

REGIONALIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LA PROVINCIA PINAR DEL RÍO EN UN SIG

Hydrogeological regionalization of Pinar del Rio Province in a GIS

Julio Cabrera Bermúdez¹
Rafael Guardado Lacaba²
Roberto Peláez García³
Nelson González Cabrera⁴

E-mail: jcabrera@geo.upr.edu.cu

¹ Universidad Pinar del Río

² Instituto Minero Metalúrgico de Moa

³ Empresa Geominera Pinar del Río

⁴ CITMA. Ecovida. Pinar del Río

RESUMEN

Se presenta la regionalización hidrogeológica de la provincia Pinar del Río en plataforma SIG. Los principios de elaboración de este mapa proponen la división del territorio a partir de la integración automatizada de un conjunto de variables naturales, tales como: características físico-geográficas, hidrología, geomorfología, hidrogeología y particularidades estructuro-faciales, considerando el reconocimiento de las regularidades regionales y los rasgos comunes de cada estructura hidrogeológica, entre las que se pueden citar: las fuentes de formación de las aguas subterráneas, condiciones de alimentación, tránsito y descarga de los horizontes y complejos acuíferos, y zonalidades hidroquímica e hidrodinámica.

PALABRAS CLAVE: SIG, Pinar del Río, regionalización hidrogeológica.

ABSTRACT

The paper represents a hydrogeologic regionalization of Pinar del Río province in GIS platform. The principles of elaboration of this map propose the division of the territory starting from the automatic integration of a group of such natural variables as: physical-geographical characteristics, hydrology, geomorphology, hydrogeology and structure particularities. It is recognized the regional regularities and the common features of each hydrogeologic structure, such as: the sources of the

underground waters, the recharge conditions, circulation and discharges of the horizons and aquifer complexes, hydrochemical and hydrodynamic zoning.

KEY WORDS: GIS technology, Pinar del Rio, hydrogeological regionalization.

INTRODUCCIÓN

Hasta hace relativamente poco tiempo el estudio hidrogeológico de grandes territorios se basaba, en lo fundamental, en la interpretación de fotos aéreas en combinación con levantamientos geológicos de campo. Como resultado, se obtenía un mapa que dividía el territorio abarcado en unidades más o menos homogéneas. Este tipo de representación cartográfica, además de presentar limitaciones en cuanto a escala e interpretación de los resultados, no permitía hacer un uso eficiente de toda la información hidrogeológica disponible, ni combinarla con otra información. Los avances informáticos han contribuido a la sistematización y a la utilización intensiva de gran parte de la información hidrogeológica acumulada durante años, y la organización en bases de datos ha facilitado su manipulación y gestión; dentro de estos sistemas se incluye el SIG, sin duda una herramienta novedosa en el cálculo y modelación de las condiciones hidrológicas superficiales y subterráneas.

El presente artículo expone la regionalización hidrogeológica de la provincia de Pinar del Río en pla-

taforma SIG, la cual fue obtenida a partir de la evaluación teórico-espacial de los factores y/o condiciones que se consideran en los trabajos de cartografía hidrogeológica. Se realizó un análisis de las condiciones naturales del terreno, que incluyó la derivación e integración de las variables geográficas y alfanuméricas siguientes: condiciones físico-geográficas, geomorfología, hidrología, hidrogeología y particularidades estructuro-faciales. Se partió del reconocimiento de las regularidades regionales y de los rasgos comunes de cada estructura geológica, tales como: fuentes de formación de las aguas subterráneas, condiciones de alimentación, tránsito y descarga de los horizontes y complejos acuíferos, y zonalidad hidroquímica e hidrodinámica.

La alta complejidad geológica de la provincia, debido al predominio de mantos de sobrecorrimiento, dificulta el modelaje de las cuencas hidrográficas, especialmente cuando se imbrican unas con otras. Por ello, la división en escalones y cuencas pudiera ser lo más acertado y, a la vez, servir como base para la elaboración de mapas temáticos derivados a escalas 1:250 000. Una importante peculiaridad de la cartografía hidrogeológica resultante, es la obtención de la regionalización a partir de la reclasificación y combinación, desde una plataforma SIG, de la información disponible.

METODOLOGÍA

A escala internacional han sido utilizadas diversas metodologías de evaluación de las condiciones hidrogeológicas e ingeniero-geológicas de los territorios, en función de la concepción de las variables involucradas y de la modelación de los fenómenos físicos. Una descripción de las más empleadas pueden encontrarse en Varnes (1974); IAEG (1976); Dearman y Strachan (1983), y Zuquette (1987,1993). De igual forma, son muchos los trabajos en los cuales se exponen diversas tendencias, criterios y métodos, para diseñar e implementar un SIG con aplicación en las investigaciones geocientíficas (Brown, 1981; Guevara, 1987; Alaminos y otros, 1989; Ruiz y Alaminos, 1990; Triff y otros, 2000; Calvo, 2000; Miranda y otros, 2000; Tejeda, 2000; Rodríguez, 2000; Suárez y otros, 2000, y Triff y otros, 2001, entre otros).

