



MODELO HIDROGEOLÓGICO CONCEPTUAL DE LA CUENCA DEL RÍO PARITA, REPÚBLICA DE PANAMÁ

HYDROGEOLOGICAL CONCEPTUAL MODEL OF PARITA RIVER WATERSHED, REPUBLIC OF PANAMA

MÁSTER UNIVERSITARIO EN HIDROLOGÍA Y GESTIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS

Presentado por:

D. DAVID ENRIQUE TREJOS HURTADO

Dirigido por:

Dr. FRANCISCO JAVIER MONTALVAN TOALA

Dr. FRANCISCO CARREÑO CONDE

Alcalá de Henares, a 14 de septiembre de 2022

AGRADECIMIENTOS

Le doy gracias a Dios por ponerme ángeles en el camino, porque por cada uno de sus ángeles que aportaron su grano de arena no hubiese sido posible la culminación del Máster.

A Johnny Cuevas, por ser la primera persona que me encaminó en la hidrología.

A la escuela de posgrado, por haberme dado la maravillosa oportunidad de entrar a la Universidad Alcalá de Henares y Universidad Rey Juan Carlos.

Al director Alberto Del Villar García y al coordinador Francisco Carreño por la excelente atención, organización y paciencia que tuvieron con los grupos de estudiantes durante la fase online y la fase presencial en la Comunidad de Madrid en una situación de incertidumbre con el COVID-19.

A los tutores, Francisco Montalvan y también al Coordinador Francisco Carreño, por su orientación durante la elaboración del Trabajo Final de Máster.

A todos los profesores por su paciencia, comprensión, atención y disponibilidad a pesar de la diferencia de horarios.

A mis compañeros de grupo de gran calidad humana tanto en España como Latinoamérica, con los cuales debatimos bastantes ideas y lo que aprendí de cada uno. Un agradecimiento especial a Goethe y Claudia por haberme dado críticas constructivas para mejorar el trabajo.

Al Lic. Francisco Taylor de MiAmbiente, por haberme compartido información digital para la elaboración de mapas, documentación técnica y base de datos hidrogeológica recopilada por la empresa Nómadas de Centroamérica.

Al Ing. Manuel Ruiz del MIDA por compartirme el Informe de Pozos Digitalizado y la base de datos hidrogeológica en la Provincia de Herrera.

Al Ing. Abel Castillo del Instituto de Acueductos y Alcantarillados Nacionales, por compartirme los informes de geofísica y de perforación de pozos en la parte baja de la Cuenca del Río Parita.

Al Ing. Walter Myers del Instituto Geográfico Nacional Tommy Guardia por su generosidad en haberme facilitado la información digital de los mapas topográficos de la Cuenca del Río Parita.

A mis padres y hermanos, por siempre darme ánimo y motivación a los desafíos que tengo en la vida.

A mi abuela Vital, que desde el cielo estoy seguro de que está orgullosa de mí.

Un agradecimiento especial a mi prometida Yaneth Reyes, que ha sido una gran fuente de inspiración y motivación durante todo el transcurso del Máster. Ella ha sido la gran responsable en animarme a entrar al Máster y tener siempre fe en mí. Agradezco enormemente su comprensión cuando realizaba los ejercicios, los exámenes y por todo el tiempo que no pudimos compartir.

TABLA DE CONTENIDO

| | |
|--|-----------|
| RESUMEN | 1 |
| 1. INTRODUCCIÓN | 2 |
| 2. OBJETIVOS | 5 |
| 3. METODOLOGÍA | 6 |
| 4. MATERIALES | 7 |
| 4.1. Descripción General de la Cuenca del Río Parita..... | 7 |
| 4.2. La Región del Arco Seco de Panamá..... | 9 |
| 4.3. Geología Regional..... | 10 |
| 4.4. Geología Estructural..... | 12 |
| 4.5. Geofísica..... | 13 |
| 4.6. Geomorfología..... | 20 |
| 4.7. Climatología | 21 |
| 4.8. Información Cartográfica Básica..... | 22 |
| 4.9. Información Meteorológica básica | 23 |
| 4.10. Información Hidrológica básica..... | 23 |
| 4.11. Estimación de la Precipitación Promedio Mensual y Máxima | 24 |
| 4.12. Estimación del Caudal Promedio, Mínimo y Máximo | 25 |
| 4.13. Hidrogeología..... | 26 |
| 4.14. Inventario de los Puntos de Agua..... | 31 |
| 4.15. Pozos de Monitoreo | 32 |
| 4.16. Modelo Geológico | 33 |
| 4.17. Modelo Hidráulico..... | 34 |
| 4.18. Ciclo Hidrológico | 35 |
| 4.19. Evapotranspiración Potencial Mensual..... | 37 |
| 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 38 |
| 6. CONCLUSIONES | 65 |
| 7. BIBLIOGRAFÍA | 68 |
| 8. ANEXOS | 72 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1 Localización regional de la Cuenca del río Parita. Adaptado de Mi Ambiente..... | 8 |
| Figura 2 Localización del Arco Seco en la República de Panamá. Adaptado de MiAmbiente.... | 9 |
| Figura 3 Placas tectónicas Nazca (color celeste) y de Cocos (color crema) por el cual se estableció la teoría de formación geológica. Fuente USGS, 2017..... | 10 |
| Figura 4 Geología de la Cuenca del río Parita. Fuente: Adaptado del MICI, 1990..... | 11 |
| Figura 5 Fallas interpretadas de la Cuenca del Río Parita. Adaptado de STRI, 2021..... | 12 |
| Figura 6 Configuración de Schlumberger. Fuente: Nómadas de Centroamérica, 2010. | 14 |
| Figura 7 Localización de los Sondeos Eléctricos Verticales en la Cuenca del Río Parita. Adaptado de Nómadas de Centroamérica, 2010..... | 15 |
| Figura 8 En orden de arriba hacia abajo se muestra el gráfico de resistividades y el perfil interpretativo geológico – geofísico de los sondeos A05 SEV 01 y A05 SEV 02 del Corte A5. Fuente: Nómadas de Centroamérica, 2010..... | 17 |
| Figura 9 Bloques aislados de granodiorita de grano medio. Fuente: Infinity Technology No Limits, 2017. | 18 |
| Figura 10 Localización de las tomografías eléctricas en la parte baja de la Cuenca del Río Parita. Adaptado de Infinity Technology No Limits, 2017. | 19 |
| Figura 11 Resultado de la tomografía en Sección Parita-Sector La Bota ubicado en la parte baja de la Cuenca del Río Parita. Fuente: Infinity Technology No Limits, 2017. | 20 |
| Figura 12 Geomorfología de la Cuenca del río Parita. Adaptado de IGTG, 2007. | 21 |
| Figura 13 Tipos de Clima de la Cuenca del Río Parita según la clasificación de Köppen. Adaptado de IGTG, 1988. | 22 |
| Figura 14 Localización de las estaciones hidrometeorológicas de la Cuenca del Río Parita. Adaptado de ETESA. | 24 |
| Figura 15 Precipitación Promedio y Máxima de la Estación Llano De La Cruz. Fuente: ETESA. | 25 |
| Figura 16 Caudales Mensuales de la Estación La Valdesa. Fuente: ACP, 2020. | 26 |
| Figura 17 Mapa Hidrogeológico de la Parte Alta, Media y Baja de la Cuenca del Río Parita. Adaptado de ETESA, 1999. | 28 |
| Figura 18 Localización de los 510 Pozos georreferenciados en la Cuenca del Río Parita. Adaptado del MIDA, 2021. | 32 |
| Figura 19 Localización de los 22 Pozos de Monitoreo en la Provincia de Herrera. Adaptado de MIDA, 2021..... | 33 |

