



Exploración de aguas subterráneas en el Arco Seco de Panamá (Sector de Las Tablas) mediante métodos geofísicos

Alberto Caballero

ADVERTIMENT. La consulta d'aquesta tesi queda condicionada a l'acceptació de les següents condicions d'ús: La difusió d'aquesta tesi per mitjà del servei TDX (www.tdx.cat) i a través del Dipòsit Digital de la UB (diposit.ub.edu) ha estat autoritzada pels titulars dels drets de propietat intel·lectual únicament per a usos privats emmarcats en activitats d'investigació i docència. No s'autoritza la seva reproducció amb finalitats de lucre ni la seva difusió i posada a disposició des d'un lloc aliè al servei TDX ni al Dipòsit Digital de la UB. No s'autoritza la presentació del seu contingut en una finestra o marc aliè a TDX o al Dipòsit Digital de la UB (framing). Aquesta reserva de drets afecta tant al resum de presentació de la tesi com als seus continguts. En la utilització o cita de parts de la tesi és obligat indicar el nom de la persona autora.

ADVERTENCIA. La consulta de esta tesis queda condicionada a la aceptación de las siguientes condiciones de uso: La difusión de esta tesis por medio del servicio TDR (www.tdx.cat) y a través del Repositorio Digital de la UB (diposit.ub.edu) ha sido autorizada por los titulares de los derechos de propiedad intelectual únicamente para usos privados enmarcados en actividades de investigación y docencia. No se autoriza su reproducción con finalidades de lucro ni su difusión y puesta a disposición desde un sitio ajeno al servicio TDR o al Repositorio Digital de la UB. No se autoriza la presentación de su contenido en una ventana o marco ajeno a TDR o al Repositorio Digital de la UB (framing). Esta reserva de derechos afecta tanto al resumen de presentación de la tesis como a sus contenidos. En la utilización o cita de partes de la tesis es obligado indicar el nombre de la persona autora.

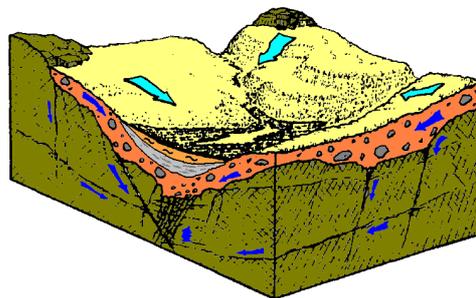
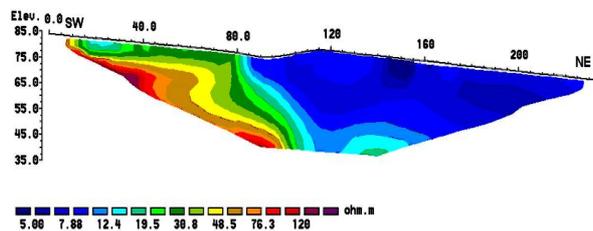
WARNING. On having consulted this thesis you're accepting the following use conditions: Spreading this thesis by the TDX (www.tdx.cat) service and by the UB Digital Repository (diposit.ub.edu) has been authorized by the titular of the intellectual property rights only for private uses placed in investigation and teaching activities. Reproduction with lucrative aims is not authorized nor its spreading and availability from a site foreign to the TDX service or to the UB Digital Repository. Introducing its content in a window or frame foreign to the TDX service or to the UB Digital Repository is not authorized (framing). Those rights affect to the presentation summary of the thesis as well as to its contents. In the using or citation of parts of the thesis it's obliged to indicate the name of the author.

Facultat de Geologia
Departament de Geoquímica, Petrologia i Prospecció Geològica

TESIS DOCTORAL

**EXPLORACIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS EN
EL ARCO SECO DE PANAMÁ (SECTOR DE LAS
TABLAS) MEDIANTE MÉTODOS GEOFÍSICOS**

ALBERTO CABALLERO



Barcelona, 2009

Capítulo 1

Introducción

1.1 Introducción

1.1.1. Aspectos generales

Las aguas subterráneas, objeto de esta investigación, suponen un recurso fundamental para el desarrollo de una región y en particular para aquellas cuyos cursos de agua superficial son escasos o inexistentes. Es ampliamente conocido el hecho de que las aguas subterráneas constituyen un recurso frágil y en algunas regiones del mundo su escasez va en aumento. Este precepto plantea que, la sociedad actual tiene retos a enfrentar, pues a medida que crece la población, la necesidad del vital líquido ira en aumento. Ello implica, el compromiso de establecer estrategias para el conocimiento, protección y manejo sostenible de fuentes de agua, aptas para el consumo humano y su aprovechamiento en la agricultura.