Ninguna de las metodologías consultadas trata la evaluación de las condiciones hidrogeológicas de un territorio a partir de la confección de mapas de regionalización mediante las bondades de los SIG, considerando la solución desde la reclasificación y

superposición de mapas temáticos básicos. Por tanto, la metodología utilizada en la obtención del mapa de regionalización partió de un modelo en el que se evaluaron, teórica y espacialmente, los factores y/o condiciones que toman en cuenta los trabajos de cartografía hidrogeológica. Se realizó un análisis detallado de las condiciones naturales de todo el territorio, que incluyó la derivación e integración de las variables geográficas y alfanuméricas involucradas, entre las cuales se pueden citar: las condiciones físico-geográficas, geomorfología, hidrología, hidrogeología y particularidades estructuro-faciales.

A sabiendas de que la regionalización es una tarea compleja dentro de la cartografía hidrogeológica, debido al uso de muchos y diversos factores naturales como criterios de separación de las diferentes unidades hidrogeológicas, el método empleado en el presente trabajo dio un mayor peso a las cuestiones geólogo-estructurales, a causa de la complejidad de las estructuras geológicas del territorio, donde predomina la tectónica alpina de mantos de sobrecorrimientos. Las divisiones hidrogeológicas están representadas por cuencas y escalones artesianos, y, aunque existen regiones hidrogeológicas de mayor rango, no se consideró oportuno utilizarlas teniendo en cuenta las condiciones de isla estrecha y larga, de relativamente poca superficie.

Se analizó toda la información disponible, en específico la generada de los levantamientos CAME y las investigaciones hidrogeológicas que durante cuarenta años se han realizado en la provincia de forma sistemática y científicamente orientadas, entre las que se pueden citar las de Egorov y Luege (1967), Vengrazhanovich (1980), Burov y otros (1984), Martínez y Peláez (1986), Takov (1986), Peláez (1989), Martínez y Peláez (1991), y Peláez y Núñez (1991).

Como resultado de la sistematización de toda la información se obtuvo el mapa de regiones hidrogeológicas a escala 1:250 000 de la provincia, con la distribución de las estructuras y perfiles acompañantes y una pequeña monografía que contiene las características generales de cada una de ellas.

En la obtención del mapa de regiones hidrogeológicas (Fig. 1) se aplicaron técnicas de superposición de capas espacialmente georreferenciadas, a partir de diferentes mapas temáticos, los que a su vez son elementos componentes del Sistema de Información Geográfico (SIG) generado para la provincia.

RESULTADOS

Fueron cartografiados tres cuencas y tres escalones artesianos:

- Escalón Artesiano Pinar Sur
- Escalón Artesiano Guane
- Escalón Artesiano Pinar Norte
- Cuenca Artesiana Intramontana Los Órganos
- Cuenca Artesiana Intramontana El Rosario
- Cuenca Volcánica de Bahía Honda

Escalón Artesiano Pinar Sur

Es el más importante de la provincia (comparado también con las cuencas), pues contiene los mayores recursos y reservas de explotación de aguas subterráneas en el territorio. Ocupa un área de 3 707 km² en la porción sur del territorio y se caracteriza por un relieve llano con poca pendiente hacia el mar, las cotas de la superficie varían de 0 a 80 m. Limita al norte y al oeste con la Falla Pinar; al sur, con el mar Caribe, y por el este, con la provincia Habana.

Desde el punto de vista geológico, esta estructura es un monoclinas que buza hacia el sur con un ángulo muy suave de 7 a 8 grados. El corte está formado por rocas sedimentarias y vulcanógeno-sedimentarias que descansan discordantemente sobre el basamento ofiolítico.

El basamento está constituido por los restos de la corteza oceánica, representada, fundamentalmente, por gabros y basaltos, localizada a profundidades cercanas a los 3 000 m, y en la parte que corresponde al levantamiento de La Coloma, a unos 800 m. Sobre este basamento descansan los depósitos de la Fm. Encrucijada. Hacia arriba yacen, discordantemente, los sedimentos terrígeno-calcareos de la Fm. Los Negros, formados por aleurolitas y areniscas con grandes bloques de calizas, cuyo espesor alcanza los 500-700 m. Sobre estos depósitos descansan, de forma discordante, las rocas terrígenas de la Fm. Capdevila, representada por un *flysch* de areniscas polimícticas y conglomerados vulcanomícticos. Le continúan los depósitos carbonatados terrígenos de la Fm. Paso Real, que yacen discordantemente sobre ellos y están formados por calizas organógeno-detríticas con intercalaciones de areniscas, arcillas, arenas, calizas dolomitizadas y dolomías con un espesor de 0-750 m (estas calizas, en el levantamiento de La Coloma, descansan directamente sobre las ofiolitas). Terminan el corte los depósitos cuaternarios.