| | |
|--|----|
| Figura 20 Localización de los Registros de perforaciones en la Cuenca del Río Parita. Adaptado de MIDA, 2021..... | 34 |
| Figura 21 Esquema del Ciclo Hidrológico. Modificado de Martínez-Alfaro y cols, 2006..... | 36 |
| Figura 22 Localización de la Estación Meteorológica Los Santos. Adaptado de ETESA. | 37 |
| Figura 23 Isoyetas de la Parte Alta, Media y Baja de la Cuenca del Río Parita. | 39 |
| Figura 24 Gráfico de Índice del Niño Oceánico. Fuente: NOAA, 2022..... | 43 |
| Figura 25 Caudales Promedios Mensuales de la Estación La Valdesa. Fuente: ACP, 2020. ... | 45 |
| Figura 26 Perfiles Hidrogeológicos en la Parte Alta, Media y Baja de la Cuenca del Río Parita. | 50 |
| Figura 27 Perfil Hidrogeológico de la Parte Alta de la Cuenca del Río Parita. | 51 |
| Figura 28 Perfil Hidrogeológico de la Parte Media de la Cuenca del Río Parita..... | 51 |
| Figura 29 Perfil Hidrogeológico de la Parte Baja de la Cuenca del Río Parita. | 52 |
| Figura 30 Nivel Piezométrico en el mes de mayo de 2021. | 53 |
| Figura 31 Líneas de flujo en el mes de mayo de 2021. | 54 |
| Figura 32 Cambios del Nivel Piezométrico entre los meses de mayo y octubre de 2021 en la Cuenca del Río Parita. | 55 |
| Figura 33 Distribución de la Conductividad Hidráulica en la Cuenca del Río Parita..... | 56 |
| Figura 34 Distribución de la Transmisividad en la Cuenca del Río Parita. | 57 |
| Figura 35 Precipitación y Evapotranspiración Potencial. | 60 |
| Figura 36 Precipitación vs Escorrentía. | 61 |
| Figura 37 Esquema del Modelo Hidrogeológico Conceptual de la Cuenca del Río Parita. | 65 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1 Descripción de los tipos de rocas encontrados en las diferentes formaciones geológicas en la Cuenca del río Parita y su periodo aproximado. Fuente MICI, 1990. | 11 |
| Tabla 2 Interpretación de Sondeo Eléctrico Vertical del Perfil A5. Fuente: Nómadas de Centroamérica, 2010..... | 16 |
| Tabla 3 Distribución geomorfológica de la Cuenca del río Parita. Fuente: Instituto Geográfico Nacional Tommy Guardia (IGTG), 2007..... | 20 |
| Tabla 4 Mosaicos con información digital de los mapas topográficos, red de drenaje y curvas de nivel de la Cuenca del Río Parita. Fuente: IGTG, 2012..... | 23 |
| Tabla 5 Características de las estaciones meteorológicas que se encuentran en la Cuenca del río Parita. Fuente: ETESA..... | 23 |
| Tabla 6 Descripción de la estación hidrológica La Valdesa. Fuente: ETESA. | 24 |
| Tabla 7 Unidad Hidrogeológica en función de su productividad. Fuente: Fuente: ETESA, 1999. | 27 |
| Tabla 8 Parámetros Hidráulicos que corresponden a las perforaciones en la Cuenca del Río Parita entre los años 1999 y 2003. Fuente: Tahal Consulting Engineers LTD., 2003 y ETESA, 1999..... | 29 |
| Tabla 9 Función de las Entidades en la explotación y Manejo de Recursos de Agua Subterránea. Fuente: Castellon, 2016. | 31 |
| Tabla 10 Litología en la Provincia de Herrera y en la Cuenca del Río Parita. Fuente: MIDA..... | 34 |
| Tabla 11 Evapotranspiración potencial mensual en mm para los años 2010 y 2011 registrado por la Estación Los Santos. Fuente: Ruiz De León, 2012. | 38 |
| Tabla 12 Evapotranspiración media mensual para el año 2021 en la Estación Los Santos. Fuente: ETESA, 2021. | 38 |
| Tabla 13 Temperatura Promedio Mensual en la Estación Parita en el Periodo 2010-2018..... | 39 |
| Tabla 14 Superficie de la Región del Arco Seco por Provincia. | 40 |
| Tabla 15 Formas geológicas contrastadas con la superficie de la Cuenca del río Parita. Adaptado del MICI, 1990. | 40 |
| Tabla 16 Validación de los resultados geofísicos en la Cuenca del Río Parita | 41 |
| Tabla 17 Comparación de Precipitación Promedio Mensual de la Estación Llano de la Cruz. .. | 43 |
| Tabla 18 Comparación de Caudales Promedios Mensuales de la Estación La Valdesa. | 44 |
| Tabla 19 Unidades Hidrogeológicas en la Parte Alta de la Cuenca del Río Parita. | 46 |
| Tabla 20 Unidades Hidrogeológicas en la Parte Media de la Cuenca del Río Parita. | 47 |
| Tabla 21 Unidades Hidrogeológicas en la Parte Baja de la Cuenca del Río Parita. | 48 |

| | |
|--|----|
| Tabla 22 Comparación de la Evapotranspiración Potencial Media Anual..... | 58 |
| Tabla 23 Balance Hídrico en la estación Llano De La Cruz del año 2021..... | 59 |
| Tabla 24 Resultados del Balance Hídrico (Precipitación, Evapotranspiración Potencial y Real, Déficit y Excesos..... | 60 |
| Tabla 25 Precipitación, Evapotranspiración Real y Escorrentía mensual..... | 61 |

TABLAS DE ABREVIATURAS

ACP: Autoridad del Canal de Panamá

ETESA: Empresa de Transmisión Eléctrica

IDAAN: Instituto de Acueductos y Alcantarillados Nacionales

IGTG: Instituto Geográfico Nacional Tommy Guardia

IRHE: Instituto de Recursos Hidráulicos y Electrificación

MiAmbiente: Ministerio de Ambiente

MICI: Ministerio de Comercio e Industrias

MIDA: Ministerio de Desarrollo Agropecuario

MINSA: Ministerio de Salud

m.s.n.m.: metros sobre el nivel del mar

NE: Northeast (Noreste)

NP: Nivel Piezométrico

NW: Northwest (Noroeste)

PNSH: Plan Nacional de Seguridad Hídrica

SE: Southeast (Sureste)

SIG: Sistema de Información Geográficas

SRC: Sistema de Referencia de Coordenadas

STRI: Smithsonian Tropical Research Institute

SW: Southwest (Suroeste)

UNESCO: Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura.

