y mudas de organismos, otra fuente importante de nitrógeno son los detritos vegetales animales y de actividades humanas que al descomponerse incrementan el estock de amonio. En el caso de los jagüeyes las concentraciones de nitrógeno total en el sedimento (alcanza una media anual de 512 mg/kg y un máximo de 879.2 mg/kg en

mayo y un mínimo de 300 mg/kg en diciembre). Los niveles registrados pueden considerarse nocivos o tóxicos para la biota del lugar y como causa probable de la tendencia a la hipertrofia.

La demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5) registra una media anual de 5.5 mg/L, con un máximo de 4.8 mg/L en marzo y un mínimo de 2.1 mg/L en enero. Estos niveles, pueden indicar por una parte bajos contenidos de materia orgánica biodegradable, o un alto consumo por organismos heterótrofos y alta tasa de remineralización de la materia orgánica (De la Lanza-Espino, 1986). Comparando los valores de DBO con los obtenidos de la DQO , sensiblemente más elevados, se infiere que es mayor la materia orgánica no biodegradable que la biodegradable en los jagüeyes.

La demanda química de oxígeno (DQO), presenta una media anual de 67.8 mg/L, con un máximo de 103.2 mg/L en marzo y un mínimo de 30 mg/L en diciembre. Torres-Orozco y Pérez (1995), mencionan que la descomposición de la materia orgánica es la principal responsable del aumento en la demanda química de oxígeno, y favorece también la acumulación de cantidades tóxicas de ácido sulfhídrico. En el caso de los jagüeyes la materia orgánica no biodegradable ha sido mucho más alta que la registrada por la DBO , lo que puede estar relacionado a los componentes refractarios de origen lignulítico y celulolítico (De la Lanza-Espino, 1986).

Los fenoles en la columna de agua no se han detectado, sin embargo en el sedimento, la media anual alcanza 0.97 mg/kg con un máximo de 1.98 mg/kg en abril y un mínimo de 0.6 mg/kg en octubre y marzo, que indica la presencia de compuestos fenólicos refractarios procedentes de la descomposición y condensación de subproductos de lignina y celulosa, los cuales flocculan en el sedimento.

La media anual cuantificada de sustancias activas al azul de metileno (detergentes) es de 0.1 mg/L. En abril pueden alcanzar una concentra-

ción de 0.35 mg/L. Torres-Orozco y Pérez (1995), mencionan que los detergentes pueden tener una relación directamente proporcional con los fosfatos, dada la presencia de la molécula de polifosfatos.

El contenido de fierro es de una media anual de 0.22 mg/L, con un máximo de 0.45 mg/L en octubre y un mínimo <0.01 mg/L en septiembre y de 0.33 mg/L en abril. De acuerdo a lo reportado en la geología del lugar, el color rojizo presente en el suelo, se debe a las altas concentraciones de fierro (López-Ramos, 1981), que provienen del arrastre de partículas por efecto eólico, aunado a las concentraciones de fierro presentes en el manto freático. El cromo hexavalente, cadmio y plomo, metales que no han sido detectados ni en la columna de agua ni en sedimento.

CALIDAD DEL AGUA

En cuanto a los parámetros microbiológicos los niveles de coliformes totales presentan una media anual de 814 UFC/100 ml con un máximo de 4 000 UFC/100 ml en marzo, y un mínimo de 20 UFC/100 ml en octubre. Las coliformes fecales señalan una media anual de 622 UFC/100 ml, con un máximo de 3 700 UFC/ml en marzo y un mínimo de 0 a 10 durante los meses de octubre-diciembre. La sola presencia de enterobacterias, determina una contaminación para los jagüeyes, con una afectación potencial, debido a la falta de la recarga, de precipitación pluvial, aunada al poco movimiento, y a la alta evaporación. La superficialidad del manto freático, lleva a que en épocas de lluvias, cuando se recarga el acuífero y tiene un flujo incidente en los jagüeyes, difunda a los coliformes en dirección al flujo del manto freático.