El corte hidrogeológico se caracteriza por un acuífero muy potente, relacionado con las rocas del

Neógeno, donde se han distinguido hasta ahora dos horizontes acuíferos y uno impermeable cubierto por los sedimentos aluviales y aluviales marinos del Cuaternario. Las calizas del primer horizonte están fuertemente carsificadas, hasta el extremo de presentar grandes conductos cársicos que se entrelazan formando una red continua por toda la llanura.

Los caudales de producción de los pozos de explotación llegan a alcanzar los 100-150 L/s con pequeños descensos de los niveles. Los parámetros de filtración son muy elevados: transmisividades del orden de los 1 000-10 000 m²/día, conductividades hidráulicas entre 100-1 000 m/día (en determinados sectores predomina el flujo turbulento), el coeficiente de almacenamiento varía entre 10⁻² y 10⁻⁶, y los caudales específicos sobrepasan los 50-100 L/s/m.

Los niveles estáticos yacen a profundidades de 20-45 m (en determinados puntos la profundidad es menor). Las presiones sobre el techo del horizonte oscilan normalmente entre 3-5 m, en las cercanías de la línea costera son mayores, se elevan de 2-3 m sobre la superficie del terreno. Este horizonte está fuertemente intrusionado por las aguas marinas, que en algunas partes han penetrado hasta 15-16 km tierra adentro en superficie.

Presenta una zonalidad hidroquímica horizontal donde se destacan tres franjas paralelas a la costa: la primera, ocupa la parte norte y se caracteriza por aguas del tipo HCO₃-Ca con una mineralización de 0,3-0,4 g/L; la segunda, en la parte central, con aguas del tipo HCO₃-Cl-Ca con una mineralización de 0,5-0,7 g/L, y la tercera, en las cercanías de la costa, con aguas Cl-Na con una mineralización entre 0,8-10 g/L. En el corte vertical las aguas marinas yacen a profundidades de 20-120 m de sur a norte.

La alimentación es un tema muy debatido, los autores de este artículo consideran que se produce de cuatro formas diferentes: en primer lugar, la zona más importante es la que se encuentra en el área de Artemisa, donde las rocas acuíferas salen a la superficie; en segundo, por los sectores donde existen afloramientos de las calizas con numerosos sumideros, en la parte premontañosa y cerca del límite norte del horizonte; en tercero, a través de ventanas hidrogeológicas, y, por último, mediante el traspaso de agua de un horizonte a otro.

La zona de descarga principal la constituye el mar, aunque se destaca el hecho de que se produce mar adentro; esto lo indican las grandes presiones en la franja litoral sur.

Los recursos dinámicos de este horizonte fueron evaluados en 6,3 m/s en categorías bajas de confía-

bilidad en su mayor parte. En el futuro deben ser reevaluados, utilizando toda la información acumulada con parámetros más precisos. El segundo horizonte infrayacente es una capa semipermeable con un espesor de 80-100 m constituida por arcillas, arenas, margas, con lentes de calizas arcillosas que constituyen el piso del horizonte anterior. El tercer horizonte acuífero está representado por calizas cavernosas con intercalaciones de arcillas dolomitizadas y dolomías que salen a la superficie en la parte norte. En el área de alimentación está aceptablemente caracterizado, el desarrollo del proceso cársico en esta capa está más limitado y menos desarrollado que en el primero, y se caracteriza por tener aguas del tipo $\text{HCO}_3\text{-Ca}$ con una mineralización baja, de 0,2-0,3 g/L, que en profundidad alcanza 0,4-0,5 g/L. No se descarta que cerca de la costa este horizonte esté también intrusionado por las aguas marinas, pero en mucho menor grado que el primero.

Este acuífero sólo ha sido estudiado en un punto del territorio por el pozo El Brujo, ubicado en el kilómetro 6 de la carretera a La Coloma, donde está representado por calizas dolomitizadas y dolomías con agua dulce hasta la profundidad de 350 m y grandes presiones sobre el techo. Fue alcanzado también por las perforaciones profundas Guanál y La Coloma.

El caudal específico determinado por una prueba de bombeo fue bajo (0,31 L/s/m). Las aguas son del tipo $\text{HCO}_3\text{-Ca}$ con una mineralización de 0,4 g/L. Las temperaturas de las aguas subterráneas en general oscilan entre 24-25 °C en esta parte del corte.

Escalón Artesiano Guane

Situado en la parte sudoccidental de la provincia, ocupa un área de 2 174 km² en un perímetro de 571,4 km, al sur-sudoeste del poblado del mismo nombre. Presenta un relieve llano con bajas pendientes en dirección al mar, y las cotas absolutas de la superficie varían entre 2-3 y 50 m. Su límite norte lo constituye el contacto entre las rocas neogénicas y jurásico-cretácicas; al sur y oeste el Mar Caribe y el Golfo de México, respectivamente, y al este la Falla Pinar.