UTM: Universal Transverse Mercator

WGS84: World Geodetic System 1984

ZCIT: Zona de Convergencia Intertropical

RESUMEN

La búsqueda y explotación de las aguas subterráneas en la Región del Arco Seco, ha sido uno de los grandes desafíos de la población ante los problemas de escasez hídrica. En Panamá desde el año 2010, las Entidades Gubernamentales no tienen estudios hidrogeológicos en una de las cuencas más explotadas: la Cuenca del Río Parita ubicada en la Región del Arco Seco.

El objetivo de este trabajo es desarrollar un modelo hidrogeológico conceptual de la Cuenca del Río Parita para dar cumplimiento a la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible y el Plan Nacional de Seguridad Hídrica que consiste en garantizar el acceso al agua potable y un consumo sostenible del recurso hídrico en respuesta a los problemas de falta de agua en las comunidades y el sector agropecuario.

De la información suministrada de las Entidades Gubernamentales, se realizó una revisión general, análisis y depuración de la base de datos hidrogeológica. Para la visualización de la información, georreferenciación y elaboración de mapas se utilizó herramientas de sistemas de información geográfica.

Con los resultados obtenidos se comprobó que las variables de precipitación, caudales y evapotranspiración potencial tienen una tendencia a disminuir con el tiempo. En el cálculo del Balance Hídrico se estimó las entradas y salidas del sistema. El patrón general de flujo subterráneo indica que los ríos y afluentes ganan agua del acuífero y se identificó 2 posibles áreas de recarga en la cuenca del Río Parita. Según las unidades hidrogeológicas, se identificó las rocas volcánicas son áreas propicias para la explotación de pozos por la permeabilidad. Finalmente se hace una caracterización general del modelo conceptual hidrogeológico de la Cuenca del Río Parita.

1. INTRODUCCIÓN

La pandemia que ha sido causada por la enfermedad del COVID-19, ha puesto en evidencia la escasez de agua, el cual es un problema que afecta el 40% de la población mundial (ONU, 2020). Sin embargo, la agricultura es el principal consumidor de agua en el mundo y la recarga por riego se obtiene del 70% de toda el agua dulce disponible para el consumo humano según cifras del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD, 2015). Por esta razón, 2 de los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible que se han planteado por la Organización de las Naciones Unidas son: garantizar el acceso a agua potable segura y asequible para todos en 2030 y garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles (ONU, 2015).

La República de Panamá es uno de los países que forman parte de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, la cual es un plan de acción a favor de las personas, el planeta y la prosperidad, que también tiene la intención de fortalecer la paz universal y acceso a la justicia (ONU, 2015). El país requiere con urgencia una gestión sostenible de los recursos hídricos, donde los últimos gobiernos se ha concentrado más en las inversiones en aguas superficiales que en las aguas subterráneas.

La Cuenca del río Parita se encuentra localizada en la parte central del país, en la zona conocida como el “Arco Seco”, además de la variabilidad climática, está siendo afectada por el Cambio Climático, en donde la población ha sido afectada por los problemas de escasez hídrica (Pérez, 2020).

Las aguas subterráneas de la Cuenca del Río Parita son utilizadas para las actividades domésticas, agrícolas y de ganadería (Ruiz De León, 2012). En la provincia de Herrera hubo una disminución de rendimiento de 295.5 hectáreas de arroz debido a la sequía (La Prensa, 2009). En las provincias de Herrera, Los Santos y Coclé se reportó la muerte de 500 animales bovinos por déficit hídrico (Calvo-Solano et al, 2014). Más de 4500 hectáreas dedicadas a la producción agropecuaria (maíz y arroz) en las provincias de Coclé, Herrera, Los Santos y Veraguas registraron pérdidas este año (ISA, 2019).

El uso desorganizado e intensivo del agua subterránea en Panamá ha generado problemas que podrían amenazar la cantidad y calidad del recurso (Castrellon, 2016). Como consecuencia de la intensa desertificación que el Arco Seco ha estado experimentando, la temporada seca se está extendiendo y los recursos del agua superficial se están volviendo escasos (Castrellon, 2016).

A pesar de las Consultorías realizadas por la empresa Nómadas de Centroamérica Panamá, S.A. (Souifer, 2010), y la Autoridad del Canal de Panamá (ACP, 2020) en la Región del Arco Seco, actualmente en la Cuenca del Río Parita se desconocen el estado actual de los acuíferos y cuál ha sido la evolución cuantitativa de estos acuíferos en el tiempo.

Este trabajo constituye una revisión de la situación hidrogeológica en la Cuenca del río Parita, la cual es una iniciativa que va alineada al Plan Nacional de Seguridad Hídrica (PNSH): Agua para Todos 2015-2050 (Comité de Alto Nivel de Seguridad Hídrica, 2016).

Un modelo conceptual aumenta la comprensión de las características de un sistema o un sitio particular antes de introducir cantidades métricas (Hesch, 2009). En el presente trabajo sobre un modelo hidrogeológico conceptual se hará una caracterización geológica, geomorfológica, geofísica, climatológica, meteorológica, hidrológica, hidrogeológica, de la Cuenca del Río Parita y esto mejorará nuestra comprensión sobre cómo se está comportando las aguas subterráneas en esta cuenca.

Con este trabajo se requiere saber cómo se encuentra la base de datos hidrogeológica de las Entidades Gubernamentales responsables de la búsqueda y explotación de pozos, y si los informes técnicos en conjunto con la información geoespacial pueden coadyuvar en la identificación de la litología, parámetros hidráulicos, áreas potenciales de recarga hídrica, nivel piezométrico y la descripción del patrón general de flujo de las aguas subterráneas.

En el apartado de Resultados y Discusión, se utilizó los métodos analíticos y comparativos para la interpretación y análisis de resultados de los estudios previos y los resultados de este Trabajo de Fin de Máster. Finalmente se hace una síntesis sobre el funcionamiento del modelo hidrogeológico conceptual que integra la información geológica, hidrológica e hidrogeológica. En las conclusiones se indica los puntos que requieren mejora en futuros estudios hidrogeológicos como por ejemplo el manejo de la información, y donde se localizan zonas potenciales de búsqueda y explotación de pozos para solucionar los problemas de escasez hídrica en la Cuenca del Río Parita.

2. OBJETIVOS

El objetivo principal de este trabajo es determinar el modelo conceptual del sistema de flujo de agua subterránea de la Cuenca del Río Parita, que permita conocer el comportamiento y las características hidrogeológicas del acuífero local.

