



UNIVERSIDAD DE PANAMÁ
VICERRECTORÍA DE INVESTIGACIÓN Y POST GRADO
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES EXACTAS Y TECNOLOGÍA
ESCUELA DE FÍSICA

TESIS PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE
MAESTRÍA EN CIENCIAS FÍSICAS

“APLICACIÓN DE LOS MÉTODOS MAGNÉTICO Y GEOELÉCTRICO EN
LA EXPLORACIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS”

Presentado por

IDANIA PANAMÁ BALLESTEROS MOSCOSO

Cédula 7 – 84- 2592

PROFESOR ASESOR Dr ALBERTO CABALLERO

2015



Título de la Tesis "Aplicación de los Métodos Magnético y Geoeléctrico en la Exploración de Aguas Subterráneas"

TESIS

Sometida para optar al título de Maestría en CIENCIAS FÍSICAS

Vicerrectoría de Investigación y Postgrado

Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y Tecnología

APROBADO POR

Doctor Alberto Caballero
Presidente

Doctor Eduardo Camacho
Miembro

Mgtr. Néstor Luque
Miembro

REFRENDADO POR:

REPRESENTANTE DE LA VICERRECTORÍA
DE INVESTIGACIÓN Y POSTGRADO

FECHA:

7/8/2015

TABLA DE CONTENIDO

	PAGINA
DEDICATORIA	XVI
AGRADECIMIENTO	XVIII
CAPITULO 1 INTRODUCCIÓN	1
1 1 Aspectos Generales	2
1 2 Objetivos Generales	5
1 3 Objetivos Especificos	5
1 4 Antecedentes	5
1 5 Justificacion	7
1 6 Climatologia	8
1 7 Localizacion del Proyecto	9
CAPITULO 2 CONTEXTO GEOLOGICO E HIDROGEOLOGICO	11
2 1 Introducción	12
2 2 Aspectos generales de la geología de Panama	12
2 3 Aspectos generales de la geologia del area de estudio	13
2 4 Formaciones geologicas de la Peninsula de Azuero	15
2 5 Geologia del area de Santa Maria	18

	PAGINA
2 6 Aspectos generales sobre la hidrogeología de la región	22
2 6 1 Algunas características hidrogeológicas de las formaciones geológicas de la región	24
CAPITULO 3 METODO MAGNETICO	27
3 1 Introduccion	28
3 1 1 Aspectos generales	28
3 2 Antecedentes del Metodo geomagnetico	29
3 3 Fundamentos Fisico-matematicos del Metodo Magnetico	31
3 4 Unidades del Campo Magnetico	34
3 5 Ecuaciones basicas en geomagnetismo	36
3 6 Características Magnética del área de Santa María	36
CAPITULO 4 SONDEOS ELECTRICOS VERTICALES (SEV)	38
4 1 Introducción	39
4 2 Historia	40
4 3 SONDEOS ELECTRICOS VERTICALES (SEV)	41
4 4 La Resistividad	42

	PAGINA
4 4 1 Factores que influyen en la resistividad	43
4 4 2 Resistividad	44
4 5 Ley de Archie	45
4 6 FUNDAMENTOS MATEMÁTICOS DE MÉTODO RESISTIVO	46
4 7 Distribucion de electrodos y tipos de arreglos	49
4 8 Configuraciones electródicas y su uso	50
4 8 1 Arreglo Wenner	50
4 8 2 Arreglo Schlumberger	51
4 8 3 Arreglo Wenner – Shlumberger	52
4 9 Modelo Estratificado y Supresion	53
4 10 Pnncipio de Equivalencia y Supresión	55
4 10 1 Principio de Equivalencia	56
4 10 2 Principio de Supresión	57
4 11 Profundidad de la Investigación	57
4 12 Tomografia Eléctrica	58
4 12 1 Usos de la tomografia	59
4 13 Analisis e interpretacion de datos	60

	PAGINA
4 13 1 El Problema directo	61
4 13 2 El Problema inverso	64
4 13 3 Tecnicas de inversion en 2D	65
CAPITULO 5 METODOLOGÍA	69
5 1 Introduccion	70
5 2 Metodologia de los datos Aeromagnéticos	71
5 3 Trabajo de campo	71
5 4 Equipo utilizado	72
5 5 Metodologia de campo	72
5 6 Colocación de dispositivo y adquisicion de datos	73
5 7 Error en las mediciones	74
CAPÍTULO 6 RESULTADOS	75
6 1 Introducción	76
6 2 Resultados de los datos aeromagneticos de Santa Maria	76
6 3 Resultados de las Tomografias de Pedasi	78
6 3 1 Tomografía T1	79
6 3 2 Tomografía T2	81

	PAGINA
6 3 3 Tomografia T3	83
6 3 4 Tomografia T4	85
6 3 5 Tomografia T5	86
6 3 6 Tomografia T6	88
6 4 Resultados de las tomografia en El Rincon de Santa Maria	89
6 4 1 Tomografia TRS1	91
6 4 2 Tomografia TRS2	93
6 4 3 Tomografia TRS3	94
6 4 4 Tomografia TRS4	96
6 4 5 Tomografia TRS5	98
6 4 6 Tomografia TRS6	100
6 4 7 Tomografia TRS7	101
6 4 8 Tomografia TRS8	103
6 4 9 Tomografia TRS9	105
6 4 10 Tomografia TRS10	106
CAPITULO 7 ANALISIS DE LOS RESULTADOS	109
7 1 Introducción	110