El corte es sencillo y está compuesto por los depósitos de la Fm. Paso Real, que monocionalmente buzcan hacia el sur con un ángulo de 5-7 grados; está representado por calizas organógeno-detríticas fuertemente carsificadas, con intercalaciones de arcillas, arenas, areniscas y dolomías con un espesor de 0-700 m, sobre un basamento impermeable representado por los depósitos terrígenos de la Fm. San Cayetano y carbonatados terrígenos de la Fm. Esperanza. Estas rocas están cubiertas por los depósitos

cuaternarios que en el bloque noreste están constituidos por sedimentos aluviales y aluviales marinos de las formaciones Guevara y Guane. En el bloque sudoeste está representado por calizas arrecifales intensamente carsificadas de las formaciones Jaimanitas y Vedado.

El complejo acuífero del Neógeno ocupa la mayor parte del territorio, con un espesor que sobrepasa los 700 m; las zonas sur y central presentan una gran acuosidad, con caudales específicos que varían entre 10-100 L/s/m. Los niveles estáticos tienen en general cotas absolutas entre 0,6 y 10 m, y en algunas partes hasta 33 m. El gradiente general es hacia el sur-sudoeste con valores muy bajos, entre 0,001 y 0,0001 m. Los parámetros de filtración de esta parte son altos en la zona central y menores en el resto del área.

En la parte sur las aguas marinas han penetrado de 8-10 km tierra adentro, en especial en las zonas de La Fe y Sandino, y en el corte yacen a 20-40 m de profundidad. Hasta el momento se ha caracterizado sólo el primer horizonte acuífero a partir de la superficie, cuyo espesor no sobrepasa los 120 m y está limitado en algunos sectores por una capa arcillosa semi-impermeable distinguida sólo en la parte norte del territorio.

Este horizonte fue localizado en el otro bloque por el pozo Guanahacabibes 1, donde se señala la presencia de calizas masivas dentro del corte, que pudieran actuar como capas poco permeables; debido a este fenómeno es que quizá se aíslan las aguas saladas superiores de las dulces que circulan por las partes más bajas de dicho bloque y que se infiltran desde la Cordillera de los Órganos al norte.

Las aguas de este horizonte son del tipo $\text{HCO}_3\text{-Ca}$ y $\text{HCO}_3\text{-Cl-Ca}$, con una mineralización de 0,3-0,9 g/L. En las proximidades de la costa son Cl-Na salobres (1-3 g/L) y saladas 5-10 g/L.

La alimentación se produce por la infiltración de las precipitaciones atmosféricas que caen en la parte norte del territorio, donde estas rocas salen a la superficie o están cubiertas por una capa de pequeño espesor de sedimentos areno-arcillosos; además, existen sumideros donde se infiltran directamente. Otra parte importante de la recarga puede ocurrir por el traspaso de aguas profundas del Jurásico a través de "ventanas" hidrogeológicas en el basamento del escalón (Peláez y Sobrino, 1993) por el drenaje profundo de la Cuenca Los Órganos y el Escalón Pinar Norte.

En la parte más oriental, en la zona de Boca de Galafre, este horizonte recibe recarga por las aguas

profundas que se inyectan por la Falla Pinar y que contaminan el acuífero con aguas del tipo $\text{SO}_4\text{-Ca}$, con una mineralización mayor de 1 g/L, con altos contenidos de sulfatos. Estas aguas no se pueden utilizar para el abasto, pero tienen importancia para el termalismo en el territorio.

La zona de descarga principal es el mar, aunque se producen descargas parciales del horizonte en la zona del Pantano de Remates y Laguna Grande.

Los sedimentos cuaternarios aluviales de la parte norte y este son prácticamente impermeables y se localizan sólo aguas esporádicas en los lentes arenosos; la excepción lo constituye el gran yacimiento de arenas silíceas que cubre el territorio en un área aproximada de 170 km², el cual posee limitadas reservas de aguas freáticas dulces que pudieran ser aprovechadas para el abasto a pequeña escala.

En el bloque occidental, en la parte ocupada por la península de Guanahacabibes, las aguas saladas y salobres cubren todo el territorio hasta el Valle de San Juan, donde existen pozos de pequeños caudales con aguas dulces. Este lugar se caracteriza por la existencia de un lente de aguas dulces "flotando" sobre las aguas saladas, con un caudal de 0,1-0,3 L/s, del tipo $\text{HCO}_3\text{-Cl-Ca}$, con una mineralización de 0,4-0,7 g/L en la zona de Cabo Corrientes en las cercanías de la playa María La Gorda; no se excluye la posibilidad de que hacia el Cabo de San Antonio sean localizados nuevos lentes más pequeños.

Escalón Artesiano Pinar Norte

Este escalón se prolonga en forma de una franja estrecha a lo largo de la costa norte de la provincia, desde Mantua hasta las cercanías de La Palma, con un área de 569,7 km² en un perímetro de 384,3 km. Al norte limita con el Golfo de México; al sur con una falla que lo separa de la Cuenca Los Órganos; al oeste, con los depósitos del Neógeno, y al este, con la Cuenca Volcánica de Bahía Honda.

Desde el punto de vista geológico, el corte está formado por los depósitos de la Fm. Esperanza y por escamas tectónicas de las formaciones San Cayetano y Manacas; el corte se repite hasta los 5 500 m de profundidad. Esta sección fue caracterizada por los pozos profundos perforados, se supone que más abajo estos depósitos descansan sobre el autóctono (?).