Para la consecución de este objetivo principal son necesarios estos objetivos específicos:

2.1. Objetivos Específicos

- Recopilar bibliografía sobre estudios hidrogeológicos para tener un marco teórico de base y una guía para establecer el contenido mínimo que corresponde al modelo conceptual.
- Revisar y analizar la base de datos actualizada de las Entidades Gubernamentales (MIDA, MiAmbiente, IDAAN y MINSA) con la finalidad de seleccionar la información que sea útil para el desarrollo del modelo conceptual.
- Obtener datos de la litología y los parámetros hidráulicos del acuífero local para caracterizar el modelo geológico e hidráulico.
- Analizar los inventarios de puntos de agua para obtener una integración de la base de datos hidrogeológica y de igual forma elaborar los perfiles hidrogeológicos en la parte alta, media y baja de la Cuenca del Río Parita.
- Estimar el Nivel Piezométrico en los meses de mayo y octubre 2021 para describir el patrón general de flujo de las aguas subterráneas.
- Realizar el análisis de la precipitación media anual y la distribución de la conductividad hidráulica para identificar la localización de áreas potenciales de recarga en la cuenca.

3. METODOLOGÍA

La metodología que se aplicará para el desarrollo de un Modelo Hidrogeológico Conceptual en la Cuenca del Río Parita se dividirá en seis (6) actividades las cuales se presentan a continuación:

3.1. Caracterización de la zona de estudio:

- Recopilación y solicitud de datos, documentos impresos y digitales, consulta bibliográfica, videos, reuniones y entrevistas con el Personal de las Entidades Gubernamentales (IDAAN; MIDA, MiAmbiente, MINSA e Instituto Geográfico Nacional Tommy Guardia).

3.2. Revisión y consulta de antecedentes:

- Revisión de la documentación disponible, disponibilidad de datos hidrometeorológicos, mapas temáticos y productos existentes de las instituciones gubernamentales (IDAAN, MIDA, MiAmbiente, MINSA e Instituto Geográfico Nacional Tommy Guardia).
- Integración de la información hidrogeológica (coordenadas, profundidad, caudal, transmisividad y litología) tanto impresa como digital.
- Visualización de la información hidrogeológica por medio de los softwares de Microsoft Excel y ArcGIS.

3.3. Materiales disponibles para el desarrollo del Modelo:

- Descripción de los antecedentes técnicos revisados (Descripción de la Cuenca del Río Parita, Geología, Geofísica, Geomorfología, Climatología, Meteorología, Hidrología e Hidrogeología).

3.4. Elaboración de Mapas y Perfiles Hidrogeológicos a partir de los materiales:

- Mapas de Localización Regional de la Cuenca del Río Parita, Localización del Arco Seco, Geología (Regional y Estructural), Geofísica, Geomorfología, Estaciones Hidrometeorológicas, Hidrogeología, Localización de Pozos, Selección de Pozos de Monitoreo, Localización de Pozos con litología, Nivel Piezométrico, Líneas de Flujo, Conductividad Hidráulica y Transmisividad. Los softwares ArcGIS y AutoCAD fueron utilizados para elaborar los mapas y los perfiles hidrogeológicos.

3.5. Balance Hídrico: Estimación de la Evapotranspiración Real (ETR) Mensual, Déficit, Excesos y Escorrentía a través de los datos de Precipitación Promedio Mensual (P) y Evapotranspiración Potencial (ETP). Se realiza el Cálculo de la recarga potencial (Rp) a través de la ecuación $R_p = P - ETR$.

3.6. Interpretación y análisis de los resultados de la información geológica, geomorfológica, hidrológica e hidrogeológica para el desarrollo del modelo por medio de criterios analíticos y comparativos.

4. MATERIALES

4.1. Descripción General de la Cuenca del Río Parita

La Cuenca del Río Parita tiene una superficie de 603.16 km² y la longitud del río principal es de 79.11 km. Su localización regional se presenta en la Figura 1. Los cursos de agua de la Cuenca del río Parita desembocan hacia la vertiente del Océano Pacífico. La elevación media de la Cuenca del río Parita es de 35 m.s.n.m. (Gonzalez et al, 2008) y su punto más alto es el Cerro Gallote con una elevación de 521 m.s.n.m. (Ruiz De León, 2012).

La precipitación media anual es de 1495 mm en la parte media y de 1381 mm en la parte baja. En el Anexo I, II y III se detalla la estimación de la precipitación mensual de la Estación Llano de la Cruz, corrección y ajuste de la lluvia de la Estación Parita, usando la estación base # 130-002 de Parita y la estación en estudio, # 130-004 de Llano de la Cruz. Actualmente estas estaciones meteorológicas no registran mediciones de temperatura en toda la cuenca, sin embargo, se estima que las temperaturas medias anuales oscilan entre los 24.00°C y 26.84°C (Ruiz De León, 2012).

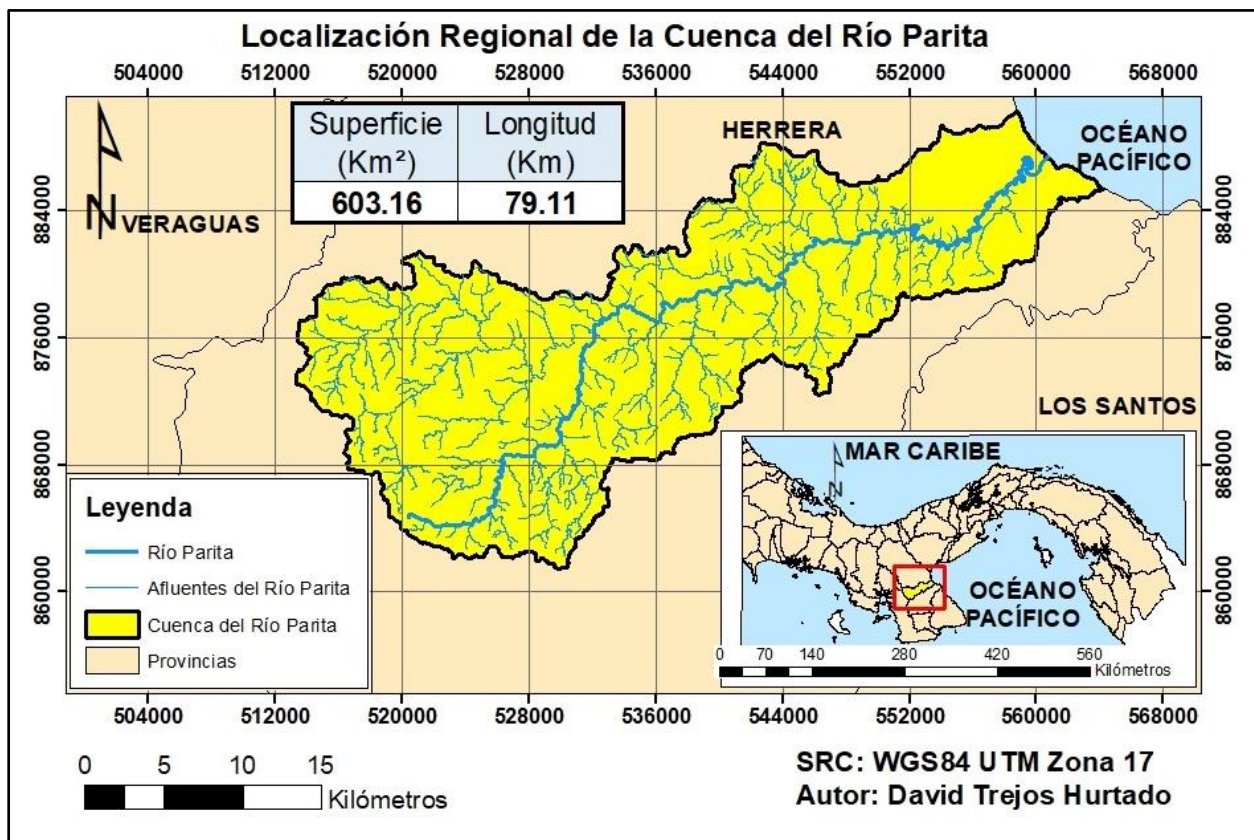


Figura 1 Localización regional de la Cuenca del río Parita. Adaptado de Mi Ambiente.

