

**SALINIZACION DE ACUIFEROS COSTEROS DE VENEZUELA
POR INTRUSION DE AGUA DE MAR**

J. Alvarado R.*

* M.A.R.N.R., DGSIIICAASV, Dirección de Hidrología y Meteorología
Esquina Camejo, Ed. Camejo, Piso 5, Silencio, Caracas, Venezuela

RESUMEN

Los acuíferos costeros de Venezuela, por efecto de la explotación indiscriminada de las aguas subterráneas ó por fenómenos naturales, están sometidos a un deterioro paulatino, particularmente en lo que respecta a sus reservas y a la calidad de sus aguas, haciéndolas inapropiadas para consumo humano y para riego. El presente trabajo tiene por objetivo analizar los factores que determinan las manifestaciones de explotación intensiva, la salinización y la situación actual de los acuíferos costeros de Coro, Barlovento, Planicie de Maracaibo e Isla de Margarita. De acuerdo a la situación actual que presentan estos acuíferos costeros, los signos precursores más resaltantes del deterioro y salinización de ellos, constituyen el descenso de los niveles estáticos, el cambio de las direcciones de flujo subterráneo y la penetración del agua de mar en las capas freáticas. Como medidas urgentes inmediatas para prevenir y/o controlar la intrusión salina, se recomienda: la reducción de los volúmenes de extracción; la redistribución de la situación actual de explotación; la recarga artificial de los acuíferos y mantener un control sistemático y permanente de los niveles estáticos y dinámicos del agua subterránea y de su calidad.

INTRODUCCION

En la Provincia Hidrogeológica Costera de Venezuela (ALVARADO, 1989), se encuentran zonas densamente pobladas ó áreas con una gran actividad agrícola y turística, razones por las cuales el recurso agua en esta provincia es vital, siendo el agua subterránea una de las principales fuentes de suministro.

La explotación racional de las aguas subterráneas en las cuencas costeras de nuestro país exigen un control sistemático y cuidadoso, principalmente debido a que estas cuencas hacia el mar son abiertas sin ninguna protección geológica, por lo que en cualquier caso de sobre-explotación local o regional, se encuentran sometidas al peligro potencial de salinización.

Algunos acuíferos costeros de Venezuela, por efecto de la explotación indiscriminada de las aguas subterráneas ó por fenómenos naturales, están sometidos a un deterioro paulatino, particularmente en lo que respecta a sus reservas y a la calidad de sus aguas, haciéndolas inapropiadas para cualquier tipo de uso.

El presente trabajo tiene por objetivo analizar los factores que

determinan las manifestaciones de explotación intensiva, la salinización y la situación actual de los acuíferos de Coro, Barlovento, Planicie de Maracaibo e Isla de Margarita. En base a este análisis se propondrán algunas medidas de control que podrían permitir una protección adecuada contra el avance de la salinización y al mismo tiempo el aprovechamiento óptimo de los recursos de agua subterránea en los acuíferos mencionados.

ACUIFERO DE CORO

El acuífero de Coro está situado en la llanura costera al Norte del Estado Falcón, con una extensión que abarca unos 150 km² y se asume que tiene un espesor aproximado de 200 m (Fig. 1).

En el área de desarrollo del acuífero de Coro existen unos 250 pozos perforados, de los cuales unos 90 fueron abandonados y alrededor de 100 pueden considerarse activos (MARNR, 1984).

El acuífero está constituido por sedimentos aluvionales recientes, representados por lentes de arenas y gravas con intercalaciones de arcillas. Cerca del piedemonte y hacia el Este la litología es de grano más grueso. Se pueden encontrar acuíferos libres, confinados y semi-confinados, con valores del coeficiente de almacenamiento que varían entre 0,25 y 5.10⁻⁵. Las transmisividades varían entre 280 m²/día y 3.000 m²/día, dependiendo de la zona y del espesor saturado (CONDE VALES, 1987).

Es posible diferenciar dos sub-unidades acuíferas: " Oriental de Coro" en la parte Este y "El Patillal" al Oeste (INOS-TAHAL, 1970). La zona limitrofe de ambas sub-unidades se caracteriza, hidroquímicamente, por concentraciones más elevadas en el total de sólidos disueltos (TSD), cloruros y sulfatos. Desde el punto de vista piezométrico, dicha zona limitrofe constituye un alto de la mesa de agua (BUENO, 1986).

Niveles de Aguas Subterráneas

De acuerdo a las mediciones de niveles correspondientes al año 1969 (INOS-TAHAL, 1970), en las zonas de mayor explotación, se pueden apreciar dos conos de depresión. En la sub-unidad de El Patillal el centro del cono no sobrepasa los 2-3 m por debajo del nivel del mar. En la sub-unidad Oriental de Coro, el centro del cono, ubicado al Oeste de la ciudad y junto al río Coro, no pasa de 1 m.b.n.m.

En el mapa piezométrico correspondiente al año 1984 (Fig. 2), prácticamente en toda el área situada al Norte de la carretera Falcón-Zulia, los niveles de las aguas subterráneas se encuentran por debajo del nivel del mar (hasta de 20 m), con excepción de algunas áreas de la ciudad de Coro. En la sub-unidad El Patillal, cerca de la quebrada Horqueta, el nivel piezométrico del cono de depresión alcanza a 22,6 m.b.n.m. En cambio, en el cono de depresión de la sub-unidad Oriental de Coro, el nivel piezométrico al-