Hasta el momento, en este escalón han sido caracterizados dos horizontes acuíferos en la parte más occidental (Peláez, 1991) durante los trabajos hidrogeológicos en el campo mineral Unión. El primer horizonte, revelado hasta los 120 m de profundidad, está extendido por todo el territorio y se relaciona

con las calizas carbonosas agrietadas y tectonizadas. Para este horizonte son características las bajas y medianas propiedades de filtración; por los datos de los bombeos experimentales, la transmisividad varía entre 150 y 300 m²/día, la conductividad hidráulica de 1-5 m/día, y el coeficiente de almacenamiento entre 10^{-2} y 10^{-6} . Los caudales específicos 0,5-1 L/s/m, raramente son más altos.

Los niveles estáticos yacen en general a profundidades de 3-12 m, aunque en algunos lugares se sitúan por encima de la superficie del terreno.

Las aguas comúnmente son del tipo $\text{HCO}_3\text{-Ca}$ y $\text{SO}_4\text{-Ca}$ (por la presencia en el corte de sulfuros diseminados y material carbonoso) con una mineralización que oscila entre 0,4-1,5 g/L. Rara vez se detectan aguas Cl-Na aun junto a la costa e incluso a la distancia de entre 30-200 m de la misma, como es el caso de la batería de pozos del acueducto de Santa Lucía, el manantial de Puerto Esperanza, pozos en Los Arroyos y otros lugares. Esto hace pensar que la circulación de las aguas subterráneas en este escalón tiene una dirección preferencial paralela a la costa y que existe algún accidente tectónico en las cercanías del litoral que impide el drenaje hacia el mar.

La recarga se produce por la infiltración directa de las precipitaciones atmosféricas que caen en las áreas de pequeñas coberturas aluvial-eluvial de composición arcillo-arenosa o en la corteza de intemperismo de estas rocas. La zona de descarga en general es la red fluvial y los manantiales, que alcanzan a veces caudales de 25-30 L/s (acueducto de Puerto Esperanza) y por el horizonte del Neógeno que lo recubre en la parte occidental.

Un segundo horizonte acuífero fue detectado en la parte occidental, con aguas de circulación profunda y una gran presión; el techo del acuífero se localizó a profundidades cercanas a los 200 m, resultando surgentes con caudales de 3-5 L/s y alturas piezométricas de +6 m y temperaturas del agua de 29 °C. Las aguas son del tipo $\text{HCO}_3\text{-Ca}$ con una mineralización de 0,6-0,8 g/L. Estos pozos se mantienen brotando hace más de dieciocho años.

Cuenca Artesiana Intramontana Los Órganos

Ocupa la parte central y occidental del territorio, con un área de 1 587 km², en un perímetro de 259,7 km, entre los Escalones Artesianos Pinar Norte y Pinar Sur; al oeste limita con el Escalón Artesiano Guane y por el este con la Cuenca Artesiana El Rosario.

Las características geológicas están condicionadas por un gran desarrollo de la tectónica alpina, y

se destacan fundamentalmente los sobrecoorrimientos y un sistema joven de fallas transversales. Está muy desarrollado el proceso cársico y el agrietamiento, que constituyen los patrones de circulación de las aguas subterráneas por las calizas. Según los datos de la prospección de agua, existen cuatro niveles de carsificación bajo el nivel de base de erosión, que condicionan la circulación profunda de las aguas subterráneas por estos conductos en régimen "retardado" de alimentación, por la lejanía de las áreas de recarga; esto fue detectado en el valle intramontano San Vicente. Se manejan hipótesis similares para los valles de San Carlos, San Andrés y Viñales.

Las aguas del corte son por lo general dulces hasta profundidades de 350-400 m, del tipo HCO_3 -Ca con una mineralización de 0,4-0,6 g/L, excepto en las numerosas manifestaciones de aguas minero-medicinales (San Vicente, La Palma, etc.), donde abundan las aguas SO_4 -Ca sulfurosas con una mineralización de 1,7-3,0 g/L y temperaturas de 28-34 °C.

Los caudales de las fuentes comúnmente varían entre 1-10 L/s, pero en los grandes manantiales cársicos son de 80-350 L/s (La Pimienta, Tenería, Los Acosta y Los Portales). La recarga se produce por la infiltración de las precipitaciones atmosféricas que caen en el área de los mogotes (pues los valles están cubiertos por arcillas con espesores de 8-12 m) o que se infiltran por las cavidades cársicas superficiales. El flujo subterráneo tiene aquí dos componentes: uno que alimenta los horizontes superficiales hasta los 30-60 m de profundidad y otro que recarga los horizontes profundos, contenedores de aguas dulces y minerales. La descarga principal de esta cuenca se produce por la parte occidental, donde existe una alineación de grandes manantiales cársicos que descargan en la red fluvial, y una parte importante del flujo subterráneo continúa por debajo del Escalón Artesiano Guane y puede descargarse tanto por los horizontes superiores como mar adentro en la zona de Guanahacabibes. En el resto del área se produce localmente por los pequeños manantiales y por los ríos. En esta cuenca artesiana no hay fenómenos de salinización y, por ahora, se desconoce la presencia de salmueras en el corte, aunque esto no se descarta, pues existen condiciones para ello.

