

Deterioro de la calidad de agua subterránea por el desarrollo poblacional: Cancún, Q. Roo.

Eduardo Granel Castro¹ y Luis Gález Hita²

RESUMEN

Cancún, paraíso turístico mexicano ubicado en la Península de Yucatán; es uno de los lugares más visitado en los últimos años por los turistas extranjeros. La ciudad de Cancún no cuenta con un drenaje sanitario y pluvial para deslizar sus aguas servidas, actualmente utiliza fosas sépticas y pozos pluviales; en las zonas con asentamientos irregulares sus desechos sólidos son depositados a cielo abierto.

Para el abastecimiento de agua potable cada vez se requiere más volumen del vital líquido para satisfacer la demanda de la población, ocasionando así que esta se extraiga de lugares más lejanos, para así obtener una buena calidad del vital líquido.

El objetivo de este trabajo de investigación fue determinar el efecto del desarrollo poblacional en la calidad del agua subterránea que subyace a Cancún. Por lo que se analizaron muestras de agua de 16 aprovechamientos en la Sección Cancún – Aeropuerto y 11 manantiales en el sistema lagunar para alcanzar dicho objetivo.

Las aguas subterráneas de la zona de estudio provienen de un flujo local que se presenta en el área. No así las del Sistema Lagunar de Nichupté que provienen del flujo regional de la Península de Yucatán

El subsuelo del área es de tipo cárstico (rocas carbonatadas), las cuales permiten que las aguas de precipitación se infiltren fácilmente al acuífero; ocasionando así el arrastre de sustancias que producen contaminación al manto.

La parte superior del acuífero presenta contaminación por materia orgánica (25 mg/l de nitrógeno de nitratos). Se observa que el deterioro en la calidad del agua guarda una relación directa con el desarrollo poblacional que se ha venido incrementando en los últimos años en la ciudad de Cancún.

En conclusión se tiene que el desarrollo poblacional que ha tenido Cancún en los últimos años ha impactado en la calidad del agua subterránea, debido al aumento de habitantes que cada vez generan más desechos líquidos y sólidos y que de una manera u otra se ve reflejada en la calidad del agua.

Palabras Clave: Cancún, contaminación, desarrollo poblacional, materia orgánica, rocas carbonatadas

INTRODUCCIÓN

El desarrollo poblacional de la ciudad de Cancún en los últimos años, constituye un serio

¹ Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Yucatán. granel@tunku.uady.mx.

² Coordinación de Tecnología Hidrológica, Subcoordinación de Hidrología Subterránea, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.

riesgo para la calidad del agua subterránea; ya que la ciudad no cuenta con drenaje sanitario y pluvial para desalojar sus aguas de desecho. Originando así el uso de fosas sépticas en las casas y de pozos pluviales en las calles. El Sistema Lagunar de Nichupté y el Mar Caribe por su proximidad a la ciudad son receptores de las aguas de desecho ya que gran parte de estas escurren o se infiltran hacia ellos, esto debido a las características cársticas del medio subterráneo que prevalece en el área.

La preocupación por la contaminación de las aguas subterráneas se relaciona principalmente, donde el nivel freático es poco profundo y se tiene el fenómeno de intrusión salina. Es muy importante mencionar la posibilidad de autoeliminación de los contaminantes durante el transporte al subsuelo, como resultado de la degradación bioquímica y/o reacción química.

La actividad humana en la superficie modifica los mecanismos de recarga del acuífero e introduce nuevos, cambiando así la tasa, frecuencia y calidad de la recarga del agua subterránea. El entendimiento de los mecanismos que se presentan y el diagnóstico de tales cambios, resulta importante para la determinación del riesgo de contaminación de las aguas subterráneas. Entre los constituyentes inorgánicos adversos a la salud humana se encuentra el nitrato, como el más ampliamente distribuido y problemático por su movilidad y estabilidad.

En las áreas urbanas se presenta un panorama complejo de actividades humanas potencialmente contaminantes de las aguas subterráneas. La principal preocupación es la carga contaminante vertida al subsuelo, asociada con el saneamiento sin alcantarillado.

Por lo antes mencionado, resulta necesario evaluar la calidad del agua subterránea en el subsuelo, ya que parte de ella es descargada al mar Caribe o al Sistema Lagunar de Nichupté por medio de manantiales o por escurrimiento subsuperficial.

El objetivo de este artículo es definir el efecto del desarrollo poblacional en la calidad del agua subterránea de la ciudad de Cancún. Siendo sus

objetivos particulares: conocer el marco hidrogeológico de la zona, determinar la dirección de flujo del agua subterránea, determinar la interacción de las aguas subterráneas con el Sistema Lagunar y tratar de evaluar la carga contaminante que en algún momento se pudiera estar vertiendo al Sistema Lagunar de Nichupté o al Mar Caribe.

Características del área de estudio

La ciudad de Cancún se localiza en la porción nororiental del Estado de Quintana Roo, en el municipio de Benito Juárez; ubicada dentro de la intersección del paralelo 21° 10' de latitud y 86° 49' de longitud (INEGI, 1984) (Figura 1).

El clima predominante según García (1970) es cálido subhúmedo (AW), presentándose lluvias en el verano (mayo - septiembre), con una precipitación media anual de 1,128 mm, una evaporación potencial de 1600 mm y una evapotranspiración de 805 mm. La temperatura anual es de 25 °C, con vientos dominantes en invierno provienen del noreste y del este (18 km/h), y en verano del sureste y del este (12 km/h).