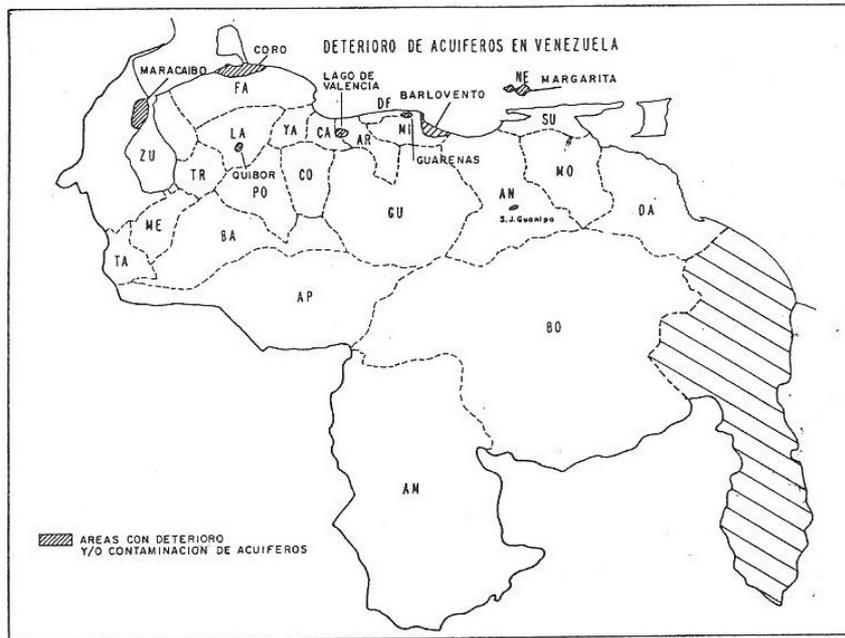


Fig. 1 MAPA DE UBICACION

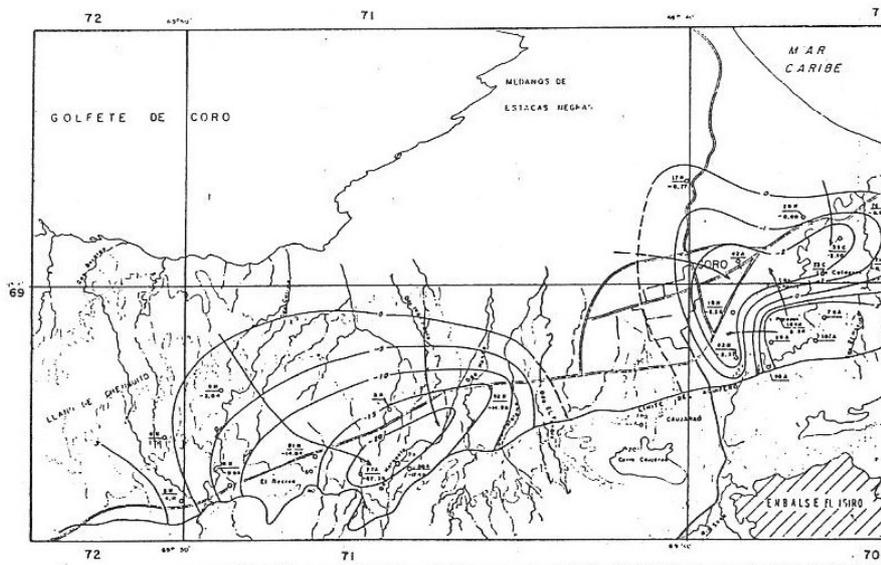


Fig. 2 MAPA DE HIDROISOHIPSAS - AÑO 1984

canza a 2,5 m.b.n.m. Actualmente las profundidades de los niveles de la mesa de agua en el acuífero de Coro varían entre 9 y 86 m.

Por la morfología de la mesa de agua, se puede determinar que el flujo subterráneo, tanto de la parte Norte como de la parte Sur es hacia estos conos de depresión, consecuentemente en la parte Norte existe la posibilidad de intrusión de agua de mar hacia el acuífero. También, es probable que las aguas del río Coro se infiltren en el acuífero al llegar a la planicie, ya que se presenta un área que ocupa la parte oriental de la ciudad de Coro y se extiende en dirección Norte, donde los niveles estáticos se encuentran por encima del nivel del mar, formando un alto de la mesa de agua. Además, en la sub-unidad Oriental de Coro, el descenso de los niveles y el aumento de minerales en el agua son más lentos, los cuales pueden estar relacionados con una zona hidrodinámica de intercambio de agua fresca intensiva o zona de recarga del acuífero.

Calidad del Agua Subterránea

En base a los datos de análisis físico-químicos de las muestras de agua captadas en los años 1968 (INOS-TAHAL, 1970) y 1983 (MARNR, 1984), se efectuó una evaluación de la calidad de las aguas, con la finalidad de determinar el avance de la intrusión salina y otras posibles fuentes de contaminación del acuífero, lo cual es corroborado con el análisis piezométrico.

Generalmente las aguas subterráneas tienen un bajo contenido de cloruros, en cambio las aguas de mar se caracterizan por una elevada concentración de ClNa; por lo tanto, la manera más común de reconocer la posible contaminación de las aguas subterráneas, es analizando el contenido de cloruros. Tomando como base adicional el hecho del bajo contenido de bicarbonatos presentes en el agua de mar y que el ión frecuentemente dominante en las aguas subterráneas, es el bicarbonato, se ha sugerido la relación cloruro-bicarbonato (Cl/HCO_3) como criterio para evaluar la contaminación marina del agua subterránea (TODD, 1959; PEREZ, 1969).

Los datos que a continuación se presentan dan una idea de la aplicación de estos criterios en el análisis de contaminación de acuíferos por intrusión de agua de mar (SIMPSON, 1946).

TABLA 1 CARACTERIZACION DEL AGUA POR LA RELACION Cl/HCO_3

RELACION Cl/HCO_3	CARACTERISTICAS DEL AGUA
0,5	Agua subterránea normal del acuífero
1,8	Agua subterránea ligeramente contaminada
2,8	Agua subterránea moderadamente contaminada
6,6	Agua subterránea bastante contaminada
15,5	Agua subterránea altamente contaminada (cerca de la costa)
200,0	Agua de mar

Para los años 1968-1983, el contenido de cloruros variaban entre cerca de 100 ppm y 1.500 ppm (Fig. 3). En el área de la ciudad de Coro y hacia el Sur y Este de ella, así como al Sur de la carretera Falcón-Zulia en el sector El Patillal, el contenido de cloruros para el año 1968 (BUENO, 1986) se encontraba por debajo de las 250 ppm (límite de potabilidad del agua). Para el año 1983, en la sub-unidad Oriental de Coro los valores inferiores a 250 ppm se mantienen constantes, posiblemente debido a la recarga proveniente de la infiltración de agua del río Coro, cuya presión impide el avance del frente salino. En cambio, en El Patillal se observan valores superiores a 250 ppm hasta distancias de 2 a 3 km hacia el Sur con respecto a la situación en 1968, quedando solo una estrecha franja cerca al frente de montaña, con valores inferiores a 250 ppm.