Son muchos los países que emplean los recursos hídricos subterráneos como fuente de abastecimiento de agua potable, para consumo humano y para la irrigación de cultivos. En este sentido, el uso de las aguas subterráneas en regadíos, ha incrementado la producción de alimentos. Esto ha traído como consecuencia el descenso del nivel freático de los acuíferos en explotación, el aumento en la lixiviación de nutrientes y pesticidas, la subsidencia y la salinización de los suelos.

El uso seguro y racional de los recursos del subsuelo es un desafío que enfrenta la sociedad actual. Ello pasa por tener un conocimiento adecuado de su distribución y de las propiedades fisicoquímicas de las aguas que circulan por el mismo. La observación del subsuelo de forma directa, es imposible, por lo que es necesaria la aplicación de métodos indirectos para determinar las propiedades físicas e hidrogeológicas del mismo.

Esta investigación se ha desarrollado en la región de Las Tablas, en la República de Panamá. En la figura 1.1 se aprecia su localización regional (ver el mapa del Anexo 1, para una visión más detallada del área de estudio). Esta, al igual que otras poblaciones a nivel mundial, se encuentra ubicada en la zona costera, lo que le ha permitido las condiciones adecuadas para su desarrollo económico y mejoramiento de la calidad de vida de sus habitantes.

Sin embargo, hay que tener en cuenta que el aumento de la población y la inadecuada gestión del recurso, ponen en riesgo la garantía de suministro y agrava los problemas sociales y económicos ligados a la carencia de agua potable.

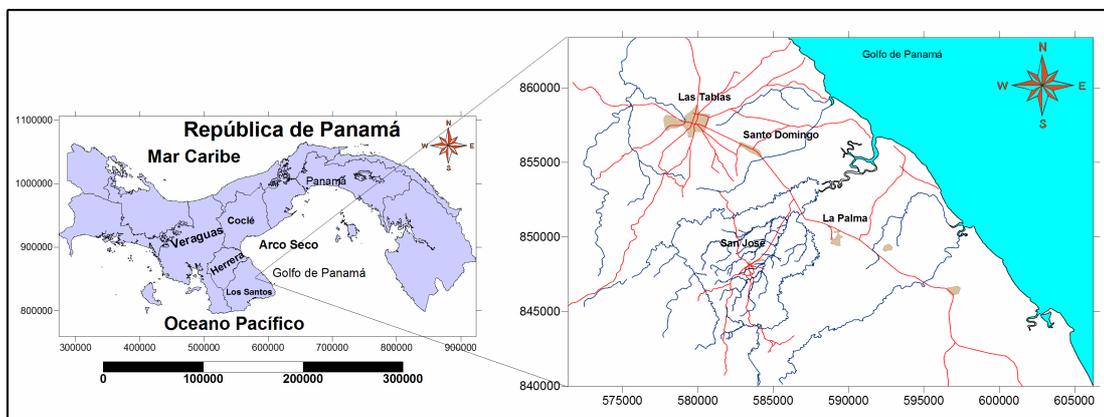


Figura 1.1. Localización del área de estudio.

1.2. Objetivos

La información reciente de las actividades de exploración de agua subterránea, en la zona de estudio, es indicativa de que la eficiencia de éxito en las perforaciones ha sido baja. Esto ha ocurrido debido a la falta de un enfoque sistemático y del empleo de técnicas auxiliares capaces de identificar sitios de potenciales reservorios. Por ello, en esta investigación, se evalúa el potencial de agua subterránea, en el complejo ambiente geológico de la zona de estudio.

Este planteamiento propone desarrollar los siguientes objetivos:

- a) Desarrollar una metodología de investigación aplicable a zonas con similares características geológicas.
- b) Aumentar el conocimiento geológico e hidrogeológico de la zona de estudio.
- c) Establecer las características hidroquímicas e isotópicas de las aguas subterráneas.
- d) Determinar la zona de recarga del acuífero así como su vulnerabilidad a contaminantes antropogénicos y geológicos.

- e) Delimitar, mediante los métodos potenciales, la geometría de las estructuras geológicas que controlan el flujo de las aguas subterráneas en la zona.
- f) Determinar la profundidad de investigación de los dispositivos y la sensibilidad del método geoelectrico para resolver detalles geológicos inherentes a la zona de estudio, que permitan establecer sitios propicios para la perforación de pozos.