Marco hidrogeológico

La zona de estudio geológicamente esta constituida de sedimentos carbonatados marinos pertenecientes al Terciario y Cuaternario, encontrándose que las rocas más antiguas son calizas dolomitizadas, silicificadas y recristalizadas, de coloración clara y con delgadas intercalaciones de margas y yeso (EXYCO, 1989). Localmente se presentan en forma de arenas finas, retrabajadas por la acción del oleaje y parte de ellas transportadas tierra adentro, dando lugar a la formación de eolianitas interdigitadas con arcillas calcáreas (sascab) y lodo de manglar, que en su conjunto forman un paquete que se extiende prácticamente a todo lo largo de la costa, con un espesor medio de 10 m. Estas rocas y materiales se encuentran descansando sobre calizas permeables de la formación Carrillo Puerto del Terciario (CNA, 1991).

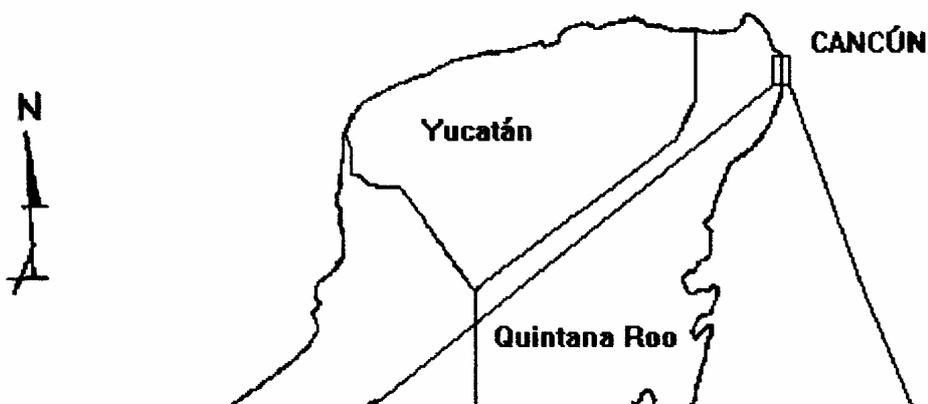


Figura 1.- Localización de la zona de estudio

El subsuelo está formado por roca calcárea compacta con abundantes conductos de disolución y fallas o fracturas, lo cual no permite la formación de corrientes superficiales. En los alrededores del Sistema Lagunar de Nichupté se encuentra material arcilloso impermeable o semipermeable (CNA, 1992).

La unidad acuífera regional del norte y noreste de la península se caracteriza por una muy alta permeabilidad y una transmisividad de $1 \text{ m}^2/\text{s}$, lo que permite un rápido movimiento lateral del agua

subterránea, obviamente con poca carga hidráulica, bajo gradiente hidráulico y nivel freático estable.

El agua subterránea se presenta como un cuerpo o lente delgado de agua dulce, menor de 70 m de espesor tierra adentro y unos cuantos metros cerca de la línea de costa, flotando sobre un cuerpo regional de agua salina de composición cercana a la de mar (Velázquez, 1986). La descarga natural se efectúa a través de manantiales a lo largo de la costa oriental, y en forma difusa en la costa norte y hacia la costa occidental.

A escala regional no se han provocado cambios apreciables en las direcciones principales de flujo ni en la elevación de los niveles del agua, lo cual se debe por una parte, a que el volumen de agua extraído del subsuelo es despreciable en comparación con la recarga y por otra parte, a que los efectos del bombeo se propagan rápidamente (Lesser, 1992).

Lesser (1991) calculó que el flujo subterráneo en el sascab, desde la superficie hasta 4 m de profundidad alcanza solamente 0.0078 lps, razón por la que se considera prácticamente como impermeable.

El flujo en la zona es de oeste a este rumbo al mar o al Sistema Lagunar (Lesser, 1991). La existencia de sedimentos arcillosos en la zona de los manglares y bajo el Sistema Lagunar, le imprimen al agua del acuífero una presión elevada, lo cual lo convierte en acuífero confinado, que es evidenciado por la presencia de manantiales en la laguna (Lesser, 1984).

Moore en 1991, determinó en una zona cercana al área de estudio que la porosidad secundaria variaba entre 20 y 60 %, teniendo una conductividad hidráulica de 65 cm/s. El espesor de agua dulce, calculado para temporada de secas es entre 12 y 14 m, y la velocidad del flujo en la zona de agua dulce es de 0.021 cm/s y en la zona de agua salada de 0.082 cm/s, lo que ocasiona que se presente un gradiente hidráulico de 10 - 15 cm/Km. Se ha calculado que en las fracturas medidas en los cenotes, la velocidad de flujo se incrementa variando de 1 a 12 cm/s en zonas hasta de 10 km tierra adentro hacia la costa (Moore, 1991). Se tiene una transmisibilidad de 0.5 m²/seg, un gradiente hidráulico del orden de 0.0042 y el coeficiente de almacenamiento es de 0.06. (Lesser, 1992)

METODOLOGÍA

Para conocer la calidad del agua se realizó un monitoreo del agua en 16 aprovechamientos (entre cenotes, norias o pozos), así como a 11 descargas de agua subterránea en forma de manantiales en el Sistema Lagunar (Figura 2). A cada una se determinó *in situ*: temperatura, potencial de hidrógeno, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto y la incubación de la muestra para su análisis bacteriológico y en el Laboratorio de la Facultad de Ingeniería de la UADY, se realizó los parámetros físicoquímicos y sanitarios; de acuerdo a las normas establecidas en el Standard Methods (1992).