USOS DE LOS JAGÜEYES

El uso al que se han destinado desafortunadamente a los jagüeyes en el

noreste de México, ha sido principalmente como fosas de oxidación de aguas residuales, receptores de descargas de fosas sépticas, receptores de descargas de aguas con alta temperatura proveniente de calderas de industria, abrevaderos para ganado y en muy baja medida como cuerpos de agua de sustento para la población. Sin embargo, pueden ser empleados como embalses de agua dulce, sobre todo aquellos jagüeyes que tienen mayor recarga, resultado de los escurrimientos provenientes de la Sierra Madre Oriental, por lo que resultan de gran importancia económica como microembalses muy productivos, de tipo eutrófico, adecuados para el cultivo de especies de tipo local que sirvan para el consumo regional. Los jagüeyes salinos, también pueden ser embalses destinados al cultivo de especies tolerantes a mayor salinidad, tal es el caso de *Artemia salina*, especie muy comercializada en el noreste de México.

Los jagüeyes tienen un gran valor ecológico debido a que albergan una gran cantidad de aves acuáticas migratorias. Además, un ambiente adecuado para la recreación donde se pueden realizar actividades de deportes acuáticos como pesca, natación, remo y canotaje, y desde el punto de vista estético porque permite disfrutar en zonas áridas, de pequeños oasis que aún quedan en el noreste de México.

Cultural y educativamente los jagüeyes representan ecosistemas excelentes para mostrar la importancia del recurso agua, así como la diversidad y productividad que se encuentra en un ecosistema. Por sus pequeñas dimensiones se vuelve fácil el manejo del mismo, por lo que resulta un laboratorio natural para experimentación y enseñanza de la biología y ecología entre muchas otras grandes disciplinas científicas.

Desde el punto de vista científico este tipo de embalses pequeños, son ideales para el conocimiento de la evolución de cuerpos de agua epicontinentales, ya que reflejan los procesos que ocurren en su cuenca, tales como erosión, intemperización, lixiviación, transporte de material

orgánico y el acarreo derivado de escurrimientos ya sea de fertilizantes, compuestos químicos, etc., por ello su estudio permite estimar el estado general en que se encuentra la cuenca.

Prieto (1975) refiere que en Tamaulipas existen muchos y diversos cuerpos de agua perennes, formados por las lluvias. Estos embalses conservan las aguas que se recogen en la época de lluvia, sólo agotándose muchos de ellos cuando las lluvias escasean en extremo, localizándose la gran mayoría desde la demarcación de Altamira, Tamaulipas, prolongándose hasta el extremo norte de la Laguna Madre; la mayoría de estas lagunetas, ciénegas de agua dulce e incluso los jagüeyes, son los oasis de aquellos lugares áridos donde es mejor el sabor del agua que el de las lagunas, por lo que es preferido por los habitantes de esos lugares.

Considerando que Tamaulipas ocupa una superficie de 7 982 900 hectáreas, de las que 547 389 son agrícolas de riego, 1 142 000 agrícolas de temporal, 545 000 forestales, 4 951 611 ganaderas (3 888 311 son de agostadero y 1 063 300 son praderas de temporal) y sólo 796 900 tienen otros usos, tal como el industrial y urbano (SAGAR, 1998), resulta una alternativa de relevancia el empleo de los jagüeyes para uso agropecuario, más aún cuando es el sector agrícola y ganadero el que más emplea el recurso agua en riego ya sea para cultivos de maíz (*Zea mays*), soya (*Glycine max* (L) Merr.), sorgo (*Sorghum bicolor*), entre otros, o en el cultivo de especies forrajeras de interés para el ganado como las gramíneas estrella (*Cynodon plectostachyus*), guinea (*Panicum maximum*), pangola (*Digitaria decumbens*), camalote (*Paspalum notatum*), grama (*Cynodon dactylon*) (SAGAR, 1998). Así mismo, la presencia de suelos arcillosos y el tipo de clima han permitido el establecimiento de selvas y matorrales en áreas de las llanuras Tamaulipecas, lo que ha favorecido el desarrollo de zonas agrícolas, tanto de riego como de temporal y de vastas regiones ganaderas, principalmente al sur del Estado, donde se localizan los jagüeyes.