1.3. Justificación

La exploración de aguas subterráneas, en la República de Panamá, tradicionalmente se ha basado en la prospección geológica superficial y en algunas ocasiones se han aplicado los métodos geofísicos (geoelectricos y sísmicos). Mediante estas metodologías, los resultados no siempre han sido los esperados y generalmente el rendimiento de los pozos es bajo y en algunos casos se agotan en poco tiempo.

La extracción de aguas subterráneas, se debe básicamente al hecho de que el nivel de las fuentes superficiales en la época seca, es reducido y en algunas ocasiones incluso muy escaso. Esta situación es muy común, a pesar de que los niveles de precipitación son del orden de 1200 mm/año, en la Estación Cañafistulo (ETESA 2006). La topografía, la constitución del suelo y la escasa vegetación, producto de la deforestación, condicionan que las corrientes superficiales drenen rápidamente hacia la costa del Golfo de Panamá, en el Océano Pacífico (del Guidice & Recchi 1969).

La compleja geología y La discontinuidad estratigráfica plantean la necesidad de una estrategia de exploración adecuada a estos medios. Esto se debe a que las rocas cristalinas en su estado alterado son muy impermeables. Por otro lado, los acuíferos pueden estar limitados a estructuras características producidas por procesos de intemperismo y tectónicos. Es por ello que, en este estudio, se aborda el problema mediante el empleo de un concepto exploratorio diferente. Lo que se logra mediante esta metodología es integrar procedimientos geofísicos, geológicos, hidroquímicos e isotópicos.

La zona de estudio está constituida por rocas volcánicas, las cuales se formaron a partir de un arco de islas, ahora inactivo. Constituyendo una compleja distribución vulcano-sedimentaria (Del Guidice & Recchi 1969; Kesler *et al.* 1977; Armbrust *et al.* 2003; Hooernle *et al.* 2004). Por tanto, es de especial interés la localización de zonas de fracturas y grietas con características y transmisividades apropiadas, para la extracción del recurso hídrico (Huntoon & Lundy 1979; Larsson 1985).

Esta investigación metodológica esta basada en los métodos geofísicos, complementados con la información obtenida mediante las otras metodologías. Los métodos geofísicos permiten cartografiar las propiedades del subsuelo de forma continua en el espacio y en el tiempo. Esta información su vez puede ser traducida en los términos geológicos, que caractericen a un acuífero. Los métodos clásicos, como las perforaciones y el análisis de núcleos, además de ser costosos, han demostrado tener ciertas limitaciones, cuando se intenta disponer de esta información en forma espacial y temporal. La gestión de estas variables temporales y espaciales es muy útil al evaluar la vulnerabilidad de un acuífero determinado.

La aplicación de esta metodología seria extendida a otras áreas con condiciones geológicas similares y que están siendo afectadas por la salinización y sobreexplotación del acuífero.

1.4. Antecedentes del área de estudio

1.4.1. Localización Geográfica y generalidades

Las Provincias de Herrera, Los Santos y parte del Sur de Veraguas son geográficamente conocidas como la Península de Azuero y se ubican en la región central del país.

El área de estudio se encuentra ubicada en el Distrito de Las Tablas, Provincia de Los Santos. Cubre específicamente las poblaciones de Las Tablas, Santo Domingo, La Palma y San José, ubicadas 230 km al sudoeste de la Ciudad de Panamá. Esta zona se encuentra ubicada en la región denominada Arco de

Seco de Panamá (Figura 1.1). Cuenta con una superficie aproximada de 30 km² y una población combinada de aproximadamente 27,000 habitantes (CGR, 2009).

El Arco Seco de Panamá, sobre la costa pacífica, es una región caracterizada por la relativa baja pluviosidad. Esta región se extiende desde el extremo suroeste de la Provincia de Panamá, este de Veraguas, Provincias de Coclé, Herrera y Los Santos (Sjunnesson & Svendenius, 2004; Piersol, 2005).

La zona de estudio está situada en la llanura central costera, próxima a las montañas bajas de la península de Azuero, las que alcanzan una altura máxima de 450 metros (Cerro Tebujo, Cerro Paja, El Guabo). Se encuentra situada en la Cuenca del Río Guararé (Cuenca # 126) (CGR, 2001). Los principales ríos del área son el Río Mensabé, Río Salado, Río Pocrí, Río Guararé y Río Perales; estos últimos nacen en la parte baja de la cuenca y las aguas de todo el conjunto desembocan en el Golfo de Panamá.

1.4.2. Acceso al área de estudio

A la población de Las Tablas se puede acceder a través de la Carretera Nacional, durante todo el año. Por otro lado, el acceso a las áreas investigadas en este trabajo es posible, gracias a la red de caminos secundarios que conectan a las poblaciones que la circundan.