4.2. La Región del Arco Seco de Panamá

La cuenca del río Parita también se encuentra en la Región del Arco Seco de Panamá (ETESA, 1999) el cual es un área que incluye parte de las provincias de Coclé, Herrera y Los Santos y se localiza en la parte central y sur de Panamá (Figura 2).

La región del Arco Seco junto a la Sábana Veragüense y Cerro Punta son los sitios más afectados por eventos de sequía en la República de Panamá según el Plan Nacional de Sequía para Panamá. Estos eventos por sequía son comúnmente asociados con la ocurrencia del Fenómeno del Niño, los cuales han sido evidenciados en el sector agropecuario (Villar, 2019) también restricciones de calado en el Canal de Panamá (BBC, 2015).

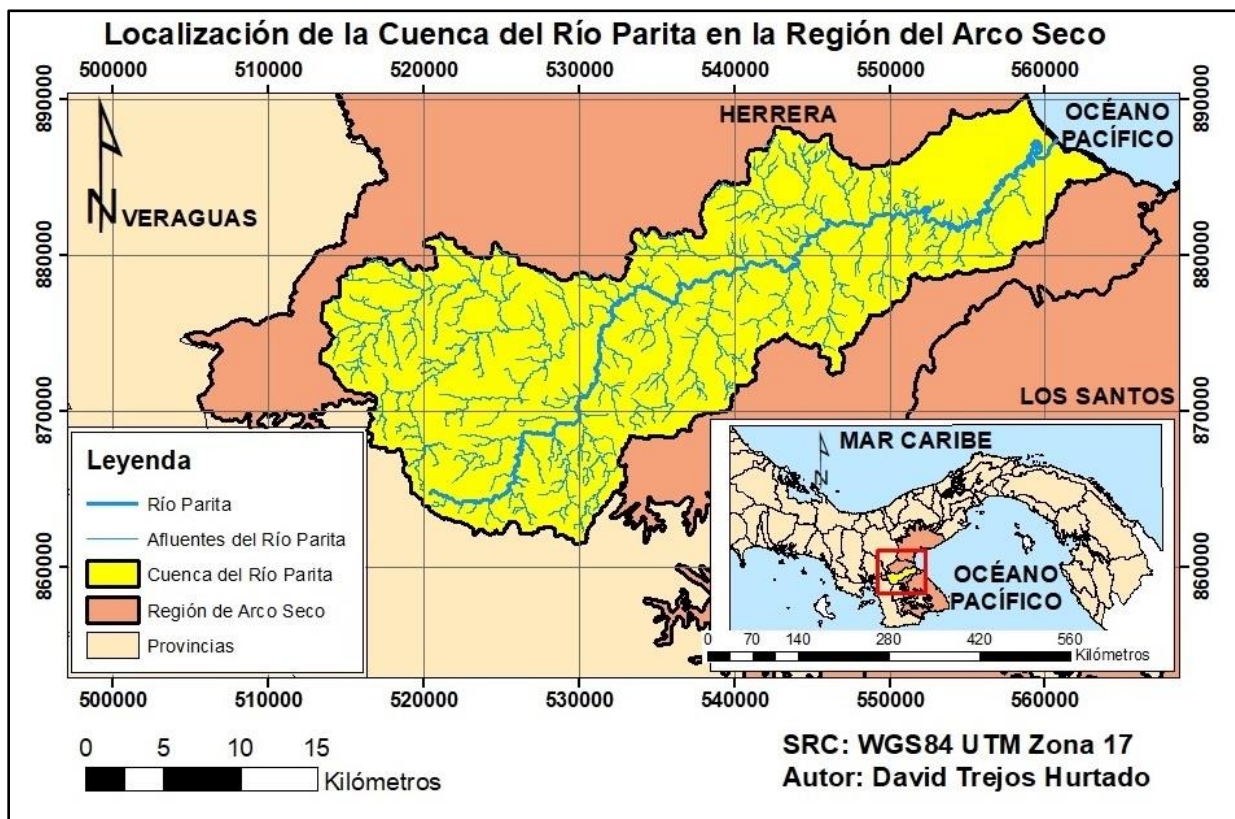


Figura 2 Localización del Arco Seco en la República de Panamá. Adaptado de MiAmbiente.

4.3. Geología Regional

La geología de la Cuenca del río Parita ha sido desarrollada principalmente por la revisión de consultorías realizadas por la empresa Nómadas de Centroamérica y la Autoridad del Canal de Panamá (ACP). Según la ACP, la Península de Azuero está mayoritariamente constituida por rocas volcánicas y volcanosedimentarias que abarcan un rango de edades desde el Cretácico Superior hasta el Oligoceno Superior (Giudice y Recci, 1969) las cuales pertenecen al arco volcánico generado por la subducción de la placa de Nazca por debajo de la placa del Caribe (Figura 3).

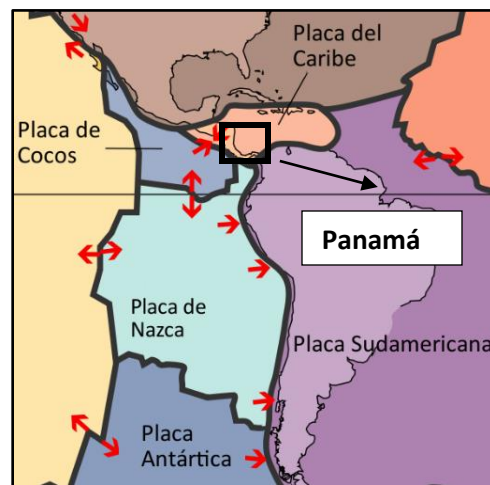


Figura 3 Placas tectónicas Nazca (color celeste) y de Cocos (color crema) por el cual se estableció la teoría de formación geológica. Fuente USGS, 2017.

El río Parita fluye en la dirección Noroeste desde su nacimiento hasta el Océano Pacífico, y corta la litología en las siguientes formaciones geológicas (Tabla 1).

La geología de la Cuenca del Río Parita se presenta en la Figura 4.