Las altas concentraciones de cloruros en la parte norte del acuífero de Coro y el aumento de cloruros hacia el Sur en El Patillal, reflejan una fuerte intrusión salina y el avance del frente de esta intrusión hacia el Sur, lo cual está confirmado por el incremento de la relación Cl/HCO_3 y la disminución de la relación SO_4/Cl en la misma dirección.

Para el año 1984 (Fig.4), los valores de la relación Cl/HCO_3 al Este y Sur de la ciudad de Coro y en la zona El Recreo en la sub-unidad El Patillal, son inferiores a uno, esto significa que el agua subterránea en estas áreas es normal, sin contaminación con agua de mar. Esta relación hacia el Norte, aumenta paulatinamente hasta valores superiores de 15, acusando una alta contaminación del agua subterránea por intrusión de agua de mar.

La concentración de sulfatos para el año 1969, con valores inferiores a 250 ppm, se encontraban al Este y Sur de la ciudad de Coro y en la parte central de la sub-unidad El Patillal. Hacia el Norte el contenido de sulfatos aumenta hasta valores superiores de 500 ppm. Para el año 1984 los valores inferiores a 250 ppm, abarcan un área algo mayor que en 1969. En la divisoria de las dos sub-unidades acuíferas, los valores que en 1969 alcanzaban a más de 2.600 ppm, no llegan a 1.000 ppm en 1983.

Como se puede ver del análisis del contenido de cloruros y sulfatos, la evolución de la distribución de sulfatos ocurrió en sentido contrario a la de los cloruros; es decir, se produce una disminución de sulfatos, debido al remplazo de los volúmenes extraídos del acuífero, por recarga de agua de mar, además de la sustitución del ión de sulfato por ión de cloruro.

Los valores superiores a uno de la relación SO_4/Cl , se encuentran hacia el Sur del acuífero de Coro, llegando hasta valores superiores de tres al Sur de la sub-unidad Oriental de Coro (Fig. 5). Hacia el Norte esta relación disminuye hasta valores inferiores de 0,5. Esta relación nuevamente confirma el aumento de la concentración de cloruros hacia el Norte por efecto de la intrusión de agua de mar. Los valores elevados de esta relación hacia el Sur y las altas concentraciones de sulfatos hacia el Norte, indican la presencia de una segunda fuente de contaminación del agua

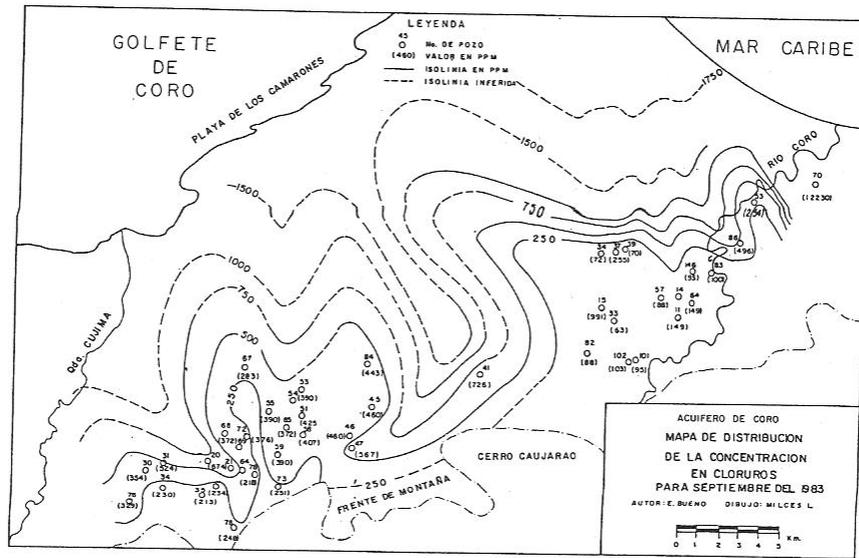


Fig. 3 MAPA DE DISTRIBUCION DE CLORUROS - 1983

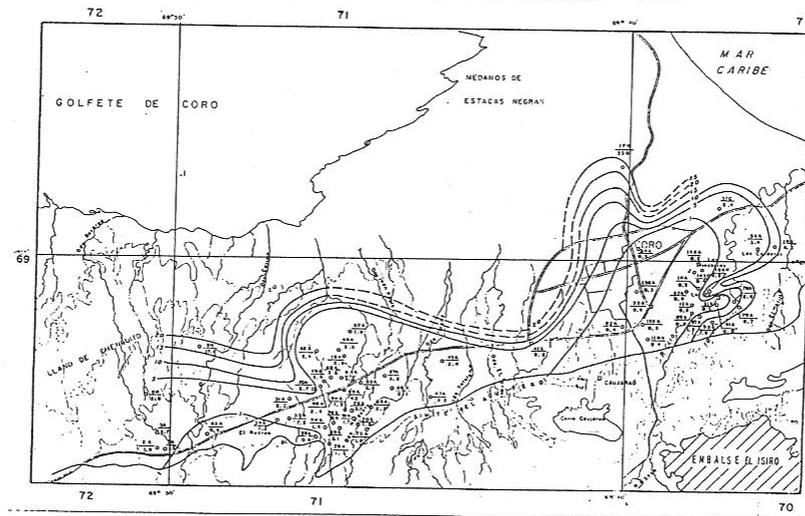


FIG. 4 MAPA DE RELACION CLORURO/BICARBONATO - 1984

que producen los pozos. Se conoce por experiencia (ALVARADO, 1989) que, a medida que aumenta la profundidad del nivel de la mesa de agua y consecuentemente la profundidad de extracción, las aguas que inicialmente eran bicarbonatadas se hacen más sulfatadas. Esta situación es más evidente en zonas áridas y semi-áridas, donde existen depósitos de evaporitas. Este mismo fenómeno se produjo en el acuífero de Coro hasta antes de que la intrusión de agua de mar sea activa, siendo posteriormente sustituido el sulfato por iones de cloruro.