Cuenca Artesiana Intramontana El Rosario

Localizada en la parte nororiental de la provincia, tiene un área de 2 088 km² en un perímetro de 463,5 km; limita al norte con la Cuenca Volcánica de Bahía Honda, al sur con el Escalón Pinar Sur, por el oeste con la Cuenca Los Órganos y por el este se extiende hacia la provincia Habana.

En la constitución geológica general toman parte las "escamas" tectónicas y los depósitos carbonatados de las formaciones Francisco, Polier y Artemisa, las rocas vulcanógeno-sedimentarias de la Fm. Sábalo, las rocas de la Fm. San Cayetano, y entre los planos de sobrecoorrimiento, los depósitos olistostrómicos de la Fm. Manacas. Las rocas de San Cayetano y Sábalo forman los complejos impermeables.

Las aguas subterráneas dulces se localizan fundamentalmente en los conductos cársicos, y en las grietas y zonas tectónicas abundantes en el área. Las aguas subterráneas son, por lo general, del tipo HCO_3 -Ca con una mineralización que no sobrepasa los 0,6 g/L. Abundan las manifestaciones de aguas minerales sobre todo del tipo HCO_3 -Ca y HCO_3 -Na sulfurosas, a diferencia de la cuenca vecina donde éstas son menos abundantes (Quiñones, Ranchomar, Soroa, Las Terrazas, etc.). Las aguas en las zonas donde las rocas están impregnadas en asfaltos son ricas en materia orgánica bituminosa, éstas inundan el corte hasta profundidades de 300-400 m, más abajo se supone que yacen aguas termominerales de composición HCO_3 -Na sulfurosas esencialmente, tampoco se excluye la presencia de salmueras en el corte.

Los caudales de las numerosas fuentes existentes en esta cuenca varían desde fracciones de L/s hasta 80-100 L/s. Los parámetros de los acuíferos no han sido determinados, pues casi no hay pozos con pruebas de bombeo en la región. La recarga de los acuíferos se produce por la infiltración de las precipitaciones atmosféricas que caen en el área y, en especial, en las numerosas, pero pequeñas cuencas cerradas diseminadas por todo este territorio, que alimentan la circulación profunda de las aguas cársicas y que fueron cartografiadas durante los trabajos de levantamiento geológico CAME. Fueron determinadas zonas del corte que están profundamente drenadas (Loma de Toro y norte de Soroa, entre otras) y que corroboran la hipótesis de la circulación profunda de las aguas cársicas.

La descarga se produce fundamentalmente por los grandes manantiales cársicos en los valles y por los numerosos manantiales subaéreos que drenan las elevaciones y que se producen por la presencia de las rocas de la Fm. Polier, donde existe una corteza de meteorización lo cual impide la infiltración de las aguas de lluvia a través de ellas y las obliga a salir en las partes altas de las montañas.

Cuenca Volcánica de Bahía Honda

Está ubicada en la parte norte y ocupa un área de 753,1 km² en un perímetro de 279,6 km. Por el

sur está limitada por la Cuenca El Rosario; hacia el oeste con el Escalón Pinar Norte; al norte por el Golfo de México, y al este continúa hacia la provincia Habana. Las condiciones geológicas del área están complicadas por la presencia del complejo ofiolítico, representado por gabros, basaltos, etc., cortados por numerosos diques de diabasas. Este complejo descansa sobre los depósitos carbonatado-terrágenos del Rosario. Por arriba está recubierto por las rocas terrígenas de la Fm. Vía Blanca, la Fm. Orozco y las rocas carbonatadas de la Fm. Cojimar.

En esta cuenca los parámetros hidrogeológicos de los horizontes y complejos acuíferos son bajos, excepto en los estratos carsificados de Cojimar y en algunas zonas tectónicas, los gastos específicos de los pozos varían entre 0,001 y 0,01 L/s/m. Los niveles yacen a profundidades de 3-10 m; las transmisividades entre 20 y 100 m²/día; la conductividad hidráulica oscila entre 0,1 y 5 m/día. Las aguas subterráneas se localizan principalmente en las cortezas de intemperismo y en las zonas tectónicas. Predominan en el territorio las aguas del tipo HCO₃-Na, y en las cercanías del litoral las Cl-Na a causa de la intrusión marina. Los caudales de las fuentes no sobrepasan 1 L/s, excepto en el horizonte acuífero formado en las calizas de la Fm. Cojimar, que llegan a alcanzar 20 L/s (Morrillo).

La zona con predominio de las aguas dulces se supone que tenga un espesor que no supera los 300-400 m, y más abajo deben encontrarse las aguas termominerales de composición sódica principalmente.