Es notable, la red de caminos que tienen algunas propiedades particulares y a los cuales se puede acceder. En algunos casos, el acceso es por estrechos e inclinados senderos, por lo que no es posible el tránsito de vehículos, siendo imprescindible la utilización de caballos.

1.4.3. Situación socioeconómica general.

La mayor parte de los habitantes de la región, vive en las zonas rurales; sin embargo, durante las últimas décadas, la población de las áreas urbanas ha estado en crecimiento, con una tasa mayor a la de las zonas rurales (CGR, 2009).

La economía de este sector se ha basado en actividades agrícolas tales como el cultivo de arroz, maíz, alubias, sorgo, tomate, caña de azúcar, la cría de cerdos y la cría de ganado vacuno y lechero. Otra industria importante es la

confección del vestido típico de Panamá (La Pollera), sobretodo en el área de estudio. Coincidiendo con la expansión de la población urbana, durante las últimas décadas, la actividad industrial ha aumentado; sumado a esto, se ha producido un considerable aumento del turismo (CGR 2009).

Las Tablas es una ciudad que actúa como centro de comercio y servicio de las poblaciones que la rodean. Para el manejo de las aguas residuales cuenta con una laguna de oxidación y en las barriadas nuevas se han provisto sistemas de drenaje de las aguas pluviales. El resto de las zonas urbanas no cuenta con un sistema de recolección de agua residual. Por lo que para su disposición emplean los sistemas de tanques sépticos y los llamados “pozos negros” abiertos (Castro 2009).

Las principales fuentes de contaminación en la zona urbana incluyen sistemas sépticos, estaciones de gasolina, vertederos de basura, desagües de las porquerizas, contaminación en la esorrentía de los drenajes, los que a su vez son fuentes de contaminación bacterial y de nitratos. Por otro lado, en las zonas rurales el empleo de pesticidas y fertilizantes constituye una fuente de contaminación, sobretodo en las aguas de esorrentía que sirven de recarga al acuífero. Una posible, aunque menos probable fuente de contaminación lo es la intrusión salina, debido a la cercanía de ciertos núcleos poblacionales al mar.

1.4.4. Climatología.

Una de las características climatológicas distintivas de la zona de estudio es su relativa baja pluviometría, que como se ha comentado anteriormente ha venido a dar justificadamente a la región la denominación de Arco Seco. Como puede comprobarse en el mapa de la figura 2.2 el sector occidental de la península de Azuero presenta los más bajos valores de pluviometría de todo el país. Las mayores precipitaciones se dan en las cuencas del Bayano y el Chucunaque, así como en la Cordillera Central, con valores entre 2500 y 3000 mm de lluvia.

En general hay una estación seca de enero a abril y otra húmeda de mayo a diciembre. El régimen de lluvias se debe a la influencia de los vientos alisios del noreste.

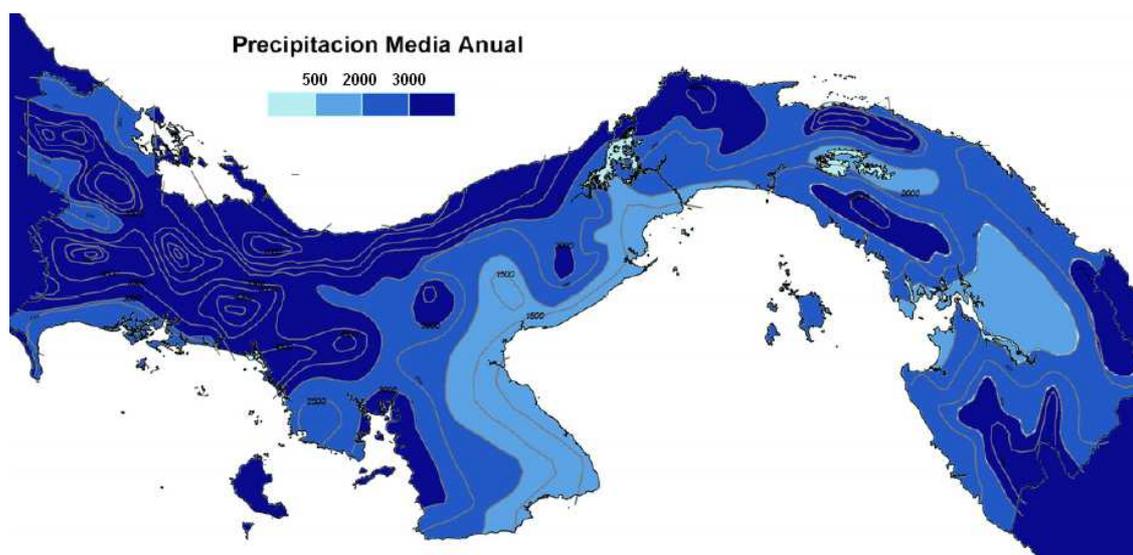


Figura 1.2. Mapa de precipitaciones anuales en Panamá (ETESA, 1999).