	PAGINA
7 2 Analisis	111
CAPITULO 8 CONCLUSIONES	125
8 1 RECOMENDACIONES	130
BIBLIOGRAFIA	132

TABLA DE ILUSTRACIONES Y TABLAS

	PAGINA
FIGURA 1 1 Mapa de ubicación del Arco Seco de Panamá	3
FIGURA 1 2 Localización del área de estudio en El Rincon de Santa María	9
FIGURA 1 3 Área de la investigación corregimiento cabecera de Pedasi (C G R, 2010)	10
FIGURA 2 1 Distribución de las principales estructuras del Istmo de Panamá indicando el movimiento relativo de las placas (Adaptado de Montero 2001, Trencamp et al 2002)	13
FIGURA 2 2 Principales alineamientos estructurales en la Península de Azuero (MICI 1998, Caballero 2010)	15
FIGURA 2 3 Esquema geológico simplificado de la geología de la Península de Azuero, tomado de MICI (1991)	16
FIGURA 2 4 Esquema Geológico de la región de Santa María	20
FIGURA 2 5 Esquema Geológico del área de Pedasi, tomado del Sistema Nacional de Información Ambiental ANAM 2014	21
FIGURA 3 1 Diagrama esquemático que muestra el campo geomagnético con sus líneas de fuerzas Se muestra el norte geográfico, el norte magnético, la inclinación y la declinación del campo magnético total (adaptado de Roy, 2008, Telford et al 1990)	34
FIGURA 4 1 Disposición básica de los electrodos para el método resistivo	43
FIGURA 4 Disposición de electrodos en un arreglo	

	PAGINA
Wenner FIGURA	50
FIGURA 4 3 Disposicion de electrodos en un arreglo Schlumberger	51
FIGURA 4 4 Disposicion de electrodos en un arreglo Wenner – Schlumberger	52
FIGURA 4 5 Distribucion espacial del subsuelo de acuerdo a la distribucion de la resistividad (a) Homogenea, (b) vertical, (c) distribución horizontal y (d) distribucion irregular (Adaptado de Caballero 2010)	54
FIGURA 6 1 Anomalias aeromagneticas del Sector de Santa Maria	77
FIGURA 6 2 Mapa en relieve de anomalias aeromagneticas de Santa Maria Las letras A, B y C indican grupos de alineaciones positivas en la direccion NW-SE, y negativas en las direcciones NW-SE y NE-SW La flecha señala la dirección de iluminación del mapa	77
FIGURA 6 3 Mapa de sitios de las Tomografias	79
FIGURA 6 4 Sitio de tomografia T1 y pozo existente en el área	80
FIGURA 6 5 <i>Interpretación de la T1 Dispositivo Wenner-Schlumberger</i>	80
FIGURA 6 6 <i>Tomografía T1 Dispositivo Wenner</i>	81

	PAGINA
FIGURA 6 7 <i>Drenaje existente en el sitio donde se realizó la tomografía T2</i>	82
FIGURA 6 8 Suelo arcilloso de color pardo encontrado en el área	82
FIGURA 6 9 Interpretación de la Tomografía T2	83
FIGURA 6 10 Sitio en donde se realizó la Tomografía T3	84
FIGURA 6 11 Interpretación de la Tomografía T3	84
FIGURA 6 12 Fotografía del área donde se realizó la Tomografía T4	86
FIGURA 6 13 Interpretación de la Tomografía T4	86
FIGURA 6 14 <i>Sitio e imágenes donde se realizó la Tomografía T5</i>	87
FIGURA 6 15 <i>Interpretación de la Tomografía T5</i>	87
FIGURA 6 16 Fotografías del sitio donde se realizó la Tomografía T6 Se observa un terreno	88
FIGURA 6 17 Interpretación de la Tomografía T6	89
FIGURA 6 18 Mapa de ubicación de las Tomografías	90
FIGURA 6 19 Tomografía RS1 Arreglo Wenner Inversión robusta	92
FIGURA 6 20 Tomografía RS1 Arreglo Wenner	92
FIGURA 6 21 Tomografía RS1 Arreglo Wenner – Schulmberger con 10 m de separación	93
FIGURA 6 22 Tomografía RS2, arreglo Wenner	94

	PAGINA
FIGURA 6 23 Sitio de la tomografía RS3	95
FIGURA 6 24 Tomografía RS3, dispositivo Wenner con 10 m de separacion electrodica	96
FIGURA 6 25 Sitio de la tomografía RS4	97
FIGURA 6 26 Tomografía RS4 Suavizado forzado e inversion robusta	98
FIGURA 6 27 Sitio de la Tomografía RS5	99
FIGURA 6 28 Perfil de la tomografía RS5, inversion mediante suavizado forzado	100
FIGURA 6 29 Disposición de cables Tomografía RS6	101
FIGURA 6 30 Tomografía RS6	101
FIGURA 6 31 Tomografía RS7	102
FIGURA 6 32 Perfil de Tomografía RS7	103
FIGURA 6 33 Sitio de la Tomografía RS8	104
FIGURA 6 34 Tomografía RS8 con inversion por suavizado forzado y robusta	105
FIGURA 6 35 Sitio de tomografía RS9	106
FIGURA 6 36 Tomografía RS9	106
FIGURA 6 37 Tomografía RS10	107
FIGURA 6 38 Tomografía RS10	108
FIGURA 7 1 Tomografía T1 Arreglo Wenner-Schlumberger	112
FIGURA 7 2 Tomografía T1 Arreglo Wenner	113
FIGURA 7 3 Diseño de Pozo 3-2002, existente en el área de la Tomografía T1	113