La concentración de TSD, es un parámetro hidroquímico comúnmente utilizado para determinar la salinidad de las aguas y el grado de deterioro de los acuíferos. En el acuífero de Coro, la evolución del TSD entre las décadas de los años 60 y 80, muestra que no hubo aumento considerable en la mineralización de las aguas y no se observa el deterioro esperado, llegandose inclusive a dudar acerca del avance del frente de intrusión salina. Si bien en este periodo se mantiene el contenido de TSD dentro de los mismos rangos, comprendidos entre 500 y cerca de 3.500 ppm, encontrándose los valores más bajos en la sub-unidad Oriental de Coro (Fig. 6), también es evidente el aumento de la concentración de cloruros y la disminución de los sulfatos, lo cual se produce, indudablemente debido a la intrusión de agua de mar hacia el acuífero.

SUB-CUENCA DEL BAJO TUY O REGION DE BARLOVENTO

La región de Barlovento está ubicada en la parte Oriental del Estado Miranda y tiene una superficie de 6.176 km² (Fig. 1). Esta región es uno de los principales centros turísticos, además por la alta calidad de sus suelos tiene grandes perspectivas para el desarrollo agrícola. Estas actividades implican el suministro permanente de agua, dentro del cual el agua subterránea es una alternativa real para el abastecimiento de los núcleos poblados y de recreación, así como de la actividad agro-industrial. En toda la sub-cuenca existen alrededor de 200 pozos productores.

De acuerdo al balance hídrico, en las cercanías de la costa se registra un déficit de agua en el transcurso de casi todo el ciclo hidrológico, por lo tanto estas áreas requieren de riego durante todo el año. En el resto de la región el déficit es de 6 meses (enero a junio).

Los acuíferos de mayor importancia de la sub-cuenca del Bajo Tuy están representados por sedimentos aluvionales recientes y del Cuaternario, perteneciente a la Formación Mamporal. Estos sedimentos están compuestos de gravas y arenas con intercalaciones de capas de arcilla, de permeabilidad generalmente alta a media y buen rendimiento.

Niveles de Aguas Subterráneas

La superficie piezométrica de la región de Barlovento, correspondiente al año 1981 (ALVARADO, et al, 1982), presenta una

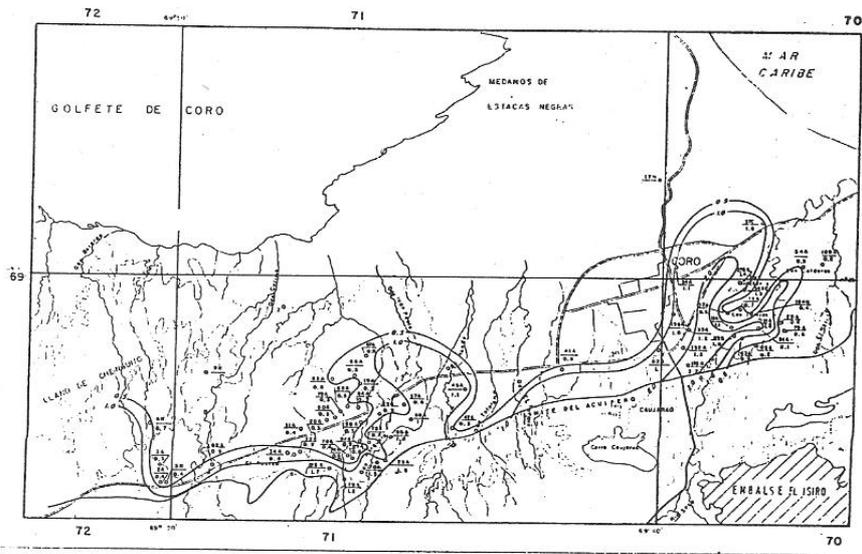


Fig. 5 MAPA DE RELACION SULFATO/CLORURO - 1984

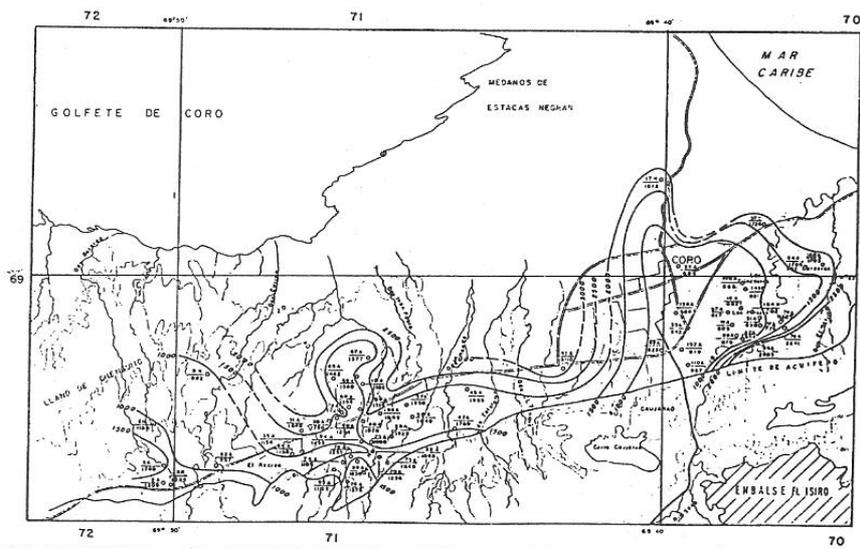


Fig. 6 MAPA DE TOTAL DE SOLIDOS DISUELTOS - 1984

morfología muy sinuosa, con marcado paralelismo a la topografía del terreno. Los niveles piezométricos disminuyen de Oeste a Este, con valores de 90 a 5 m.s.n.m. La profundidad de los niveles estáticos tiene una variación de 0,5 a 30 m, correspondientes a las partes bajas y altas de la sub-cuenca, respectivamente.