Los parámetros que se analizaron son: turbiedad, color, las diversas variedades de sólidos, grasas y aceites, y detergentes (SAAM). Así como el contenido de los iones mayores, de fosfatos, fluoruros, alcalinidad; dureza total, la demanda química de oxígeno (DQO) y de las especies nitrogenadas.

A partir de los datos obtenidos de nitrato, se calculo en forma general la carga contaminante, basándose en la formula de Foster and Hirata (1988).

$$C = \frac{1000a \cdot A \cdot f}{0.365A \cdot U + 10 \cdot I}$$

donde:

C = Concentración del contaminante en la recarga (mg/l)

a = Contenido del constituyente (Kg/per/ha)

A = Densidad de población (per/ha)

f = Proporción de excretas de nitrógeno en el agua subterránea (0-1.0)

U = Porción no consumible del total de agua suministrada (l/d/per)

I = Relación natural de infiltración de la lluvia (mm/a)

Para obtener la dirección preferencial de flujo, se efectuaron 5 rondas de piezometría a diversos puntos, obteniéndose su cota sobre el nivel medio del mar.

RESULTADOS

En la zona de estudio se tiene una dirección preferencial de flujo de oeste a este, perpendicular a la línea de la costa. A la altura de la población A. V. Bonfil, se observa la distribución de la carga hidráulica casi paralela a la línea de la costa, presentando concavidad debida a las actividades de explotación de agua en esa sección (Figura 3).

El flujo subterráneo proveniente de la porción occidental circula bajo los manglares y la laguna, para descargar al Mar Caribe a lo largo de la

línea de costa. La existencia de una capa casi impermeable a una profundidad entre 7 u 8 m, hace que el acuífero se convierta en confinado a partir de esa profundidad, ocasionando que el agua subterránea tenga mayor presión y así tengamos un ascenso del nivel de agua; el cual se manifiesta en algunos lugares en forma de manantiales, lo cual es evidenciado en el Sistema Lagunar y en el Mar Caribe.

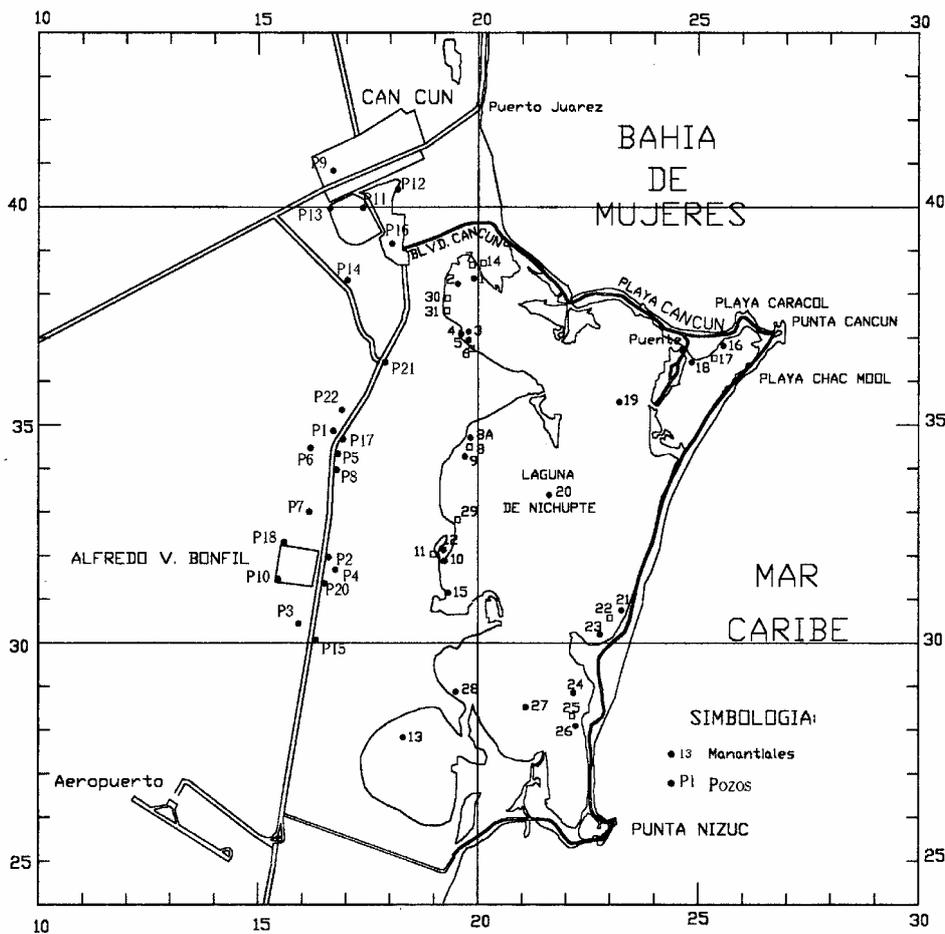


Figura 2.- Ubicación de los pozos y manantiales de la zona de Cancún, Q.Roo

Se realizaron las configuraciones de los valores de cloruros, demanda química de oxígeno, grasas y aceites, sólidos totales disueltos, nitrógeno total para muestras de la laguna y nitratos para las muestras de la sección Cancún – Aeropuerto, los cuales se consideraron los mas adecuados para indicar si se presenta interacción del agua subterránea con el sistema lagunar y si existe contaminación en esos sistemas. Para.