Tabla 1 Descripción de los tipos de rocas encontrados en las diferentes formaciones geológicas en la Cuenca del río Parita y su periodo aproximado. Fuente MICI, 1990.

| FORMAS | PERIODO | FORMACIÓN | SÍMBOLO | DESCRIPCIÓN |
|---------------|-------------|---------------|----------|---|
| Sedimentarias | Cretácico | Ocú | K-CHAo | Calizas y tobas |
| Volcánicas | Cretácico | Playa Venado | K-VE | Basaltos y pillow lavas |
| Sedimentarias | Cuaternario | Río Hato | QR-Aha | Conglomerado, areniscas, lutitas, tobas, areniscas no consolidadas y pómez. |
| Plutónicas | Cretácico | Valle Riquito | TEO-RIQ | Cuarzodioritas, noritas y gabros |
| Sedimentarias | Terciario | Tonosí | TEO-TO | Lutitas y areniscas |
| Sedimentarias | Terciario | Macaracas | TO-MAC | Tobas y areniscas tobáceas |
| Sedimentarias | Terciario | Pesé | TO-MACpe | Tobas continentales, areniscas y calizas |

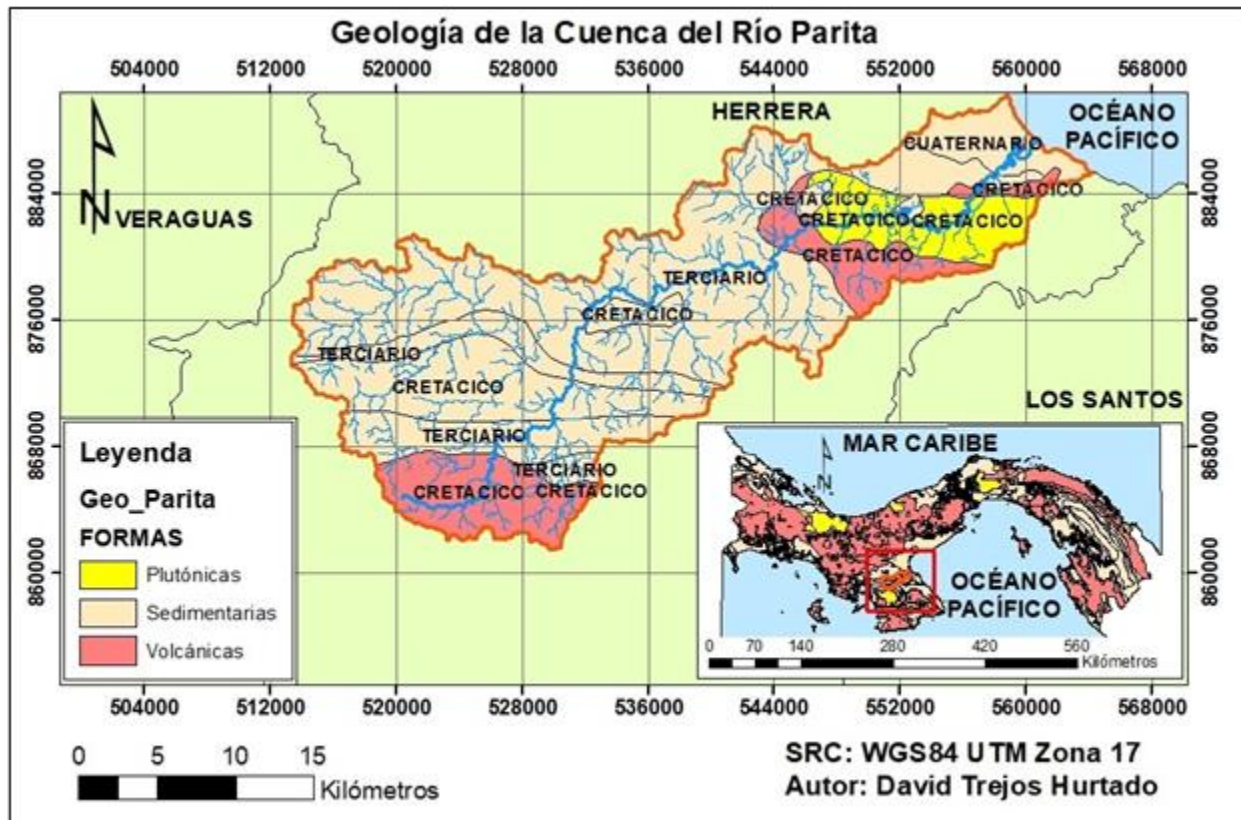


Figura 4 Geología de la Cuenca del río Parita. Fuente: Adaptado del MICI, 1990.

4.4. Geología Estructural

Las fallas de la Cuenca del Río Parita (Figura 6) se obtuvieron del GIS Portal Data de la página web Instituto Smithsonian de Investigaciones Tropicales (STRI, 2021).

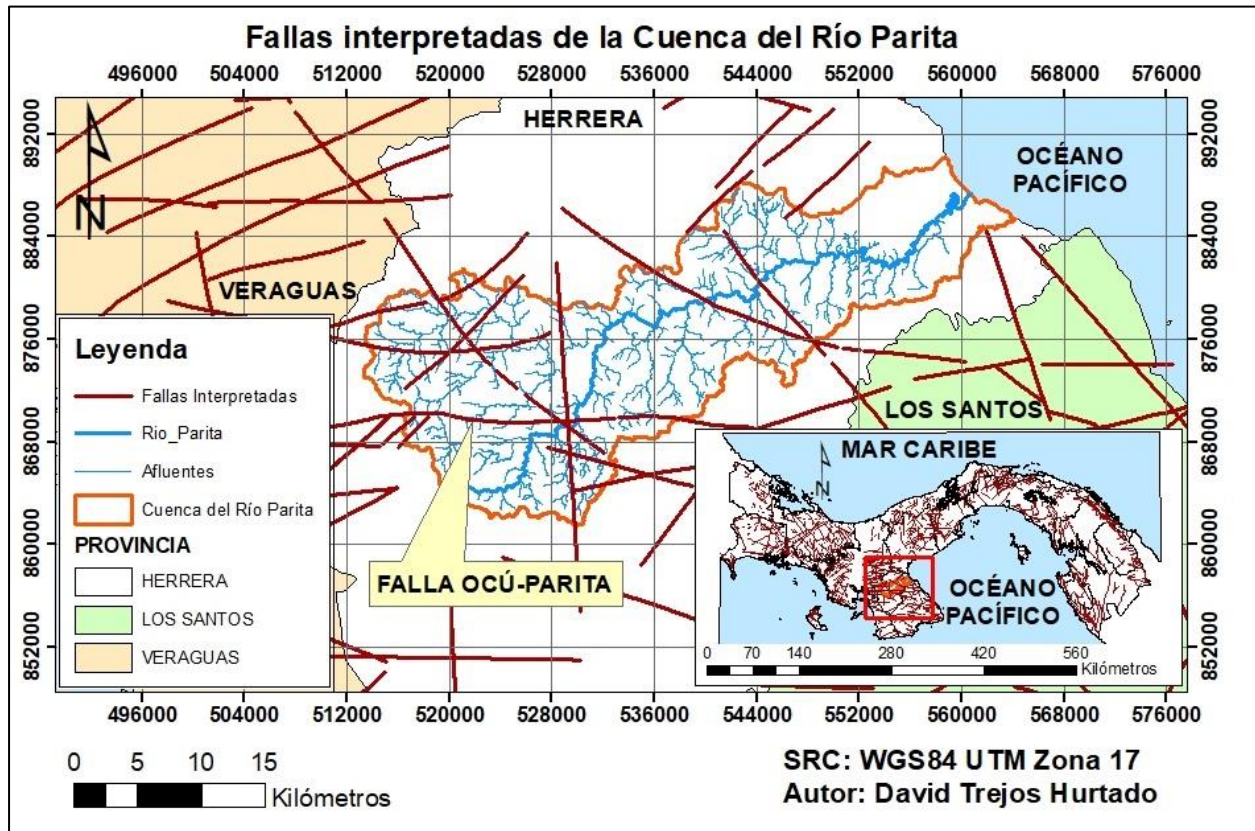


Figura 5 Fallas interpretadas de la Cuenca del Río Parita. Adaptado de STRI, 2021.