Una de las zonas más privilegiadas para el desarrollo agrícola y ganadero es el Municipio de Altamira, lugar donde precisamente se localizan los jagüeyes, lo que hace más interesante e importante estos cuerpos de agua para soporte de dicha actividad. El 36.89% del Municipio de Altamira se ocupa en actividades agrícolas y ganaderas, siendo estas las principales actividades de tipo primario. (INE, 1994)

La región sur del Estado de Tamaulipas, donde se encuentran los municipios de Altamira, Ciudad Madero y Tampico, es probablemente la más beneficiada, contando con excelentes pastos de praderas inducidas y con condiciones tecnológicas de explotación aceptables.

La variedad de pastos comprendidos en la región dan lugar a una relativa actividad de cría de ganado. Las actividades se concentran principalmente en la parte norte de Altamira. El 44% de las tierras son aptas para la agricultura, y un 43% es apto para la actividad ganadera. (INEGI, 1993).

Aproximadamente 20% de los terrenos utilizados con fines agrícolas y ganaderos están bajo una influencia salina o salino-sódica, por ser terrenos cercanos a la línea de costa (SARH, 1973). Este factor está aunado al manejo inadecuado de las praderas que se pastorean con una carga animal superior a su capacidad de carga; y aquí es donde se ve también la importancia de los jagüeyes, ya que para implementar un tipo rotatorio de cultivo de pasto se requieren potreros individuales y un corral central donde se localice el bebedero y saladero de los animales, y considerando que la mayoría de los ranchos de la entidad tienen bordos o embalses, en la mayoría de los casos, artificiales, estos pueden ser usados no sólo como abrevaderos, sino para el riego de las praderas que permita el mantenimiento del forraje no sólo en época de lluvia, sino de estiaje.

La tabla 1, muestra los criterios de calidad del agua que deben tener los embalses naturales y artificiales para uso en riego agrícola que al

compararlos con los de los jagüeyes, y con los criterios ecológicos de calidad del agua y los establecidos para embalses naturales de uso público y urbano, se encuentra que a pesar de que estos cuerpos de agua se han visto seriamente afectados por las actividades humanas, continúan siendo de calidad para uso en riego y para abrevaderos, a excepción del único parámetro que está fuera de la normatividad que es el de grasas y aceites, que no está relacionado directamente con problemas de salud, como lo serían las coliformes totales y fecales, que aunque menores que lo establecido por criterio ecológico de calidad, debe considerarse importantes.

CONSIDERACIONES FINALES

A pesar de que la zona sur del estado se considera privilegiada por contar con el aporte del Río Guayalejo (Tamesí), y por considerarse que el recurso agua en esta región es suficiente para abastecimiento municipal,

Tabla 1. Comparación de niveles de calidad del agua entre embalses naturales usados para riego agrícola y los jagüeyes.

Parámetros Ecológico (valores reportados en mg/l).	Embalses Naturales (uso riego)	Jagüeyes	Prom. Embalses Naturales público, urbano)	Criterio (uso de calidad de agua)
	(NOM-001-ECOL/96)		(NOM-001-ECOL/96)	CE-CCA-001/89
Grasas y Aceites	15	22.84	15	1
Sólidos Suspendidos Totales	75	13.6	40	500
DBO ₅	75	5.49	30	6
Nitrógeno total	40	1.41	15	0.1
Fósforo Total	20	0.1	5	0.1
Coliformes Totales UFC/100ml	1000	814	1000	1000
Coliformes Fecales UFC/100 ml	1000	622	1000	1000

industrial, agrícola y ganadero, las diversas fuentes de contaminación día con día han impactado severamente a dicho recurso, lo que aunado a la sequía extrema que se padece en la entidad, junto con las altas tasas de evapotranspiración y a la sobreexplotación, están volviendo al recurso de mala calidad, sobre todo para abastecimiento urbano, lo que ha ocasionado que se tengan que buscar otras fuentes de agua que permitan sean empleadas tanto para riego, como para uso industrial y ganadero, siendo los jagüeyes una opción para un desarrollo sustentable sobre todo del sector agropecuario, siempre y cuando se mantengan las condiciones de calidad y se impida su destrucción por ser usados como fosas de oxidación y por que en la actualidad se están rellenando para creación de accesos de vías de comunicación a la zona portuaria de Altamira.