La recarga de los acuíferos se produce a partir de la infiltración de las precipitaciones atmosféricas en las áreas donde estas rocas salen a la superficie o están muy cerca de ella. No se descarta también la inyección de aguas, a través de las grandes dislocaciones tectónicas profundas, desde los depósitos carbonatados del Jurásico que las infrayacen.

La descarga de las aguas subterráneas ocurre directamente en el litoral, aunque se producen descargas parciales por la red fluvial y los pequeños manantiales que rara vez alcanzan 1 L/s. La evaluación de los indicadores del quimismo, el régimen y la dirección preferencial del flujo, se realizaron a partir de la gestión de la base de datos contenida en el mapa de puntos hidrogeológicos.

CONCLUSIONES

1. El tratamiento de la información se realizó con aplicación de tecnología SIG. Se ofrece un mapa con la regionalización hidrogeológica de la provincia Pinar del Río, escala 1:250 000 modificado

y ampliado en formato digital, soportada sobre un SIG.

2. El territorio fue dividido en seis grandes estructuras hidrogeológicas: tres escalones artesianos y tres cuencas artesianas. Se detallan las regularidades regionales en las condiciones hidrogeológicas de cada estructura. Se reporta la presencia de la circulación profunda de las aguas subterráneas en las Cuencas Artesianas y el Escalón Pinar Norte sobre la base de datos reales. Se reporta la presencia de aguas industriales (salmueras) en el Escalón Pinar Norte, caracterizadas por los análisis químicos.
3. Se deberán realizar evaluaciones hidrogeológicas regionales en las Cuencas Los Órganos, El Rosario y Bahía Honda, que permitan aclarar con mayor precisión las condiciones hidrogeológicas de este territorio, y seguir ampliando los campos informativos de la base de datos que soporta el mapa. Los nuevos trabajos que se ejecuten deben de estar soportados por la tecnología SIG, con la cual se hacen análisis más profundos y con mayor precisión y rapidez. Prestar el debido interés por los estudios de las aguas profundas dulces y minerales para completar poco a poco los Modelos Conceptuales de los Escalones y Cuencas que permitan elaborar en un futuro Modelos Numéricos de alta confiabilidad.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALAMINOS, C., J. RUIZ, A. MANCHADO, R. PICO (1989): *Aplicación de métodos de reconocimientos de patrones lógicos combinatorios a la resolución de tareas geológicas*, Primer Congreso Cubano de Geología, Resúmenes, La Habana.
- BUROV B., D. MARTÍNEZ, R. PELÁEZ (1984): "Levantamiento geológico a escala 1:50 000 con búsqueda acompañante de la parte occidental CAME-1 de la Provincia Pinar del Río", EGMPR.
- BROWN, P. J. (1981): *A cartographic model for assessing outdoor recreational opportunities* Computar mapping of natural resources and the environment, Cambridge Laboratory for Computer Graphics and Spatial Analysis, pp. 21-26.
- CALVO, J. C. (2000): "Implementación de un SIG para el manejo de los nombres geográficos de la República de Cuba", V Taller Internacional Informática Geociencias, GEOINFO 2000, La Habana, Cuba.
- DEARMAN, W. R. Y A. STRACHAN (1983): "Engineering geologiacl plans of Tyne and Wear County, N.E. England", *Bull. IAEG*, 28:31-41.
- EGOROV Y LUEGE (1967): Regionalización hidrogeológica de Cuba, escala 1:100 000, La Habana.
- GUEVARA, J. A. (1987): *Guía para la implementación de un Sistema de Información Geográfica para la planificación regional y nacional, en I Conferencia Latinoamericana so-*

bre Informática en Geografía, Costa Rica, EUDED, San José, pp. 301-322.

IAEG (INTERNATIONAL ASSOCIATION OF THE ENGINEERING GEOLOGY) (1976): *Engineering geological maps: a guide to their preparation*, Unesco Press, París, 79 pp.

MARTÍNEZ, D. Y R. PELÁEZ (1986): Levantamiento geológico escala 1:50 000 con búsqueda acompañante de la parte central de la Provincia Pinar de Río, CAME- 2, EGMPR.

----- (1991): Levantamiento geológico a escala 1:50 000 con búsqueda acompañante Pinar –Habana, CAME-4, EGMPR.

MIRANDA, G. L. M., H.S.V. RODRÍGUEZ, C. M. A. GARCÍA, S. Y. GUERRA, M. I. ALONSO, R. B. PERNA, M. M. DENIS Y H. A. C. BATTE (2000): “Mapa topográfico digital a escala 1:250 000 en función de los sistemas de información geográfica”, V Taller Internacional Informática Geociencias, GEOINFO 2000, La Habana, Cuba.

MOLDES, F. J. (1996): “Diseño de un modelo para la gestión de las áreas rurales”, Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Madrid.

PELÁEZ, R. (1989): “Búsqueda detallada. Exploración orientativa de las aguas minero-medicinales San Diego-Bermejales”, EGMPR.