Comparando los mapas de contorno y los datos de estudios anteriores, se observó un aumento en la concentración de los constituyentes del agua subterránea, confirmando una contaminación extensiva del acuífero. Las concentraciones de Cl⁻ (Figura 4) y de STD (Figura 5) han aumentado significativamente debajo de la ciudad. Mediciones de campo (pH, temperatura, oxígeno disuelto,

conductividad eléctrica y coliformes fecales) en los pozos, confirman que la concentración de oxígeno disuelto son significativamente reducidas (Figura 6). Esta respuesta a la carga orgánica e inorgánica

permite marcar la distribución de especies de N, como NH_4^+ y NO_3^- que fueron detectadas en la zona de la ciudad con un alto NO_3^- (Figura 7).

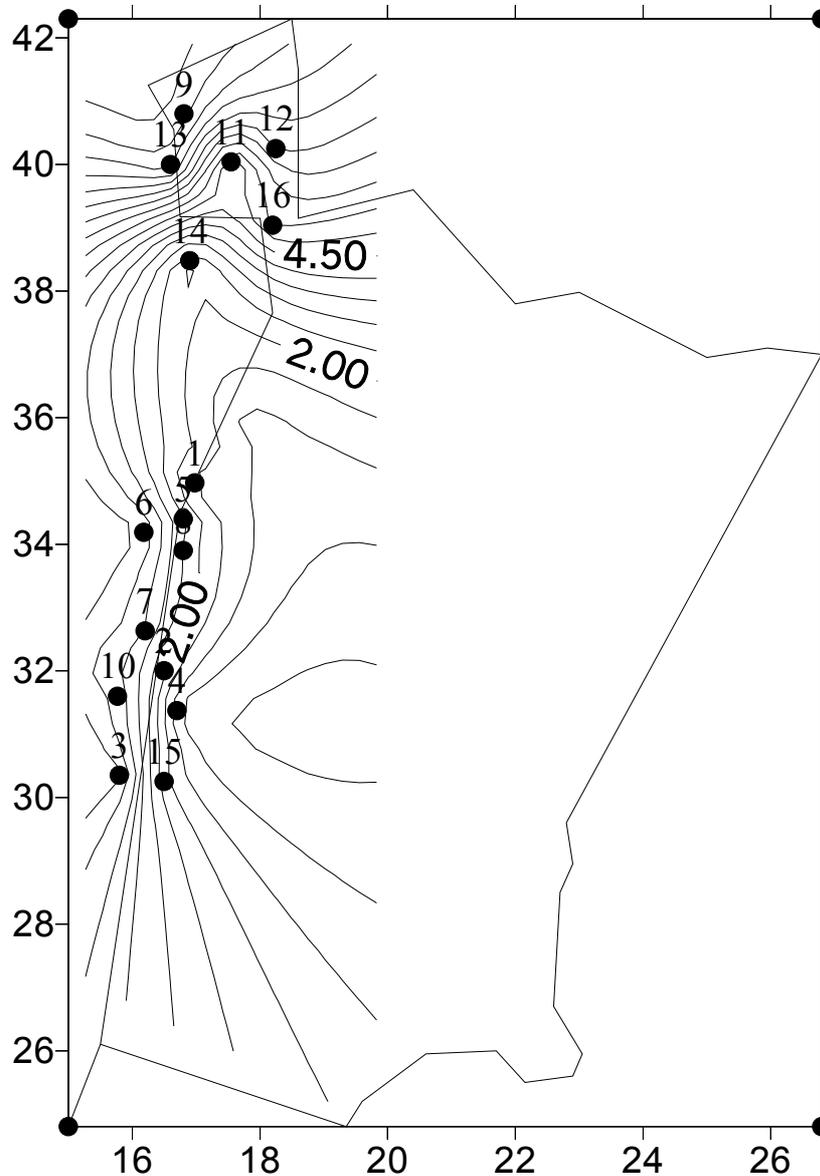


Figura 3.- Configuración de isovalores de profundidad al nivel estático en Cancún, Q. Roo

Para calcular la carga contaminante que se vierte al acuífero, se considera que el agua potable de Cancún tiene alrededor de 5 mg/l de nitrógeno de nitratos, la densidad de población es de 35 per/ha, la proporción de nitrógeno oxidado en el lixiviado es del 100 %, la dotación de agua es de 460 l/d/per y la recarga del agua de lluvia es de cerca de 100 mm/a; sustituyendo todos los valores en la ecuación de

Foster and Hirata, obtenemos que la carga de nitrógeno de nitratos es de 25 mg/l.