En términos generales, regionalmente bajo el sistema de explotación existente para el año 1981, el flujo y la pendiente del perfil de depresión del agua subterránea, están orientados hacia la zona costera. Para este año no se han observado conos de depresión bien definidos, sin embargo en la parte Oriental, debido a la explotación intensiva y la alta densidad de pozos, probablemente se está formando un cono, provocando la intrusión del agua de mar.

La recarga de los acuíferos proviene del flujo lateral desde la zona montañosa que rodea por el Sur y Oeste de la sub-cuenca, así como por infiltración directa del agua de precipitación, particularmente en la zona montañosa las máximas precipitaciones medias anuales alcanzan a 2.400-2.800 mm y los sedimentos en el borde de la planicie son predominantemente permeables.

Calidad del Agua Subterránea

Con los resultados de los análisis físico-químicos de muestras captadas en pozos de agua, se ha realizado una interpretación de la calidad de las aguas subterráneas en la región de Barlovento (ALVARADO, 1985). De acuerdo a las normas establecidas por la Organización Mundial de la Salud (OMS) (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 1963), las aguas de muy buena calidad para consumo humano (inferior a 500 ppm) se encuentran en amplias áreas al borde izquierdo del río Tuy (Fig. 7).

En la parte Occidental de la región de Barlovento, aproximadamente 7 km antes de la costa, el TSD empieza a aumentar en forma brusca hacia el Mar Caribe, desde 1.000 ppm hasta concentraciones superiores de 2.400 ppm; por lo tanto, las aguas subterráneas en esta zona son salinas e impropias para consumo humano. Además, por los resultados obtenidos mediante exploraciones geofísicas (ALVARADO et al, 1982), en esta zona las resistividades de las capas de arena son anormalmente bajas (0,5 a 10 ohms x m) (Fig.8). Esta mineralización elevada de las aguas subterráneas y bajas resistividades de las capas de arena, están relacionadas con la poca profundidad de la interfase agua dulce-agua salada.

En la parte Oriental, entre los centros poblados de Cúpira-Tesoro y Machurucuto, cerca del río Cúpira, además de la elevada concentración del TSD (> 2.400 ppm) (Fig. 9), se observa un aumento en los valores de la relación Mg/Ca, desde los bordes de la sub-cuenca hacia la parte costera, de 0,5 a 12. En esta zona, tales anomalías están relacionadas con la penetración del agua de mar hacia el acuífero, producida por la explotación indiscriminada de las aguas subterráneas.

MAPA DE CALIDAD DE AGUA — AREA BARLOVENTO

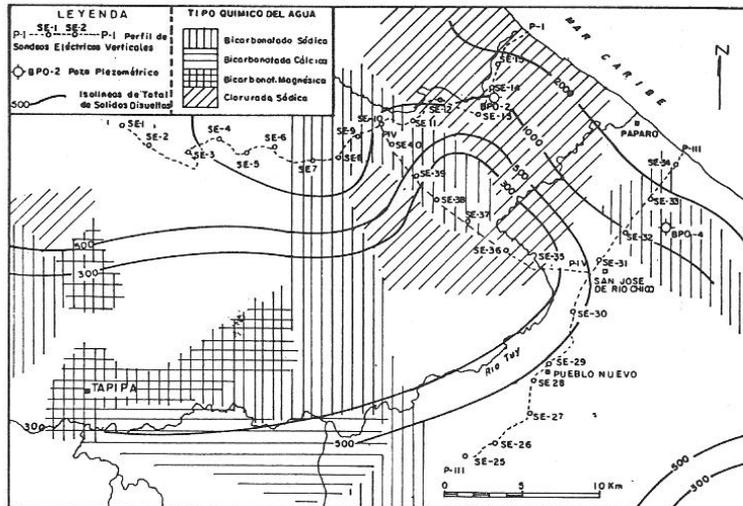
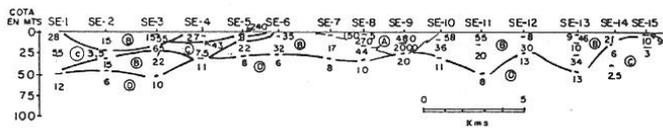
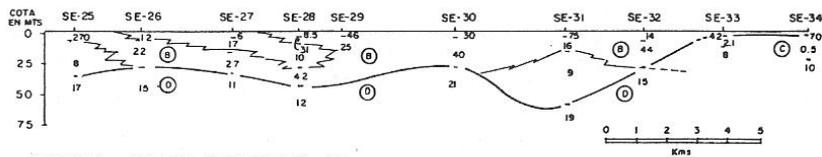


Fig. 7 MAPA DE CALIDAD DE AGUA — BARLOVENTO OCCIDENTAL

PERFIL GEOELECTRICO I



PERFIL GEOELECTRICO III



PERFIL GEOELECTRICO IV

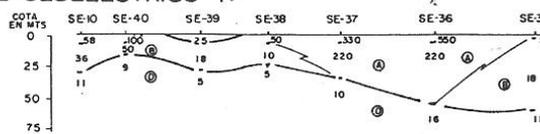


Fig. 8 PERFILES GEOELECTRICOS

RomeR

ISLA DE MARGARITA

La Isla de Margarita está ubicada en el Estado Nueva Esparta, al Nor-Este de Venezuela, con una superficie de 962 km² (Fig.1). Hidrogeológicamente se divide en la Península de Macanao, situada en la parte Oeste y la Región Oriental en la parte Este.

Esta Isla se caracteriza por ser el centro turístico más importante del país, con afluencia activa de visitantes, tanto nacionales como extranjeros, además tiene un amplio desarrollo agrícola, particularmente en la Región Oriental. Los recursos hídricos superficiales para consumo humano y para la actividad agrícola son escasos, razón por la cual una de las fuentes importantes son las aguas subterráneas.