	PAGINA
FIGURA 7 4 Tomografía T2	114
FIGURA 7 5 Tomografía T4	115
FIGURA 7 6 Tomografía T3	115
FIGURA 7 7 Registro de pozo 4-2000, entrada al Rincon, proximo al area donde se realizo la tomografía RS1	116
Tabla 4 1 RESISTIVIDADES DE ALGUNAS ROCAS Y SEDIMENTOS (Adaptado de Telford, 1990 y Caballero 2010)	45
Tabla 6 1 Denominación, coordenadas y sitios de las tomografías realizadas en Pedasi	78
Tabla 6 2 Coordenadas y ubicación de sitios de tomografías de El Rincón	90
FIGURA 7 8 Tomografía RS1 arreglo Wenner-Schulmberger	117
FIGURA 7 9 Litología del Pozo 2-98 en la entrada de El Rincón, proximo al sitio de la Tomografía RS6	118
FIGURA 7 10 Tomografía RS6	118
FIGURA 7 11 Litología del pozo 6-98 próximo a la iglesia	119
FIGURA 7 12 Tomografía RS3 realizada en las cercanías de la línea en donde se realizó el esquema geológico	120
FIGURA 7 13 Esquema geológica obtenido a través de los resultados de las tomografías	121
FIGURA 7 14 Esquema Geológico carretera Nacional, Chitré-Divisa Entrada a El Rincón	122

FIGURA 7 15 Tomografía RS4, carretera Nacional hacia Santa María	122
FIGURA 7 16 Perfil Litológico de pozo 3-2000 carretera Nacional entrada a El Rincón	123
FIGURA 7 17 Tomografía RS2, carretera Nacional entrada El Rincón	124

DEDICATORIA

CON TODO MI AMOR A
MI PADRE EUCLIDES BALLESTEROS (q p d), A MI MADRE
DALLYS HAYDEÉ MOSCOSO DE BALLESTEROS
Y A MI ADORADO HIJO PEDRO BATISTA

AGRADECIMIENTOS

Primero a Dios por haberme dado la vida, salud y perseverancia para el logro de este sueño tan anhelado

A mi asesor, Dr Alberto Caballero, por haber creído en mí, por su paciencia y por todas sus enseñanzas

A mi Madre, mis hermanos, sobrinos muy especialmente a mi hijo por su apoyo incondicional

Al Dr Gerardo Delgado Barrio por su apoyo a que continuara y culminara este trabajo

Al Magister Arkin Tapia, del Instituto de Geociencias de la Universidad de Panamá, por su apoyo en la geología y la geomorfología del área de estudio

A mis profesores de los cursos de la maestría, mil gracias

A Humberto Edward por su contribución con los perfiles de pozos

A la SENACYT por su apoyo al proyecto ITE-10-05, en el que se encuentra enmarcada esta investigación

A todos los que de una u otra forma han contribuido para que este sueño se hiciera una realidad, mil gracias, Dios les bendiga

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

**"APLICACIÓN DE LOS MÉTODOS MAGNÉTICOS Y GEOELÉCTRICOS EN LA
EXPLORACIÓN DE AGUAS SUBTERRANEAS"**

1 1 Aspectos generales

El agua representa uno de los recursos naturales más importantes para la vida y el desarrollo de los seres humanos, además de ser un elemento fundamental en el desarrollo de la agroindustria y el transporte

El rápido crecimiento de la población mundial, lleva a la par un crecimiento en la agricultura y la industria, dando como resultado un incremento en la demanda de agua

Aproximadamente el 95 % del agua sobre la Tierra es agua de mar, 2% es agua no utilizable pues se encuentra en estado sólido en glaciares o en los casquetes polares y el resto, casi en su totalidad, es agua subterránea (Price 2003)

Estas cifras demuestran la importancia de las aguas subterráneas, consideradas la fuente de agua dulce más grande existente y en algunos lugares es la única fuente con que se cuenta, ya que no está uniformemente distribuida en el planeta

Debido a sus múltiples usos y que no es un recurso ilimitado sus fuentes tienden a agotarse y además son propensas a la contaminación. Por estas razones son un recurso valioso que debe explotarse de manera responsable, evitando al máximo su contaminación

Nuestro País no escapa de esta realidad y según el Instituto de Acueductos y Alcantarillados Nacionales (IDAAN), el 6,5% del agua utilizada en Panamá para el abastecimiento doméstico se obtiene de fuentes subterráneas (ANAM 2013)

“Aplicación de los métodos magnéticos y geoelectrónicos en la exploración de aguas subterráneas”

En muchos lugares del interior, sobre todo en la estación seca, los pozos tienden a bajar su nivel y en situaciones extremas se agotan. Esta situación obliga a buscar lugares con potencial para nuevas perforaciones.

Este proyecto se lleva a cabo en la Península de Azuero, en la región conocida como el “Arco Seco” de Panamá. Esta región incluye parte de las provincias de Herrera, Los Santos, Veraguas y Coclé, tal y como se muestra en la figura 1.1. Tiene una extensión aproximada de 18 000 km², en ella se encuentran establecidas importantes ciudades del interior del país en las que habitan alrededor de 250 000 personas (ANAM 2013).



FIGURA 1.1: Mapa de ubicación del Arco Seco de Panamá

La presencia del agua subterránea en las rocas está controlada por la geología, la hidrología y su interrelación con la topografía (Rodríguez 2001), esto obliga a incluir estos aspectos en estudios cuyo objetivo sea la determinación de lugares propicios para este fin.