FUTURO DE LOS JAGÜEYES

Todo ecosistema debe tender a la estabilidad a través del tiempo, no obstante los impactos a los que se pueda ver sometido afectándose la biodiversidad de especies y la permanencia de dicho sistema.

En el caso de los jagüeyes el futuro no es muy promisorio, debido principalmente al desconocimiento de la importancia que estos tienen como parte fundamental de los procesos de la biósfera.

En conclusión los jagüeyes son cuerpos de agua epicontinentales de formación geológica reciente, que sin embargo tienden a un comportamiento senil derivado de diversos factores geológicos, climáticos, y antropogénicos que están incidiendo en su acelerada deriva evolutiva. A pesar de que los embalses representan, por su misma naturaleza, sistemas de duración limitada, el impacto ocasionado por las condicionantes naturales e inducidas ha promovido su destrucción prematura.

Los jagüeyes del noreste de México, desde el punto de vista limnológico, se señalan como cuerpos de agua con características eutróficas

con tendencia a la hipertrofia, derivado de la falta de movimiento y circulación limitada.

La recarga principal de los jagüeyes está condicionada principalmente por la precipitación pluvial, la cual también influye en la recarga del manto freático y debido a la severa sequía a la que se ha visto sometida la región Tamaulipeca, ha promovido una mayor evaporación del agua de estos jagüeyes incidiendo en la mayor acumulación de nutrientes en el sedimento.

El severo intemperismo al que se encuentra sometido el noreste de México y las condiciones climáticas adversas, han incidido negativamente sobre los jagüeyes, que se ve agravado por los impactos humanos que se están ejerciendo en ellos, por las actividades antropogénicas que se realizan en la zona circundante a estos cuerpos de agua, por el asentamiento de basureros, que infiltran al suelo en dirección al flujo del manto freático, materia orgánica proveniente de fosas sépticas aledañas a los jagüeyes y al uso como abrevadero para ganado en época de estiaje.

Finalmente la importancia de estos jagüeyes, para el soporte de la vida humana y como sustento de calidad de vida, lleva a valorarlos y a promocionar el estudio de los mismos, para un mejor entendimiento y protección.

REFERENCIAS

- Alcocer, J. y Kato E., 1995. Cuerpos Acuáticos de Cuatro Ciénegas, Coahuila. En: De la Lanza E. G. y García C. J. L., Lagos y Presas de México. Centro de Ecología y Desarrollo, México. 1995. 177-194 p.
- Bernal, B. F., 1995. El Lago de Zirahuén. En: De la Lanza E. G. y García C. J. L., Lagos y Presas de México. Centro de Ecología y Desarrollo, México. 1995. 109-116 pp.
- De la Lanza-Espino, G., 1986. Calidad Ambiental de la Laguna de Mezcaltitán, Nayarit, México. Durante el Estiaje. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología. Universidad Autónoma de México. 13(2): 315-328 (1986).
- De la Lanza-Espino, G., 1994. Lagunas Costeras y el Litoral Mexicano: Química: En: De la Lanza E. G. y Cáceres M. C., Lagunas Costeras y El Litoral Mexicano. Universidad Autónoma de Baja California Sur. 1994.
- 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. .
- Diario Oficial, 1997, Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996, Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales. Diario Oficial de la Federación del 6 de Enero de 1997. Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. Pág. 68-85.
- EPA, 1986, Quality Criteria for Water United States Environmental Protection Agency. Office of Water Regulations and Standards Washington. EPA 440/5-86-001. Mayo, 1986.
- Flores Villela, O. y P. Gerez-García, 1988, Conservación en México. Síntesis sobre Vertebrados Terrestres, Vegetación y Uso de Suelo. Edit. Instituto Nacional de Investigaciones sobre Recursos Bióticos. Conservación Internacional. 302 pp.
- García, E., 1981, Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen. (Para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). Instituto de Geografía. UNAM. 252 pp.
- Guzmán, A. M., 1995., El Lago de Chapala En: De la Lanza E. G. y García C. J. L., Lagos y Presas de México. Centro de Ecología y Desarrollo, México. 1995. 129-146 pp.
- Hernandez, A. J., S. M. Galindo, y P. J. Loera, 1995. Bordos o Microembalses. En: De la Lanza E. G. y García C. J. L., Lagos y Presas de México. Centro de Ecología y Desarrollo, México. 1995. 291-308 p.
- Hoz-Zavala E., 1999. Limnología y Diagnóstico Ambiental de un Jagüey aledaño al Corredor Industrial de Altamira, Tamaulipas. Tesis Doctoral, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México(én tramite).
- INE., 1994, Ordenamiento Ecológico para la región de la desembocadura del Río Pánuco, Tamaulipas-Veracruz. SEDESOL. Instituto Nacional de Ecología. Dirección General de Planeación Ecológica.