Los acuíferos de mayor interés para el aprovechamiento de las aguas subterráneas, están relacionados con sedimentos aluviales recientes y formaciones del Cuaternario (Pleistoceno), compuestos predominantemente de arcillas arenosas con intercalaciones lenticulares de arenas y gravas.

En la Isla de Margarita, para el año 1984, fueron inventariados 138 pozos, de los cuales 86 eran activos, 39 secos y 13 abandonados (HRGETIC, 1986), la mayor parte de estos pozos están ubicados en la Región Oriental.

Niveles de Aguas Subterráneas

En el acuífero Puerto Fermín, situado en el extremo Nor-Este de la Región Oriental, los niveles estáticos se encuentran de 7,30 a 26 m de profundidad. Probablemente, en algunas áreas de este acuífero los niveles piezométricos se encuentran por debajo del nivel del mar, formando conos de depresión, lo cual está provocando una intrusión de agua de mar. En el acuífero La Asunción, ubicado en el extremo Nor-Este de la Región Oriental, los niveles estáticos varían entre 1,5 m y 25,7 m. En este acuífero no se tiene evidencias sobre la formación de conos de depresión. En el acuífero Pedro Gonzáles, situado en la parte Nor-Oeste de la Región Oriental, los niveles estáticos varían de 10 a 14 m. Es probable que en este acuífero se encuentra en formación un cono de depresión. El acuífero Tacarigua, se encuentra en la parte Centro Occidental de la Región Oriental. En éste acuífero los niveles estáticos varían entre 6 y 40 m de profundidad. Finalmente en el acuífero San Juan Bautista, ubicado en el valle formado por el río San Juan, tiene niveles que se encuentran entre 8,8 y 16,2 m de profundidad.

Calidad del Agua Subterránea

En la mayor parte de la extensión del acuífero Puerto Fermín, las aguas tienen un TSD superior a las 1.000 ppm. Cerca de la costa se registran valores superiores a 2.000 ppm, siendo consecuentemente inapropiadas para consumo humano (Fig. 10).

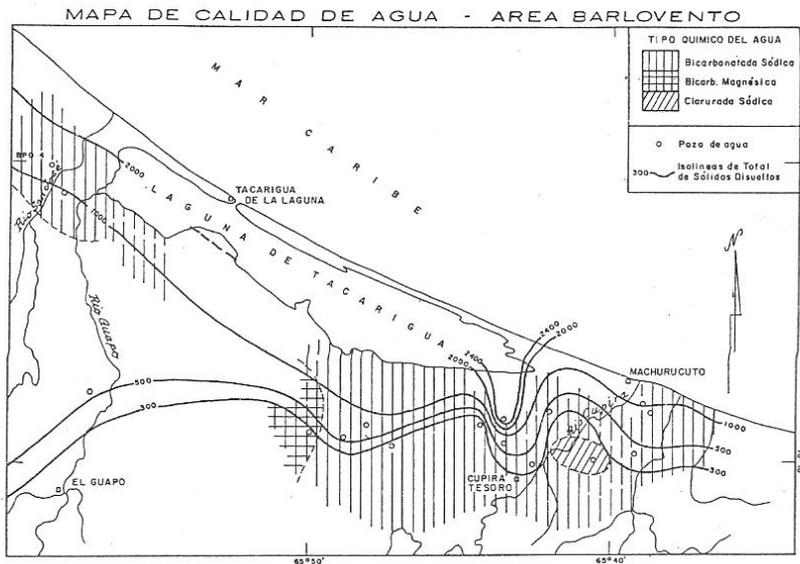


Fig. 9 MAPA DE CALIDAD DE AGUA - BARLOVENTO ORIENTAL

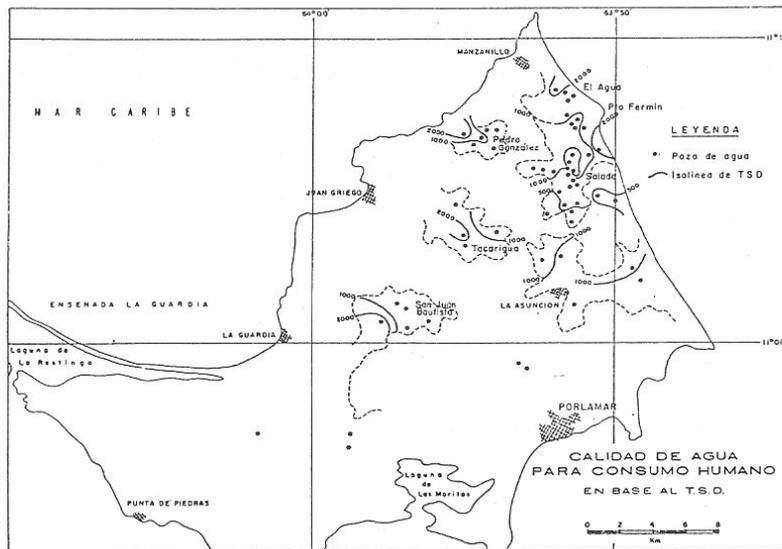


Fig. 10 MAPA DE TOTAL DE SOLIDOS DISUELTOS - I. MARGARITA

En el acuífero La Asunción, las aguas son principalmente salobres con muy pocos pozos que tienen un TSD inferior a 1.000 ppm. En los acuíferos Pedro Gonzáles, Tacarigua y San Juan Bautista, las aguas son fundamentalmente salobres, con concentraciones superiores a 2.000 ppm. Estas altas concentraciones de TSD, pueden estar relacionadas con la formación de conos de depresión y la intrusión de agua de mar o con el ascenso paulatino de la interfase agua dulce-agua salada y la profundización de la perforación de pozos, ambos fenómenos ocasionados por la explotación intensiva de las aguas subterráneas.