El clima de la zona se clasifica como de sabana tropical seco, con una temperatura media anual de 27 °C y un contraste de temperatura media entre el mes más caluroso y el más frío de menos de 5 °C (IGN, 2007).

La precipitación anual de las estaciones meteorológicas de El Cañafístulo, Pocrí y Valle Rico para los años 1997-2006 se muestran en la Figura 1.3, donde se pone de manifiesto la elevada variación interanual. Destaca por ejemplo, el máximo valor de precipitación en la estación de Valle Rico que alcanzó 2180 mm en el año 2003 con el valor mínimo de 520 mm de la estación de Cañafístulo en el año 2001. La variabilidad interanual en la estación de Pocrí es menor debido a la menor influencia del factor orográfico. La precipitación media anual o módulo pluviométrico para el conjunto de las estaciones en este periodo es de 1400 mm (ETESA, 2007).

Más del 90 % de la precipitación anual medida ocurre durante los meses de la estación lluviosa mayo-noviembre, en tanto que en los cinco meses restantes se alcanzan menos de 100 mm por mes.

La migración estacional de las masas de aire tropical del Pacífico y subtropical del Atlántico, constituyen el control dominante sobre los patrones de precipitación en la República de Panamá.

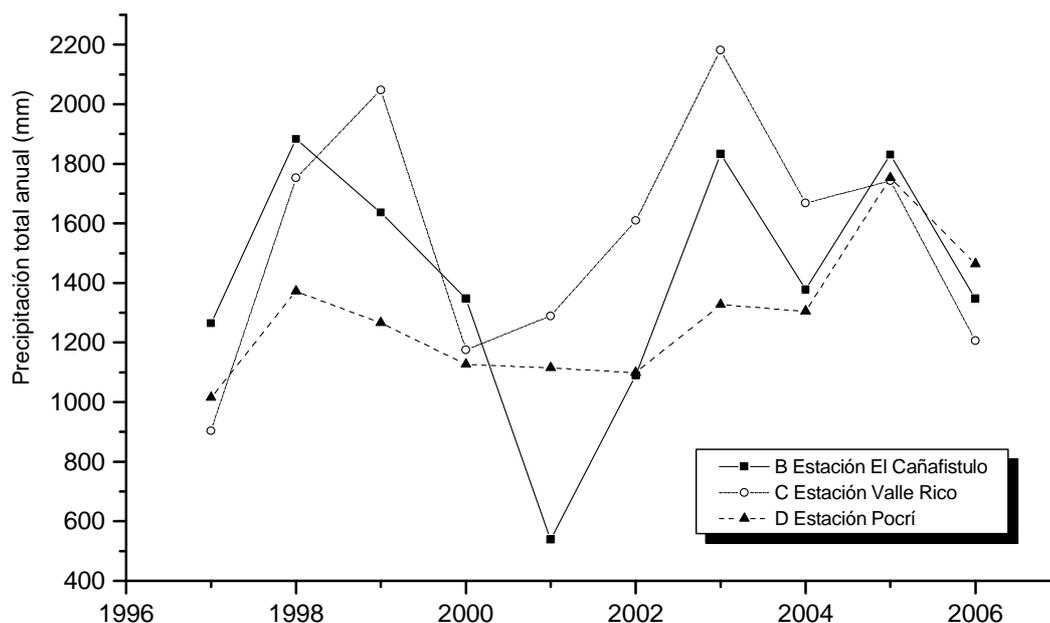


Figura 1.3. Precipitación anual total en la zona de estudio. La estación El Cañafistulo no reportó datos en parte del periodo 2001 y el 2002. Datos proporcionados por ETESA (2007).

Sumado a esto, las montañas de la Cordillera Central, que se extienden al Norte del centro de Panamá, constituyen una barrera a los vientos tibios y húmedos provenientes del Caribe. Esto causa una disminución en la precipitación de la región del Arco Seco en comparación con la costa caribeña del país.

Esta reducción implica una precipitación con un valor promedio anual de 1200 mm en la zona costera y en las montañas de la Cordillera con más de 4,000 mm (CGR, 2001).