El estudio del subsuelo en forma directa no es posible, lo cual hace necesario la aplicación de métodos indirectos para determinar sus propiedades físicas e hidrológicas. En este sentido los métodos de exploración geofísicos son metodologías ampliamente utilizadas a nivel mundial con esta finalidad (Caballero 2010)

Los métodos de exploración geofísica son empleados en la investigación del subsuelo en estudios geológicos, arqueológicos, de ingeniería, ambientales e hidrológicos. Su uso es muy común para el estudio de aguas subterráneas, para su localización y protección. Dentro de estos métodos están el magnético y el electroresistivo.

Esta investigación integra estudios geofísicos, geológicos y el análisis de perforaciones realizadas en el área de estudio. Se pretende establecer una metodología que pueda ser utilizada en lugares donde sea necesario realizar una perforación. Su aplicación se amplía a la realización de estudios de las zonas de recarga o de contaminación de acuíferos.

En nuestro país, estas técnicas se han utilizado en diversos escenarios, tal es el caso de estudios en el Arco Seco de Panamá (Caballero 2010, ETESA 1999, ANAM 2013)

En este estudio se emplearon los métodos Magnético a nivel regional y el Geoelectrónico a nivel local.

El uso de estos métodos permite hacer análisis de las características físicas de las rocas del subsuelo y la posibilidad que ellas almacenen suficiente agua para su explotación. Es indispensable que estos métodos se complementen con la información geológica de las perforaciones para hacer interpretaciones adecuadas (Ruiz y González 2000)

1.2. Objetivos generales

- **Determinar estructuras geológicas que constituyan reservorio de agua subterránea**
- **Proponer una metodología de investigación aplicable a zonas con características geológicas similares**

1.3. Objetivos específicos.

- **Determinar los principales alineamientos estructurales de la zona de Santa María**
- **Establecer mediante el empleo de la tomografía eléctrica, lugares propicios para la perforación de pozos**
- **Determinar la presencia de acuíferos en zonas de "rocas duras"**
- **Sistematizar la información geológica de las áreas de estudio**

1.4. Antecedentes.

El aprovechamiento de las aguas subterráneas tiene gran importancia a nivel mundial, especialmente en zonas áridas o en lugares en donde es la única fuente disponible

En la región del *Arco Seco de Panamá*, con un amplio uso de las aguas subterráneas, se presentan problemas como la degradación de la calidad y la sobreexplotación. Esto sucede principalmente en las zonas

costeras debido a esto, se provoca descensos en el nivel freático, lo cual pone en riesgo las reservas de aguas subterráneas en la región (ANAM 2013)

El estudio se realiza en los distritos de Santa María, en la Provincia de Herrera y en el distrito de Pedasí, en la Provincia de Los Santos, donde el abastecimiento de agua potable depende de la extracción de aguas subterráneas

El Distrito de Santa María se localiza al Noreste de la Provincia de Herrera, en la cuenca del Río Santa María. Cuenta con una población de 7 421 habitantes, según el censo de población y vivienda de la Contraloría General de la República (C G R) del 2010

La región se caracteriza por tener zonas bajas y depresiones, propensas a inundaciones en época de lluvia. Estas se acumulan en las ciénagas de Las Macanas y Las Pitahallas

El distrito de Pedasí, según el censo de población y vivienda del 2010, tiene una población aproximada de 4 275 habitantes (C G R 2010). Es una región costera de bajo relieve y en los últimos años ha tenido un auge como destino turístico. Como resultado de esto, su población es variable. En épocas de mayor afluencia de personas, sobre todo en la estación seca, el nivel de los pozos tiende a disminuir, produciéndose en muchas ocasiones, desabastecimiento de agua

Estas razones obligan, en ambas regiones, a buscar lugares para perforación de nuevos pozos que den respuesta a la necesidad de abastecimiento de agua a la población

1.6 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 (geoeléctricos y sísmicos) Mediante estas metodologías tradicionales, los resultados no siempre han sido los esperados y generalmente el rendimiento de los pozos es bajo y en algunos casos se agotan (Caballero 2010)

Problemas como la deforestación, la baja precipitación pluvial, y en muchas ocasiones prolongadas sequías, provocan que en el área de estudio, durante la estación seca, las fuentes superficiales reduzcan significativamente su nivel

La perforación de pozos suele ser costosa, por lo que ésta debe realizarse con criterios científicos a fin de garantizar su uso sostenible Los procedimientos hidrogeológicos que incluyen las técnicas geofísicas y geológicas, representan una alternativa para dar respuesta a esta necesidad Estas técnicas permiten caracterizar el acuífero y tomar una mejor decisión al momento de realizar la perforación

Esta investigación se basa en la utilización de métodos magnético y geoeléctrico, específicamente el uso de la tomografía eléctrica, complementados con la información obtenida en pozos perforados por el Instituto de Acueductos y Alcantarillados Nacionales (IDAAN)

1.6 Climatología.

El clima es un factor muy importante en la formación de las aguas subterráneas

Dos factores que determinan el clima de Panamá son su posición geográfica y su relieve (ETESA 1999)

Panamá se localiza en la Zona Intertropical entre los 7° 12' y los 9° 39' de latitud Norte. En ella se distinguen tres zonas climáticas (Clasificación según W Köppen): clima tropical muy húmedo, clima tropical de sabana y clima tropical húmedo con influencia del monzón. La temperatura promedio anual varía de 22,5 a 27 °C (ANAM 2013)