ACUIFERO DE LA PLANICIE DE MARACAIBO

Al Sur-Oeste y Oeste de la ciudad de Maracaibo, en el Estado Zulia, se encuentra un extenso acuífero granular, perteneciente en su mayor parte a la Formación El Milagro de edad Terciario (Fig. 1). Abarca una superficie de 2.250 km². En la parte Oriental, el acuífero tiene un espesor de hasta 200 m y almacena un volumen total de agua de 250 x 10⁹ m³, o sea la suma de las reservas geológicas y renovables. El acuífero es parcialmente confinado. Su recarga tiene lugar en la parte Occidental, habiendo alcanzado el volumen de 19 x 10⁶ m³ por año, para el periodo 1968/1969, cifra que incluye la recarga por aguas de precipitación y por infiltración de aguas superficiales. El consumo durante el mismo periodo fué considerablemente mayor, alcanzando a 60 x 10⁶ m³/año aproximadamente, del cual un 80 % sirvió para el abastecimiento de la ciudad de Maracaibo. Por consiguiente tuvo lugar un sobre-bombeo del acuífero, hecho que ha inducido a la formación de varios conos de depresión y a la intrusión de agua salada proveniente del lago. Actualmente, el suministro de agua a la ciudad de Maracaibo es menos dependiente del agua subterránea, sin embargo debido al desarrollo de la actividad agrícola en los últimos años, la perforación de pozos se ha incrementado en forma intensiva en toda la planicie de Maracaibo.

Niveles de Aguas Subterráneas

Hacia el Sur Oeste de la ciudad de Maracaibo, los niveles de agua registrados en la red de pozos de observación, durante el periodo 1968-1970, muestran un descenso permanente. El mayor descenso de los niveles fué registrado en el área del Polígono de Tiro, con un máximo de aproximadamente 22,3 m, por esta razón el nivel piezométrico descendió a 20 m por debajo del nivel del lago, formando un cono de depresión (Fig. 11), donde la dirección del flujo subterráneo fué del lago hacia el acuífero, provocando la intrusión de agua salada. Los niveles estáticos en ésta área se encontraban de 36 a 87 m de profundidad y los niveles dinámicos de 46 a 98 m, o sea con una depresión de 5 a 29 m. Un segundo cono de depresión se observa hacia el Oeste de la Concepción donde, para el periodo 1968-1970, los niveles estáticos descendieron en 5,5 m. En esta zona los niveles piezométricos se encontraban por debajo del nivel del lago en cerca de 10 m. Actualmente, hacia el Norte de la ciudad de Maracaibo, en la planicie costera, el nivel

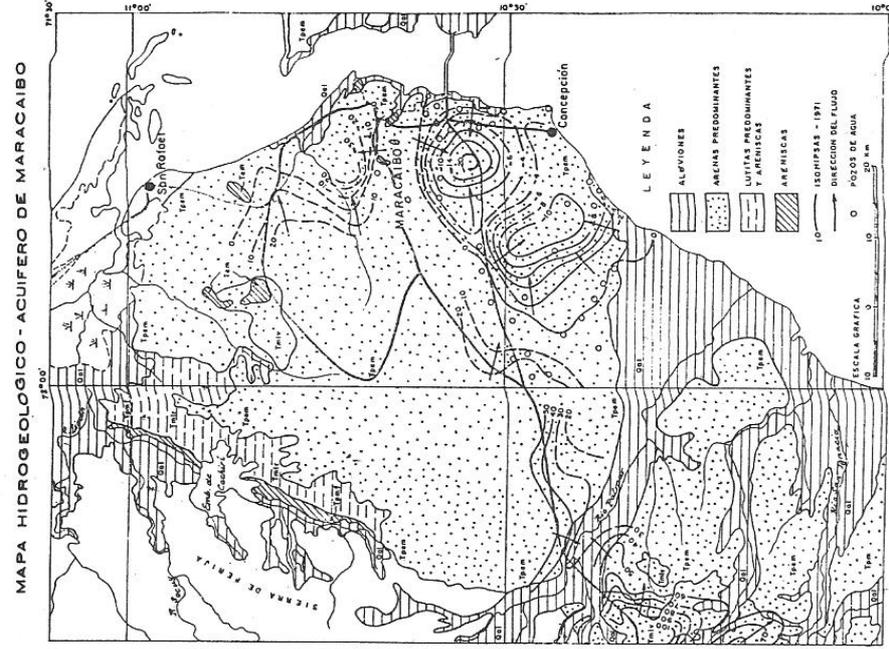


Fig. 12 MAPA HIDROGEOLOGICO

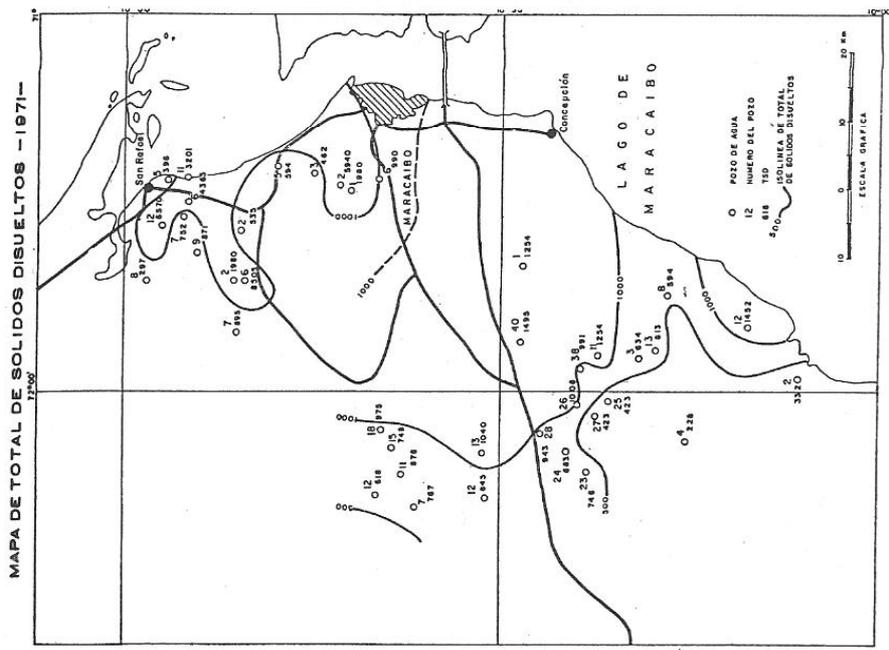


Fig. 11 MAPA DE TOTAL DE SOLIDOS DISUELTOS

piezométrico se encuentra de 30 a 40 m por debajo del nivel del lago, causando la intrusión de agua salada hacia el acuífero.