La carga contaminante resulta considerable para el manto acuífero, aunque debido al tipo de subsuelo existente, esta resulta baja; ya que por la cantidad de agua que se infiltra de la precipitación diluye esta carga, resultando así muy difícil de cuantificar a ciencia cierta que cantidad de carga

orgánica se tiene en el subsuelo y que cantidad de esta es la que podría entrar a él. Actualmente muchos de los pozos de inyección de aguas negras no trabajan adecuadamente, originando la introducción de carga contaminante al acuífero.

En el área se desarrollan diversas actividades que son posibles fuentes de contaminación. Para evaluar la carga contaminante se considera al nitrógeno de nitratos como contaminante, el cuál permite hacer una estimación semi-cuantificada de la recarga al agua subterránea (Figura 8).

CONCLUSIONES

En conclusión se observa un deterioro considerable de la calidad del agua del Sistema Lagunar y los gradientes de salinidad se ven gobernados por los aportes de agua dulce, debido a que no se cuenta con un drenaje pluvial, siendo que parte de esta agua se infiltra en forma natural al subsuelo y el agua excedente de la precipitación va a descargar al Sistema Lagunar; sin embargo, podemos mencionar que el índice de calidad de agua para uso recreativo es aceptable de acuerdo a Walski y Parker, 1974.

En el acuífero se presenta un proceso de dilución de la carga orgánica vertida, debido al gran volumen de agua precipitada que se infiltra y diluye esta carga.

Las descargas de las fosas sépticas de Cancún son una fuente de contaminación de las aguas subterráneas, debido al alto contenido de carga orgánica que se vierte al subsuelo.

Como conclusión general se tiene que el desarrollo turístico que ha tenido Cancún en los últimos años, ha impactado negativamente la calidad del agua subterránea, debido al incremento de la población que cada vez genera más desechos líquidos y sólidos que de una manera u otra se ve reflejada en la calidad del agua subterránea de la ciudad.

Agradecimientos

Se agradece al Instituto Mexicano de Tecnología del Agua y a la Universidad Autónoma de Yucatán el apoyo brindado para realizar este trabajo de investigación.

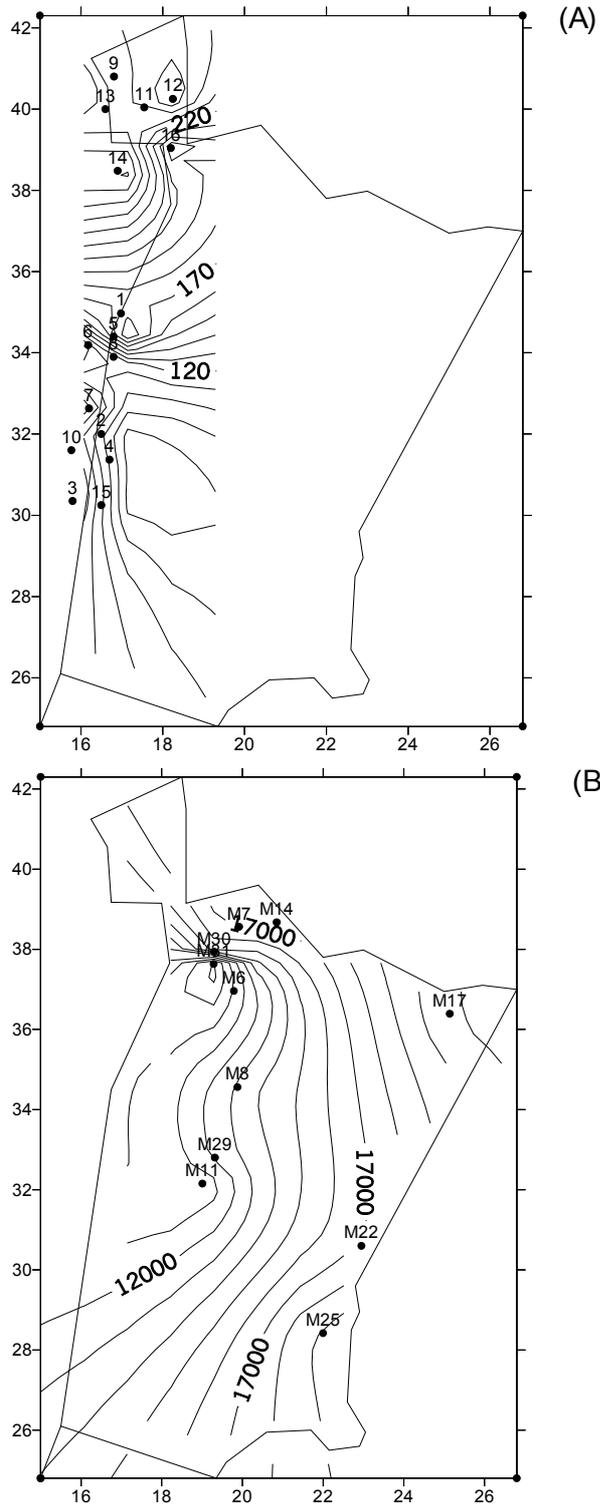


Figura 4.- Configuración de isovalores de Cloruros en mg/l
a) Sección Cancún-Aeropuerto b) Sistema Lagunar de Nichupté