PELÁEZ, R. Y R. NÚÑEZ (1991): “Exploración detallada de las aguas minero-medicinales y potables de San Vicente, Pinar del Río”, EGMPR.

PELÁEZ, R. Y E. SOBRINO (1993): “Pronóstico para la localización de aguas subterráneas profundas en Guanahacabibes”, (inédito).

RODRÍGUEZ, S. V. (2000): “Empleo de los sistemas de información geográfica en el enfrentamiento de fenómenos meteorológicos adversos”, V Taller Internacional Informática Geociencias, GEOINFO 2000, La Habana. Cuba.

RUIZ S., J. Y C. ALAMINOS (1990): *Modelación matemática de fenómenos geocientíficos*. Primer Simposio acerca del

desarrollo de la Matemática. Resúmenes, Ciudad de La Habana.

SUÁREZ, L. V., D. CARRILLO Y S. J. W. ALFONSO (2000): “Aplicación de una tecnología SIG para la integración de bases de datos geofísicas”, V Taller Internacional Informática Geociencias, GEOINFO 2000, La Habana, Cuba.

TAKOV, T. (1986): “Esquema hidrogeológico precisado Cuenca Cuyaguaje”, INRH de Pinar del Río.

TEJEDA, M. M. (2000): “Aplicación de los sistemas de información geográfica en la determinación del uso de un territorio con fines de turismo de naturaleza”, V Taller Internacional Informática Geociencias, GEOINFO 2000, La Habana, Cuba.

TRIFF, J., N. PONCE, D. CARRILLO, J. L. DÍAZ, R. CARRAL, A. CASTELLANOS, R. RIVADA Y V. STRAZHEVICH (2000): “Implementación de un SIG para el manejo del impacto ambiental de la minería en Cuba”, V Taller Internacional Informática Geociencias, GEOINFO 2000, La Habana, Cuba.

TRIFF, J., R. PÉREZ Y G. PANTALEÓN (2001): “Sistema de Información Geográfica para la geología de la Sierra Maestra”, 4º Congreso de Geología y Minería de la Sociedad Cubana de Geología, La Habana, Cuba.

VARNES, D. J. (1974): *The logic of engineering geological and related maps. A discussion of the definition and classification of map units, with special references to problems presented by maps intended for use in civil engineering*. Washington: USGS, 48 pp. (Professional Paper 837).

VENGRAZHANOVICH, R. (1980): “Informe hidrogeológico de la península Guanahacabibes”, INRH de Pinar del Río.

ZUQUETTE, L.V. (1987): “Análise crítica da cartografia geotécnica e proposta metodológica para condições brasileiras”, Tese (Doutorado), EESC/USP, São Carlos, 4v.

----- (1993): “Importância do mapeamento geotécnico no uso e ocupação do meio físico: fundamentos e guia para elaboração”. Tese (Livre-Docência), EESC/USP, São Carlos, 2v.

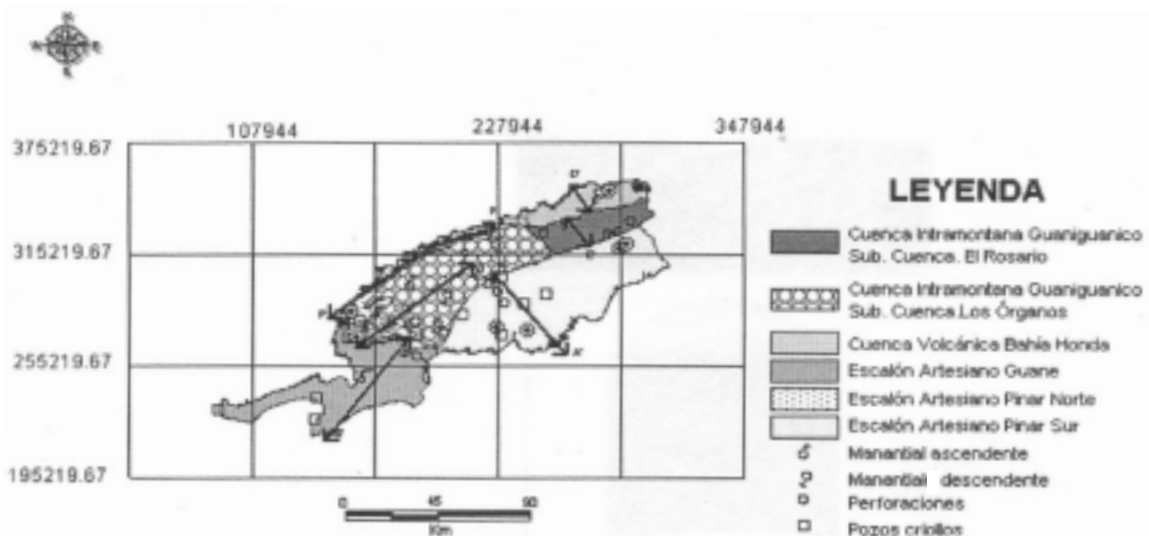


Figura 1. Mapa de regionalización hidrogeológica de la provincia de Pinar del Río en plataforma SIG.