- INEGI, 1983a. Síntesis Geográfica del Estado de Tamaulipas. Edit. Secretaría de Programación y Presupuesto, México. 158 p.
- INEGI, 1983b. Cartografía del Estado de Tamaulipas. Edit. Secretaría de Programación y Presupuesto, México. 12 mapas.
- INEGI, 1993. Anuario Estadístico del Estado de Tamaulipas. Edit. INEGI. 337 pp.
- INEGI, 1995. Estadísticas del Medio Ambiente. Edit. INEGI. México.
- INEGI, 1997. Estadísticas del Medio Ambiente. Edit. INEGI. México. 461 p.
- Longwell y Flint 1979, Geología Física. Editorial Limusa, México. 545 pp.
- Lopez-Ramos, R., 1981., Geología de México. 2da. Edición. Instituto de Geología de la U.N.A.M.
- Margalef, R., 1977. Ecología, Ediciones Omega. Barcelona, España. 951 pp.
- Margalef, R., 1983. Limnología. Editorial Omega. Barcelona, España. 1010 p.
- Martinez-Ojeda E. y F. González Medrano, F., 1977. Vegetación del Sudeste de Tamaulipas, México. BIOTICA 2(2):1-45.
- Orbe, M. A. y G. J. Acevedo, 1995, El Lago de Pátzcuaro. En: De la Lanza E. G. y García C. J.L., Lagos y Presas de México. Centro de Ecología y Desarrollo, México. 1995. 89-108 p.
- Prieto, A., 1975. Historia, Geografía y Estadística del Estado de Tamaulipas. Reproducción Facsimilar de la Edición de 1873. Editorial Manuel Porrúa, México. 361 p.
- Reid, G. K. y R. D. Wood, 1976. Ecology Of Inland Waters And Estuaries. D. Van Nostrand Company. New York, U.S.A. 485 pp.
- SAGAR, 1998. Principales Especies Forrajeras en Tamaulipas. 1era. Edición. Asesores Gráficos Biset, 128 pp.
- Saldívar, G., 1988, Historia Compendiada de Tamaulipas, Letras vivas 6. Gobierno del Estado de Tamaulipas, Dirección General de Educación y Cultura, Cd. Victoria, Tam., 2da. Edición. Edit. Jus, S.A. de C.V. 358 pp.
- Salvat Editores, 1976. Enciclopedia Salvat Diccionario. Salvat Editores de México. Tomo 7.
- SARH, 1973. Estudio Agrológico Semidetallado del Proyecto "Tamesi", Tam. Vol. 1. Reporte Técnico de la SARH, Tamaulipas.
- SEDUE, 1989., Guía de Aves Acuáticas Cinegéticas de México. Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología. Subsecretaría de Ecología. Dirección de Conservación Ecológica de los Recursos Naturales.
- Torres-Orozco, R. y R. A. Perez, 1995. El Lago de Catemaco. En: De la Lanza E. G. y García C. J.L., Lagos y Presas de México. Centro de Ecología y Desarrollo, México. 129-146 p.
- Van Der Leeden, F., F. L. Troise, y D. K. Todd, 1990. The Water Encyclopedia. Second Edition. Lewis Publishers. Chelsea, Michigan, USA.