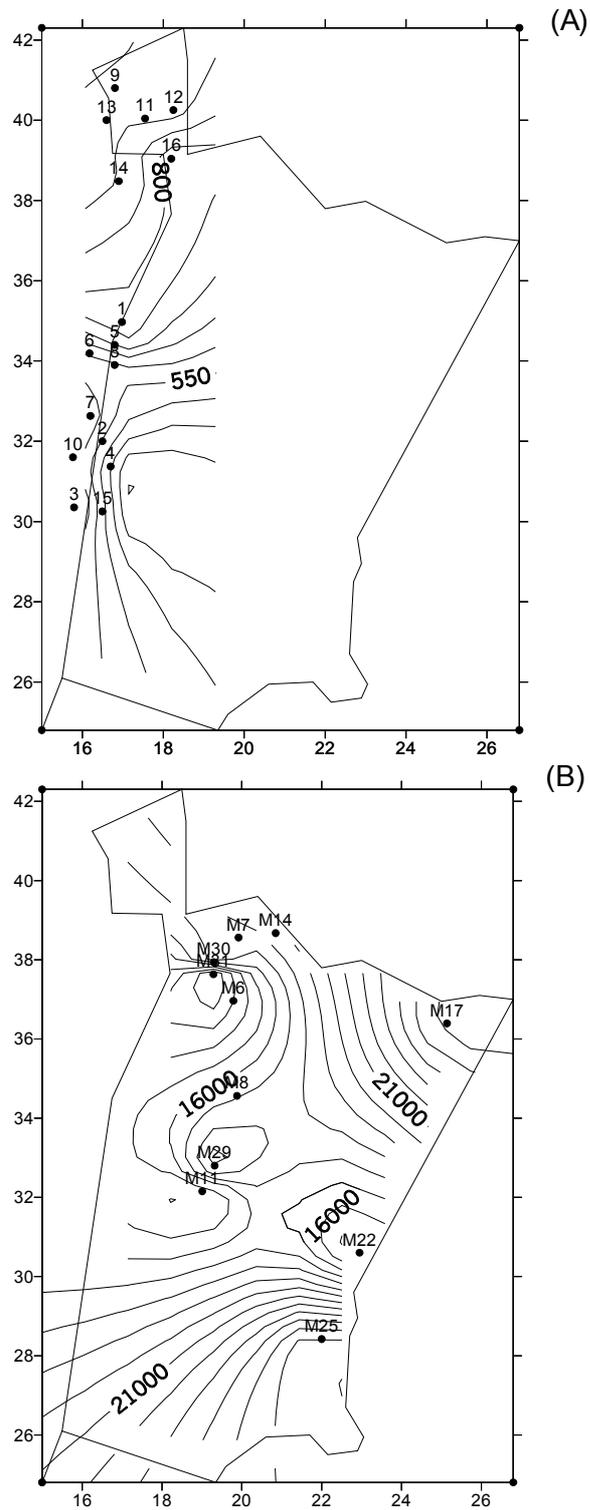


Figura 5.- Configuración de isovalores de STD en mg/l a) Sección Cancún-Aeropuerto
 b) Sistema Lagunar de Nichupté