Calidad del Agua Subterránea

Como se mencionó anteriormente, por efecto de la sobre-explotación del acuífero, el equilibrio hidráulico ha cambiado, produciéndose una inversión de la dirección de flujo subterráneo y alterando los parámetros químicos naturales del agua subterránea, debido a la intrusión del agua salada del lago. En las áreas de ubicación de los dos conos de depresión el TSD es > 1.000 ppm. En la planicie costera al Norte de la ciudad de Maracaibo, en algunas zonas el TSD supera las 8.000 ppm, por consiguiente no son aptas para consumo humano y riego (Fig. 12). La concentración de cloruros en muchas áreas es > 1.000 ppm. Al Sur y Sur-Oeste del acuífero, la calidad del agua es de aceptable a buena (entre 1.000 y 500 ppm).

El tipo químico de las aguas del acuífero de Maracaibo es clorurada sódica, pasando a ser bicarbonatada sódica hacia el Sur y Sur-Oeste, lo cual confirma la intrusión de agua salada del lago hacia el acuífero, o que la interfase agua dulce-agua salada se encuentra a poca profundidad.

CONCLUSIONES

Como resultado de la explotación intensiva de las aguas subterráneas, los acuíferos costeros de Venezuela están sometidos a una salinización permanente por efecto de la intrusión de agua de mar. Entre los factores más resalantes que determinan las manifestaciones de salinización de los acuíferos se pueden mencionar el descenso paulatino de los niveles, llegando en algunos casos hasta 40 m.b.n.m. Por efecto de este descenso se han formado conos de depresión cerca de la costa, lo cual a su vez ha provocado el cambio del flujo subterráneo, desde la costa hacia la parte central de los conos. Este cambio de la dirección de flujo subterráneo permite la intrusión del agua de mar hacia los acuíferos, generando una constante mineralización de las aguas subterráneas. La concentración de TSD supera las 2.000 ppm y el contenido de cloruros, en muchos casos es mayor a 1.500 ppm. La relación Cl/HCO_3 en la mayoría de los acuíferos costeros tiene valores por encima de 6,5, alcanzando en algunos de ellos a superar el valor de 15,5, lo cual significa que el agua subterránea está altamente contaminada con agua de mar, haciéndolas inapropiadas para consumo humano, riego y uso industrial.

RECOMENDACIONES

Para impedir un mayor descenso de los niveles y el avance permanente del frente salino, así como para lograr una explotación racional de los acuíferos costeros de Venezuela, se recomienda tomar algunas medidas urgentes e inmediatas, tales como:

- Prohibir el bombeo y la perforación de nuevos pozos en aquellas zonas, donde la concentración de cloruros son superiores a 500 ppm.
- Reducir los volúmenes de extracción en aquellos pozos que presenten entre 250 y 500 ppm de cloruros.
- Mantener un control permanente y sistemático de los niveles estáticos y dinámicos del agua subterránea, así como de su calidad. Con este propósito se deben unir planimétrica y altimétricamente todos los pozos de las redes de observación, a la red geodésica nacional.
- Estudiar la posibilidad de recarga artificial de los acuíferos, mediante pozos de inyección o lagunas de infiltración.
- Intensificar estudios e investigaciones integrales de los recursos de los acuíferos, que permitan un mejor conocimiento de sus condiciones actuales.

BIBLIOGRAFIA

- ALVARADO R., J.; FUENTES N., F.; JULIO, M. (1982). Diagnóstico Hidrogeológico de la Región de Barlovento. DGSIIA/IT/116, MARNR, Caracas.
- ALVARADO R., J. (1985). Calidad de las Aguas Subterráneas y su Relación con las Aguas de Mar en la Región de Barlovento. VI Cong. Geol. Ven., Mem., T. VII, Caracas.
- ALVARADO R., J. (1989). Estudio del Sistema Hidrogeológico del Valle de Quibor, Edo. Lara. DGSIIA, MARNR, Caracas.
- ALVARADO R., J. (1989). Regiones y Características Hidrogeológicas de Venezuela. VII Cong. Geol. Ven., Mem., T. III, Barquisimeto.
- BUENO R., E. (1986). Acuífero de Coro-Análisis Comparativo hidrogeoquímico e Hidrogeológico entre 1968 y 1983. IT/009765/86 MARAVEN, S.A., Lagunillas.
- CONDE VALES, A. (1987). Mapas y Gráficos del Acuífero de Coro. DGSIIICASV, MARNR, Caracas.
- HRGETIC K., P. (1986). Texto Explicativo del Mapa Hidrogeológico del Estado Nueva Esparta, Esc. 1:100.000. DGSIIA, MARNR, Caracas.
- INOS-TAHAL INGENIEROS CONSULTORES DE VENEZUELA, S.A. (1970). Estudio para el Desarrollo de los Recursos de Aguas Subterráneas en las Regiones de Valencia, Coro y Pedregal. Vol. VI, INOS, Caracas.
- PEREZ F., D. (1969). Recomendaciones para la Explotación de los Acuíferos Costeros de Cuba. Tecnología, Serie 10, N° 1, Univ. de la Habana, Habana.
- SIMPSON, T.R. (1946). Salinas Basins Investigation. Bull. 52, California Div. Water Resources, Sacramento.
- TODD, D.K. (1959). Ground Water Hydrology. John Wiley and Sons, New York.
- WORLD HEALTH ORGANIZATION (1963). International Standards for Drinking Waters. Geneva.