De acuerdo con el Informe de Diseño Conceptual, Reservorios Multipropósito Cuenca Parita Presa Parita Volumen Geología y Geotecnia (Autoridad del Canal de Panamá, 2020) estos sistemas de fallas que se encuentran a nivel regional son:

- Falla Ocú- Parita: tiene una componente sinistral y plano probable subvertical donde se pone en contacto las rocas sedimentarias del Periodo Cretácico con las rocas sedimentarias del Periodo Terciario (Kolarsky et al, 1995).
- Falla Joaquín: tiene una zona de falla subvertical donde se pone en contacto las rocas volcánicas del Periodo Cretácico Superior-E con rocas del Plateau Azuero del Periodo Cretácico Inferior.

- Lineamiento del Río Santa María: este lineamiento con dirección WNW-ESE es paralelo a las fallas de Ocú-Parita y Joaquín.

4.5. Geofísica

Las investigaciones geofísicas implican determinar las propiedades físicas de los materiales del subsuelo mediante el análisis de las mediciones realizadas sobre la superficie del suelo o sobre ella o en un pozo (U.S. Department of the Interior – Bureau of Reclamation, 1995).

Se revisó la información geofísica a partir de 2 Consultorías y se encontró lo siguiente:

- “Informe Geofísico para la búsqueda de los acuíferos probables profundos en el Arco Seco” (Nómadas de Centroamérica, 2010): esta información fue suministrada por el Departamento de Seguridad Hídrica del Ministerio de Ambiente.

El objetivo del proyecto consistió en la búsqueda de aguas subterráneas profundas en el Arco Seco de la Península de Azuero mediante prospección geofísica. La técnica geofísica utilizada en esta consultoría fue mediante los Sondeos Eléctricos Verticales (SEV).

De acuerdo con el Informe, la configuración básica de medida es la configuración de Schlumberger (Figura 6). La configuración de Schlumberger consiste en la instalación de 4 electrodos, tipo barra corta, los cuales se ubican en línea recta, donde cada par (potencial y corriente) tienen que ubicarse simétricamente con respecto al centro de medición elegido. El centro y el eje de medición se mantiene fijos mientras se incrementa la distancia entre electrodos de corriente (Nómadas de Centroamérica, 2010).

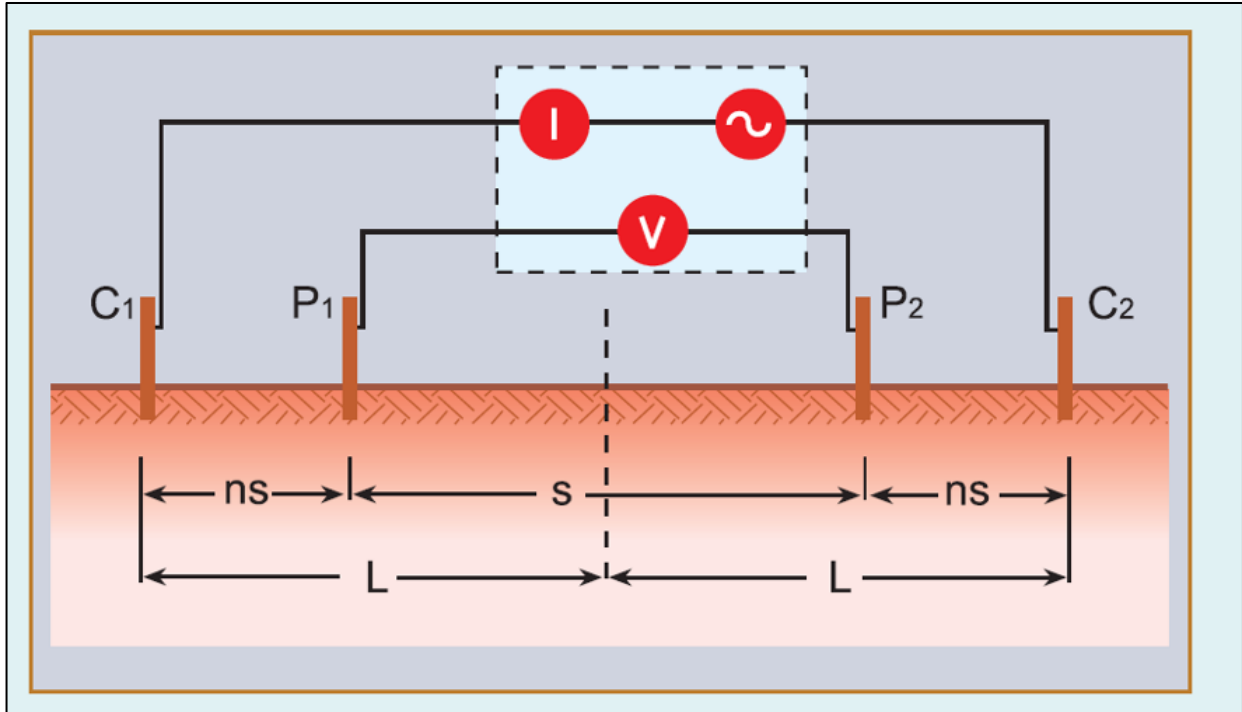


Figura 6 Configuración de Schlumberger. Fuente: Nómadas de Centroamérica, 2010.

Según el Informe Geofísico, se determinó la resistividad aparente con la siguiente ecuación:

$$\rho_a = \frac{\pi \left[V \left[\frac{L}{s} \right]^2 - \frac{1}{4} \right] s}{L}$$

Donde ρ_a es la resistividad aparente del suelo en ohm-metros ($\Omega \cdot m$); π es el número pi (3.1416); V es el voltaje en Voltios (V); L es la distancia del centro de medición a cada electrodo de corriente en metros (m); s es la separación entre electrodos de potencial en metros (m) e I es la corriente en Amperios (A).

Se elabora el gráfico de resistividad aparente en función de la separación de los electrodos. El objetivo de este gráfico es la determinación del número de capas del subsuelo, espesor y resistividad de estas (Nómadas de Centroamérica, 2010).