En Panamá en general hay una estación seca de enero a abril y otra húmeda de mayo a diciembre. El régimen de lluvia se debe a la influencia de los vientos alisios del NE (Caballero 2010)

Las lluvias en nuestro país se caracterizan por ser intensas y de corta duración. Los niveles de precipitación media anual están comprendidos entre 1 000 y 7 000 mm (ETESA 1999)

La región de Azuero, donde se realiza esta investigación, ubicada dentro del Arco Seco de Panamá, tiene valores de precipitación anuales que varían de 1 600 a 4 500 mm. Las mayores se observan en las partes altas al Norte de las cuencas de los ríos Santa María y San Pablo. Las menores precipitaciones, entre 1 300 y 1500 mm/año se observan en los alrededores de la Bahía de Panta (ANAM 2013)

1.7. Localización del proyecto.

El distrito de Santa María se encuentra localizado al Noreste de la Provincia de Herrera. Limita al Norte con la Provincia de Coclé, al este con el Océano Pacífico y al Sur con los corregimientos de Cabuya y Potuga.

El área de estudio cubre los poblados de El Rincón, El Rodeo y en la cercanía a la Ciénaga de Las Macanas. La figura 1.2, muestra en el recuadro el en área donde se realizó.

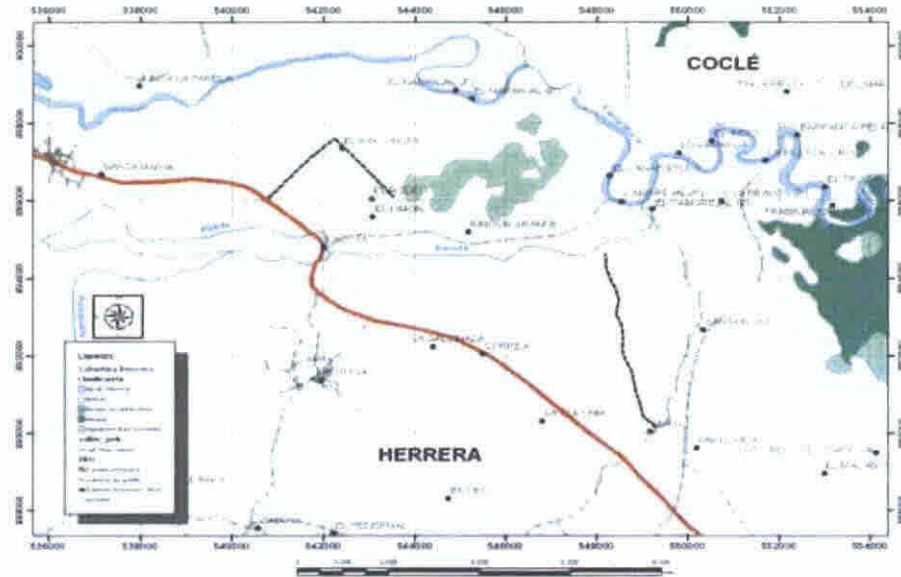
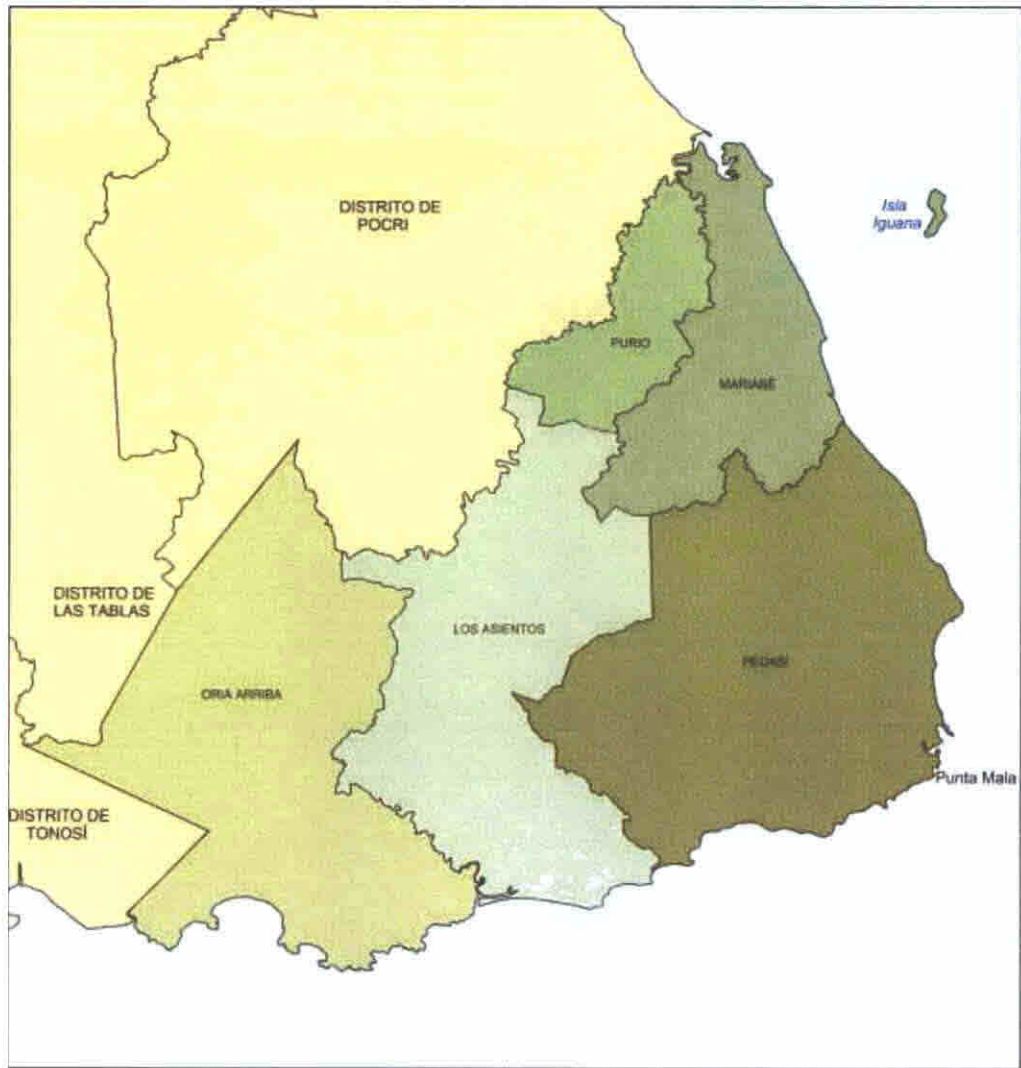