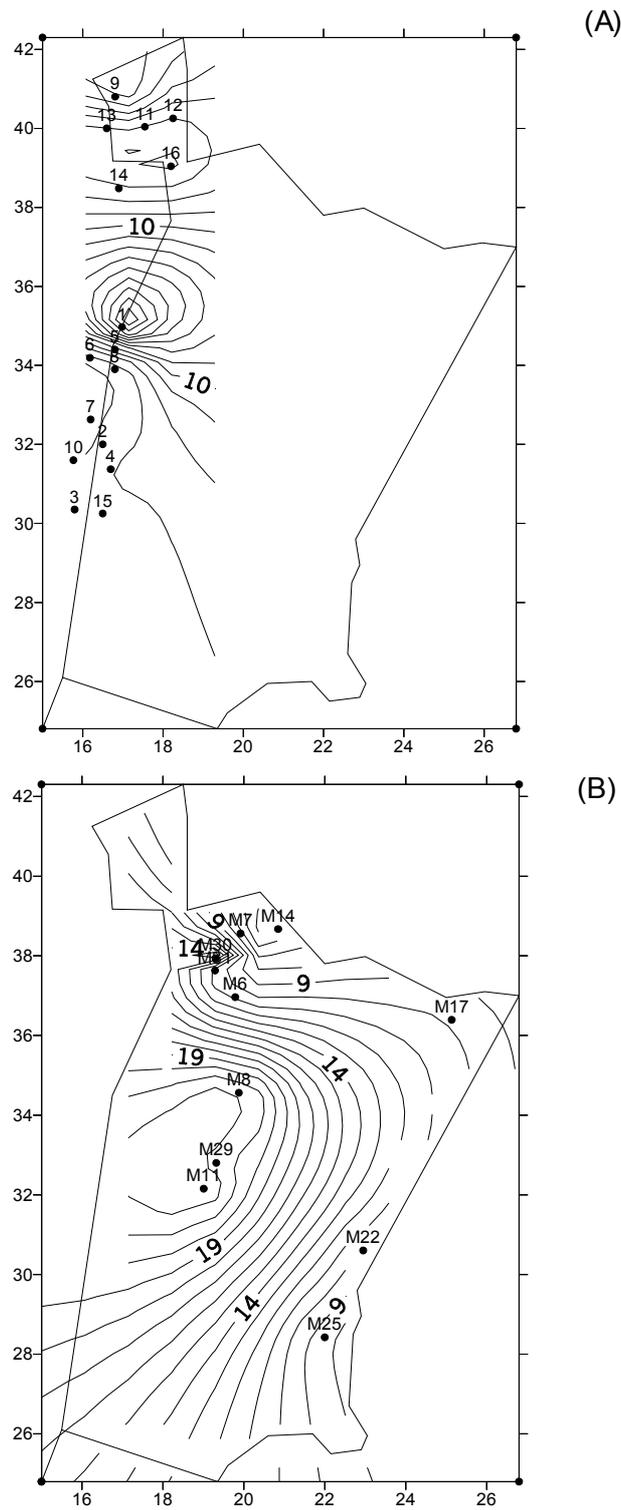


Figura 6.- Configuración de isovalores de DQO en mg/l a) Sección Cancún-Aeropuerto
 b) Sistema Lagunar de Nichupté

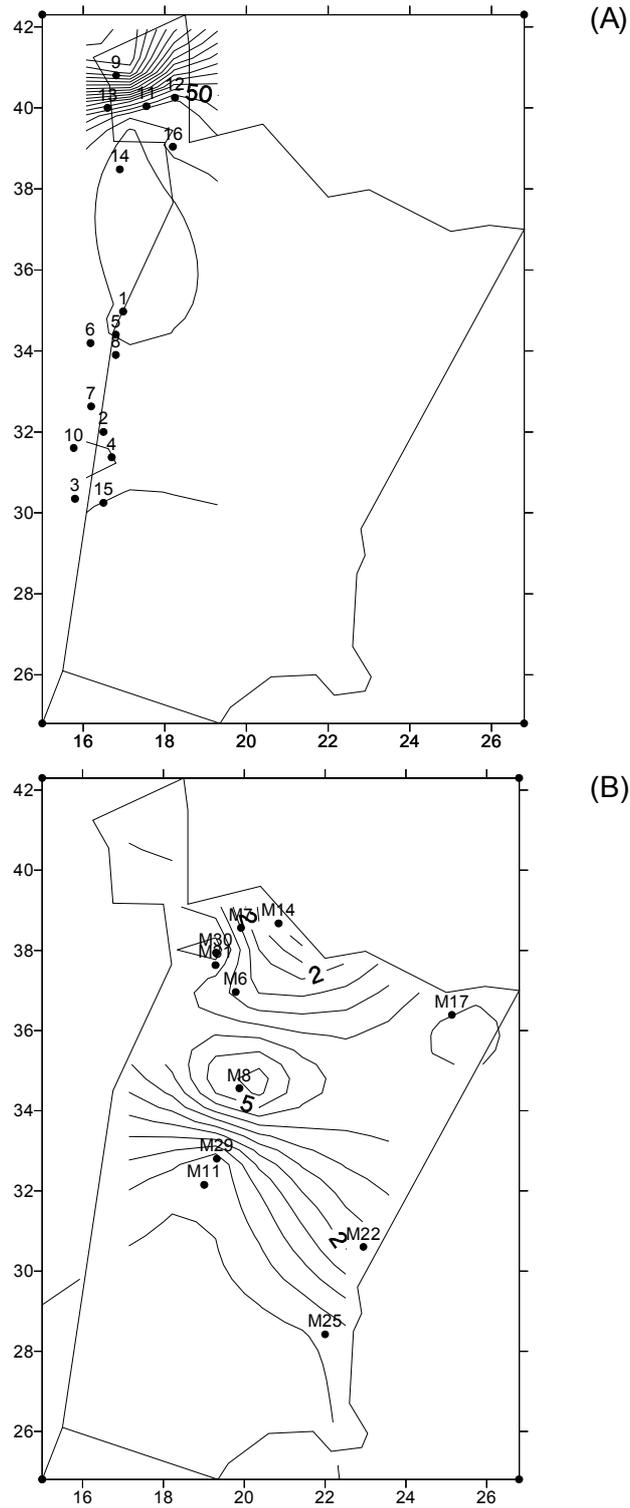


Figura 7.- Configuración de isovalores de NO₃ en mg/l a) Sección Cancún-Aeropuerto
b) Sistema Lagunar de Nichupté