FIGURA 1.2. Localización del área de estudio en El Rincón de Santa María

El estudio también se realiza en el poblado de Pedasí, en el Distrito de Pedasí, ubicado en el extremo sur oriental de la Provincia de Los Santos (Figura 1.3).

**DIVISION POLÍTICA ADMINISTRATIVA DE LA REPÚBLICA DE PANAMÁ,
PROVINCIA DE LOS SANTOS, DISTRITO DE PEDASI
POR CORREGIMIENTO AÑO: 2010**



INEC
INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y CENSO

ELABORADO POR LA SECCIÓN DE CARTOGRAFÍA
INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y CENSO
DIRECCIÓN GENERAL DE LA REPÚBLICA

FIGURA 1.3. Área de la investigación corregimiento cabecera de Pedasi (Adaptado de C.G.R, 2010)

CAPÍTULO 2

CONTEXTO GEOLÓGICO E HIDROGEOLÓGICO

***APLICACIÓN DE LOS MÉTODOS MAGNÉTICOS Y GEOELÉCTRICOS EN LA
EXPLORACIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS***

2.1 Introducción.

La diversidad de factores que influyen en la presencia de aguas subterráneas y las muchas formas en que ellos puedan combinarse provoca una gran dificultad al establecer reglas generales en un estudio para detectar la presencia de ellas. Solamente el conocimiento completo de la geología y la hidrología del área puede identificar la situación, si los datos son bien interpretados y relacionados con la topografía (Rodríguez, 2001)

De allí la importancia de resaltar las principales características geológicas del área de estudio

2.2 Aspectos generales de la geología de Panamá

La evolución geológica de Panamá está íntimamente relacionada con la evolución del Istmo Centroamericano (Montes et al 2012, Buchs et al 2011)

Panamá está ubicada en la micro placa llamada Bloque de Panamá, la cual se encuentra rodeada de cuatro placas tectónicas: al norte la placa del Caribe, al Sur, la placa la Placa de Nazca, al Sudoeste la Placa de Cocos y al este la Placa Suramericana (Caballero 2010, Camacho et al 2003) (Figura 2.1)

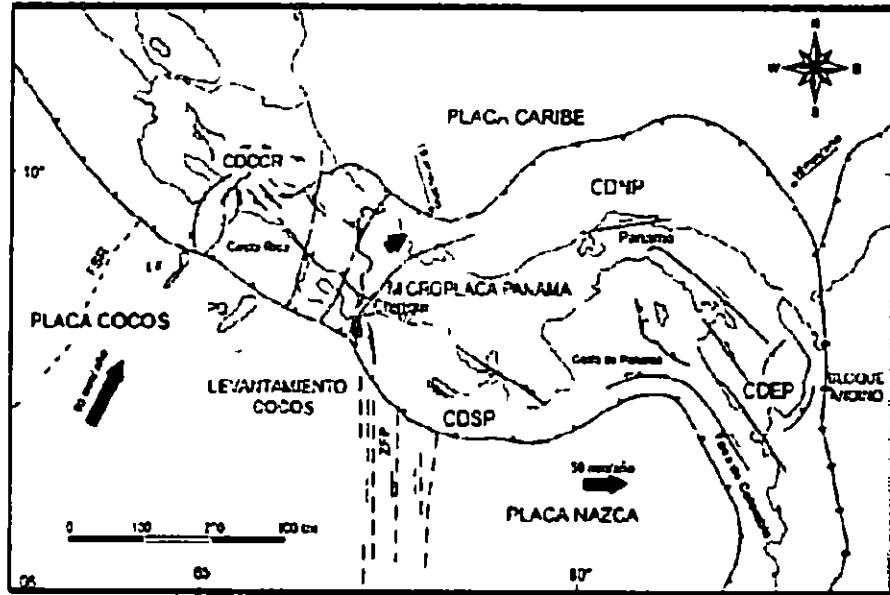


FIGURA 2.1 Distribución de las principales estructuras del Istmo de Panamá indicando el movimiento relativo de las placas (Adaptado de Montero 2001, Trencamp et al. 2002)

Las rocas en el territorio de la República de Panamá varían en edad desde el Cretáceo al Reciente e incluyen tanto sedimentos marinos como terrestres y rocas intrusivas y extrusivas (ETESA 1999, Bacon et al. 2012)