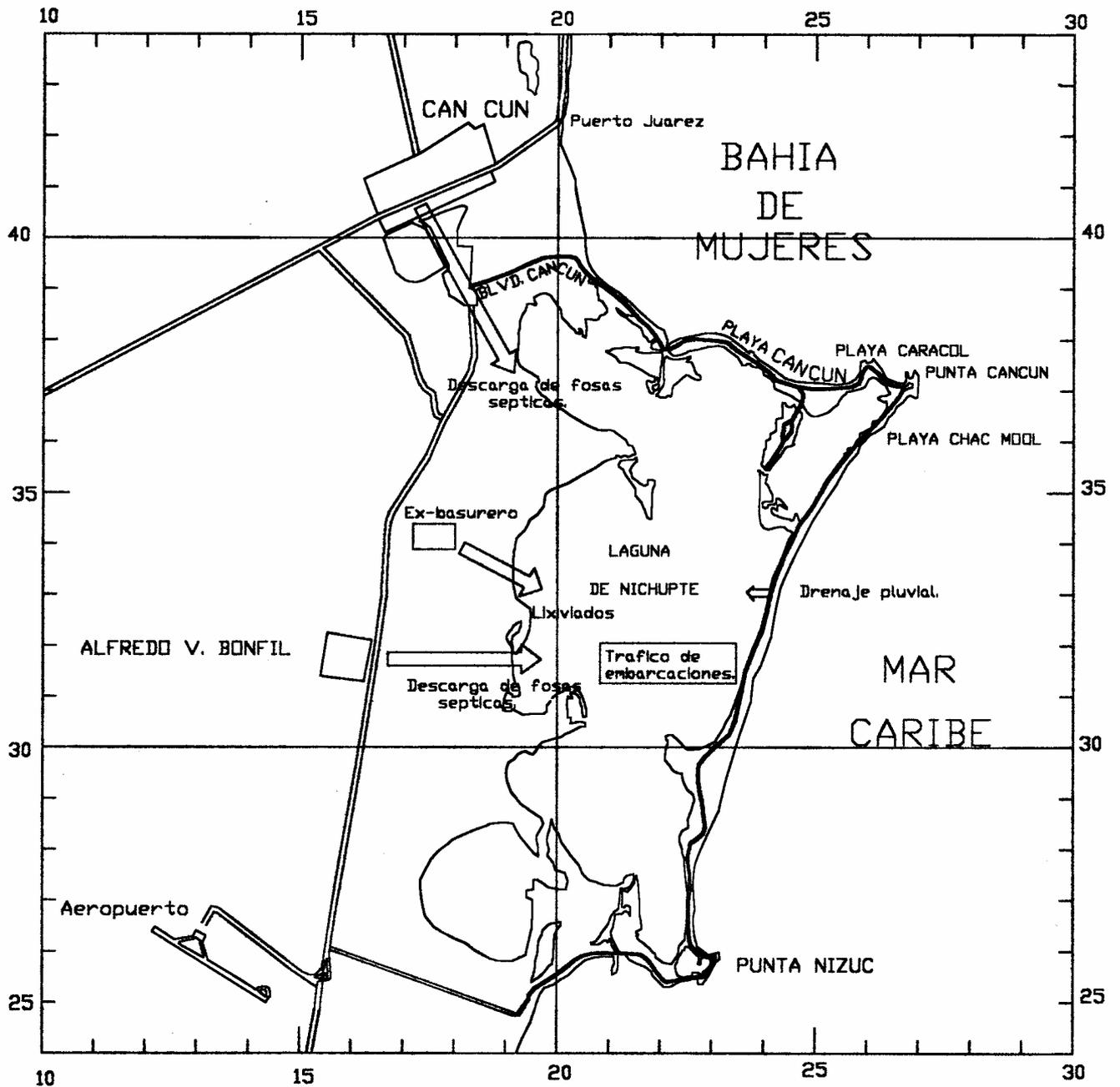


Figura 8.- Fuentes posibles de contaminación al Sistema Lagunar de Nichupté

BIBLIOGRAFÍA

CNA (1991), Saneamiento del acuífero subyacente a la ciudad de Cancún y del sistema Lagunar de Nichupté, Cancún Q. Roo; Comisión Nacional del Agua, Gerencia Estatal Quintana Roo.

CNA (1992), Estudio de calidad del Agua del Sistema Lagunar Nichupté, Quintana Roo, Gerencia Regional Sureste, Gerencia Estatal en Quintana Roo; 1992

- CNA (1996), Evolución de la calidad del agua del sistema lagunar Nichupté, Quintana Roo (1992 - 1995); Comisión Nacional del Agua, Gerencia Estatal Quintana Roo, Subgerencia Técnica.
- EXYCO, S.A. (1989); Estudio de exploración geohidrológica en la región costera nororiental del Estado de Quintana Roo (zona Cancún-Tulum-Coba). y Estudios Hidrogeoquímicos y piezométricos en la región costera del Estado de Quintana Roo.
- Foster S. S. D. and Hirata, R, (1988); Groundwater pollution risk assessment. Pan American Centre for Sanitary Engineering and Environmental Sciences (CEPIS), Lima, Perú.
- INEGI (1984); Planos Cartográficos, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, Aguascalientes, México.
- Lesser y Asoc. S.A. (1984); Proyecto para la disposición de aguas tratadas excedentes en Cancún Quintana Roo.
- Lesser y Asoc. S.A. (1991), Estudio Geohidrológico de detalle en el área del proyecto Puerto Cancún, en Cancún Q. Roo.
- Lesser y Asoc. S.A. (1992), Estudio para determinar los aportes de agua subterránea al proyecto del Río en Malecón Cancún, Cancún, Q. Roo.
- Lesser Asoc. S.A. (1991), Prueba de trazadores de agua subterránea en el proyecto Puerto Cancún, Cancún Q. Roo.
- Moorre, Y. H. (1991), Ground-water flow along the northeastern coast of the Yucatan Peninsula, Mexico (M.S. thesis), University of New Orleans, New Orleans, LA, 54 pp.
- Velázquez A. L.; (1986); Aplicación de principios geoquímicos en la hidrología kárstica de la Península de Yucatán.
- Walski, T.M. y F.L. Parker, (1974), "Consumers Water Quality Index", Journal Environmental Engineering Division ASCE, Vol. 100 N° EE3 pp. 593 - 612.