El Istmo de Panamá tiene su origen a partir de Corteza Oceánica (Kesler, 1978, Caballero 2010). Las rocas volcánicas y sedimentarias se depositaron durante el Cretácico Superior (del Giudice & Recchi 1969, Armbrust et al. 2003)

2.3 Aspectos generales de la geología del área de estudio

La geología del istmo de Panamá es conocida de forma parcial, sobre todo en aquellas zonas que han sido de interés minero o para las obras del canal de Panamá. En este sentido se han realizado estudios para propósitos de explotación minera. El conocimiento que se tiene proviene, principalmente,

del mapa geológico a escala 1 250000 (MICIN 1991), del mapa Hidrogeológico de Panamá a escala de 1 1 000 000 (ETESA 1999) Se han realizado estudios que intentan explicar la evolución del Istmo en los que se ha determinado en profundidad las rocas constitutivas (Bacon et al 2012, Buchs et al 2011, Hidalgo et al 2011)

Desde el Cretácico hasta el tiempo Reciente la geología del Arco Seco se caracteriza por la periódica acumulación de lavas, intrusivos y sedimentos de origen volcánico marino, transportados por flujos fluviales (ANAM 2010, Bacon et al 2012) Estos procesos están estrechamente relacionados con la evolución del Istmo Centroamericano

En el área suroccidental de la Península de Azuero se han encontrado afloramiento de rocas básicas, tales como volcanitas básicas y ultrabásicas pertenecientes al Cretácico, las cuales, aparentemente, tienen continuidad en el Océano Pacífico (Ferenčić 1971, Buchs et al 2011) También al sur de la Península de Azuero se han identificado flujos de lava y basaltos almohadillados (Armbrust et al 2003, Bacon et al 2012) rocas volcánicas pertenecientes al Terciario Del mismo periodo se han encontrado al Norte, Este y en la parte central de la Península, tobas continentales

Los sedimentos más abundantes en la zona son lutitas, areniscas, calizas, tobas y piroclastos (Caballero 2010)

Es importante el análisis las estructuras geológicas de una zona para establecer su modelo geológico La Península de Azuero presenta estructuras lineales con rumbo Norte – Sur, Este – Oeste, NW – SE y WNW – ESE Estas estructuras se caracterizan por fallas y fracturas en diversas direcciones (figura 2 2)

Las estructuras lineales con rumbo E-W, están constituidas por fracturas y/o fallas con dirección Este-Oeste, paralelas a las zonas magnéticas del fondo del Pacífico (Mapa Aeromagnético de la Zona de Azuero) (del Giudice & Recchi 1969) Las Estructuras lineales con rumbo WNW-ESE, se ubican principalmente en la parte SW de la Península de Azuero (MICI 1998)

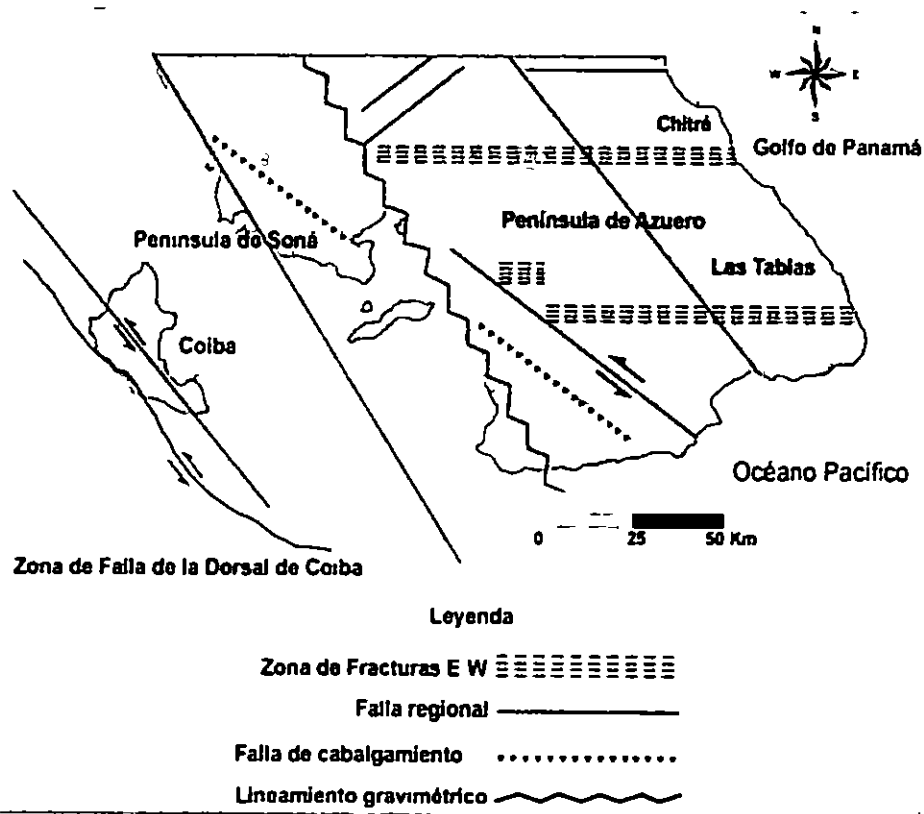


FIGURA 2 2 Principales alineamientos estructurales en la Península de Azuero (MICI 1998 Caballero 2010)

2 4 Formaciones geológicas de la Península de Azuero

En la Península de Azuero se han identificado diversas formaciones geológicas de acuerdo al mapa Geológico de Panamá (MICI 1998) Las principales formaciones geológicas identificadas en el área de estudio se

presentan en la figura 2.3, estas son:

- a. Formación Playa Venado (K - VE)
- b. Formación Valle Riquito (TEO - RIQ)
- c. Formación Macaracas (TO - MAC)
- d. Formación Rio Hato (QR- Aha)

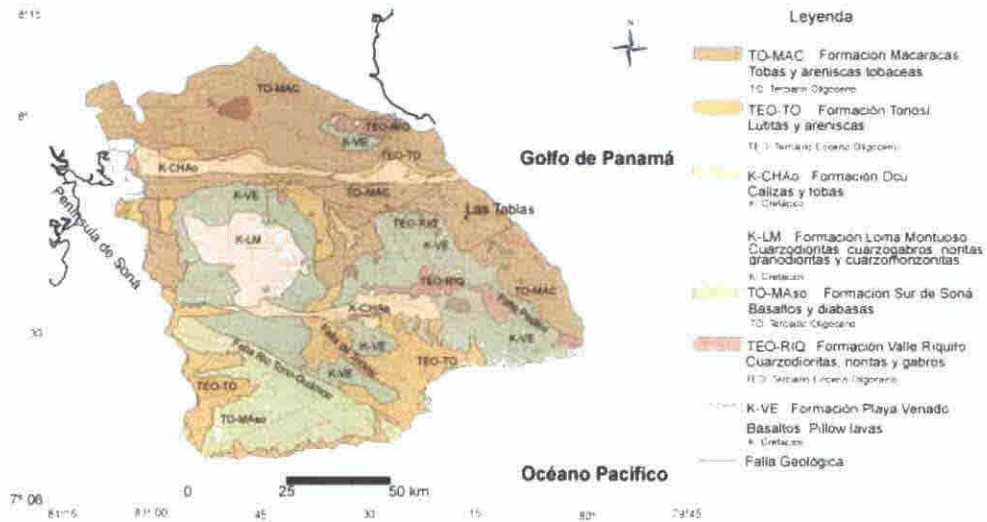


FIGURA 2.3. Esquema geológico simplificado de la geología de la Península de Azuero, tomado de MICI (1991).

a. **Formación Playa Venado (K - VE)**

Esta formación está compuesta por rocas de origen volcánico. Se encuentran rocas que van desde el Cretácico hasta el terciario (Oligoceno-Mioceno) tales como andesitas, basaltos, aglomerados, piroclásticos, tobas y gabros. Constituye el basamento sobre el que descansa la formación Macaracas. Esta formación contiene las rocas volcánicas más antiguas, de edad Cretácica (Buchs et al. 2011) y tiene una amplia distribución en el ámbito sur de la Península (del Giudice & Recchi 1969).

La principal característica de su evolución es su intensa y continua actividad volcánica con emisiones de tobas y lavas basálticas y andesíticas basálticas

b Formación Valle Riquito (TEO - RIQ)

Esta formación de orden intrusivo está constituida por cuarzodiontos, nontas y gabro. Cubre una amplia zona paralela a la carretera Las Tablas – Pedasí desde el Río Mensabé hasta el Río Pocrí y una amplia región de cerros y colinas de Valle Rico y Valle Riquito (Buchs et al 2011)

c Formación Macaracas (TO - MAC)

Esta formación contiene rocas tanto volcánicas como sedimentanas, tales como aglomerados, tobas continentales, areniscas, calizas, lutitas, conglomerados, piroclásticos andesitas y basaltos

Esta formación de origen sedimentario, es la más extensa del área de estudio. Son rocas del Terciario Oligoceno. Los sedimentos pertenecen a depósitos marinos y terrestres consistiendo los últimos de clásticos volcánicos, despojos y sedimentos marinos de aguas poco profundas

Muchas de las poblaciones de la Península de Azuero, que se encuentran ubicadas dentro de las Formaciones del Grupo Macaracas, se abastecen de aguas subterráneas (ETESA 1999). Se trata de depósitos arcillo – limosos a limo – arcillosos con limitado contenido de arenas

Los depósitos de esta formación son pocos o medio permeable y no permiten extraer grandes caudales, excepto cuando se presentan grietas o

fracturas (ANAM 2013)

d Formación Río Hato (QR- Aha)

Esta formación contiene rocas sedimentanas del Cuaternario Reciente, tales como conglomerados, areniscas, lutitas, tobas, areniscas no consolidadas y pómez (ETESA 1999)

2 5 Geología del área de Santa María

La región de Santa María y principalmente el área de estudio, comprende zonas bajas o llanuras las cuales son inundadas año tras año por las crecidas del Río Santa María. Corresponde a una serie de terrenos de origen de un karst cubierto, camuflado bajo un flujo de tobas, y materiales volcánicos y secuencias vulcano-sedimentanas (Sánchez 2011)

En esta región afloran rocas volcánicas no consolidadas, de edad cuaternaria, representadas por las formaciones Río Hato (QR-Aha) (figura 2 4), constituida por conglomerados, areniscas, lutitas, tobas, areniscas no consolidadas, pumitas y materiales piroclásticos provenientes del macizo volcánico del valle de Antón

En el Terciario afloran rocas que constituyen la Formación Macaracas (TO-MAC), constituida por tobas y areniscas tobáceas

En el área de Pedasí la geología está conformada en su mayoría por las formaciones Macaracas y Playa Venado (figura 2 5)

La geología de esta región es similar a la del resto de la Provincia de Los Santos, tal y como puede verse en la figura 2 3. La zona está cruzada