La interpretación de las curvas de resistividad aparente se hizo a través del método de los quiebres de curvas de resistividad. Para interpretar los quiebres de curva de resistividad, primero hay que visualizar que el subsuelo está formado por varios

estratos con distintas profundidades y estas distribuciones con “n” valores de resistividades se denomina “corte geoelectrico” (Pizarro, 2014).

Una vez terminados los Sondeos Eléctricos Verticales, se elaboraron 25 Secciones Geoelectricas en la Provincia de Herrera y los cortes donde se muestra la geología y la geofísica de la zona en estudio. Se identificó 7 de 25 secciones que se encuentran dentro de la Cuenca del Río Parita (Figura 7).

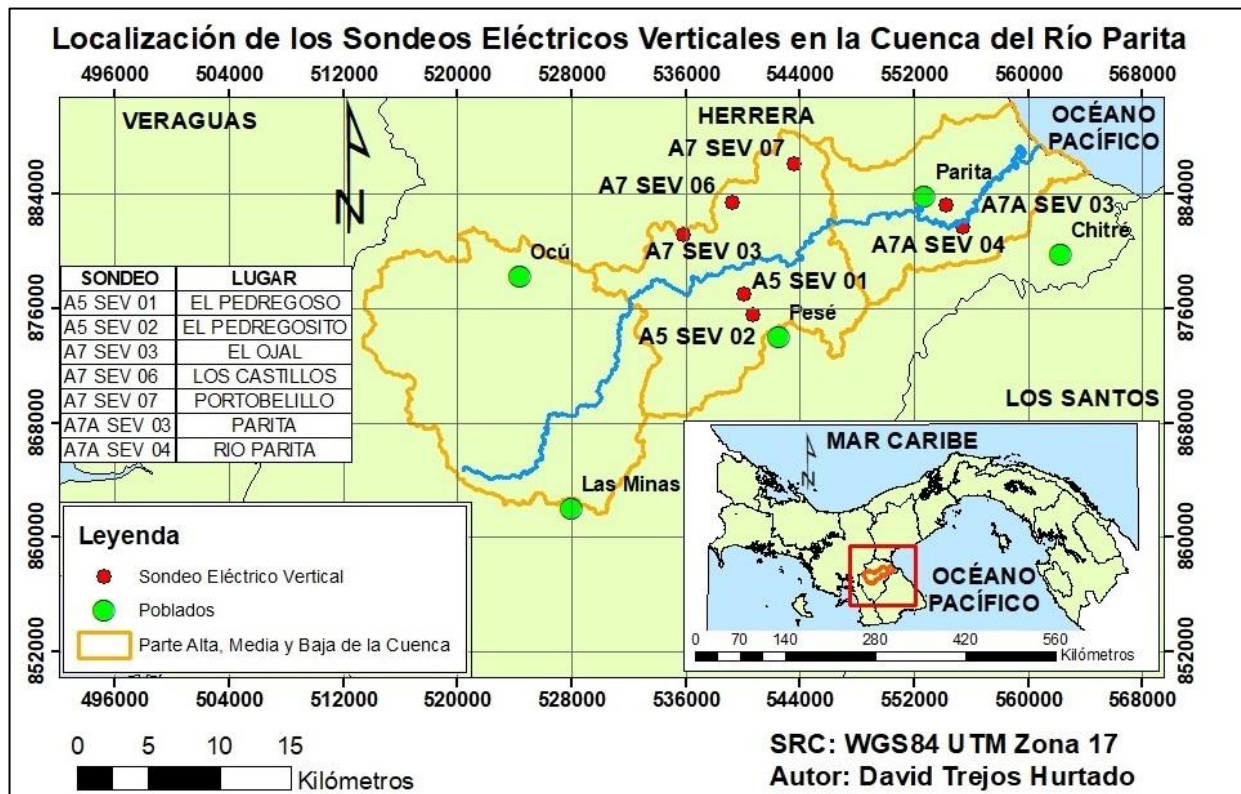


Figura 7 Localización de los Sondeos Eléctricos Verticales en la Cuenca del Río Parita. Adaptado de Nómadas de Centroamérica, 2010.

Como las interpretaciones de los perfiles A5, A7 y A7A desarrolladas del Informe Geofísico (Nómadas de Centroamérica, 2010) son similares, solamente se va a presentar la comparación del perfil A5.

Tabla 2 Interpretación de Sondeo Eléctrico Vertical del Perfil A5. Fuente: Nómadas de Centroamérica, 2010.

| Capa | Resistividad Ohm-m | Espesor m | Litología |
|------|------------------------|---------------------|--|
| 1 | 7 – 11 14 - 32 | 2.5 – 4.0 | Consiste en un suelo areno limoso de origen volcánicos con bloques centimétricos, con pasajes de laterización. |
| 2 | 11 – 54 55 - 93 | 5.8 – 50 51 - 97 | Tobas alteradas, muy fracturadas, con fracturas rellenas de arcilla. Tobas sanas con capas de areniscas, con duda de indicios de agua en estas partes sanas. |
| 3 | 110 - 200 500 - 729 | 35 | Calizas alteradas, fracturadas a sanas, con presencia de agua. |
| 4 | 14 - 54 60 - 70 | 29 - 250 | Secuencias de areniscas, lutitas y tobas intercaladas, fracturadas, plegadas y falladas, con presencia de agua en los estratos de areniscas, con porosidad secundaria. |
| 5 | 75 – 140 150 | 138 - 150 | Lavas basálticas, alteradas, fracturadas, con fallas e influencia de hidrotermalismo. Presenta interés de acuífero. |
| 6 | 6 | | Al igual que la Capa #5, se presenta zonas de fallas con hidrotermalismo con intrusiones o rocas volcánicas basálticas cristalinas con fracturaciones. |

En la interpretación del sondeo eléctrico vertical del perfil A5 (Tabla 2), se identificó que la primera capa (suelo areno limoso) interpretada del sondeo eléctrico vertical no coincide con el mapa textura de suelo (IDIAP, 2006), ya que en el mapa de textura de suelos esta primera capa aparece descrito como “suelo franco arcilloso” (Anexo IV Textura de la Cuenca del Río Parita).

Se verificó que las interpretaciones litológicas (Capas 2, 3 y 4) realizadas por el Consultor coinciden con la Geología de la Cuenca (Figura 4) identificada en este trabajo en cuanto a tobas continentales, areniscas y calizas.

El Consultor indicó que en la capa 6, como no se tienen registros de perforaciones profundas, se han asociado a rocas volcánicas que podrían contener rocas intrusivas con influencia de hidrotermalismo, como se ha presentado en estudios en Costa Rica. De acuerdo con la base de datos integrada de las Entidades Gubernamentales, las perforaciones de pozos tienen profundidades hasta 77 metros, por lo que actualmente

si se tienen registros de perforaciones profundas. Sin embargo, en las perforaciones profundas no está detallado la litología y el tipo de acuífero. Con esta hipótesis, no se puede afirmar que las rocas volcánicas contengan acuíferos ya que esta información (perforaciones profundas) requiere ser levantada con mayor detalle en Panamá para hacer una correlación más precisa y real entre el dato geofísico y geológico.

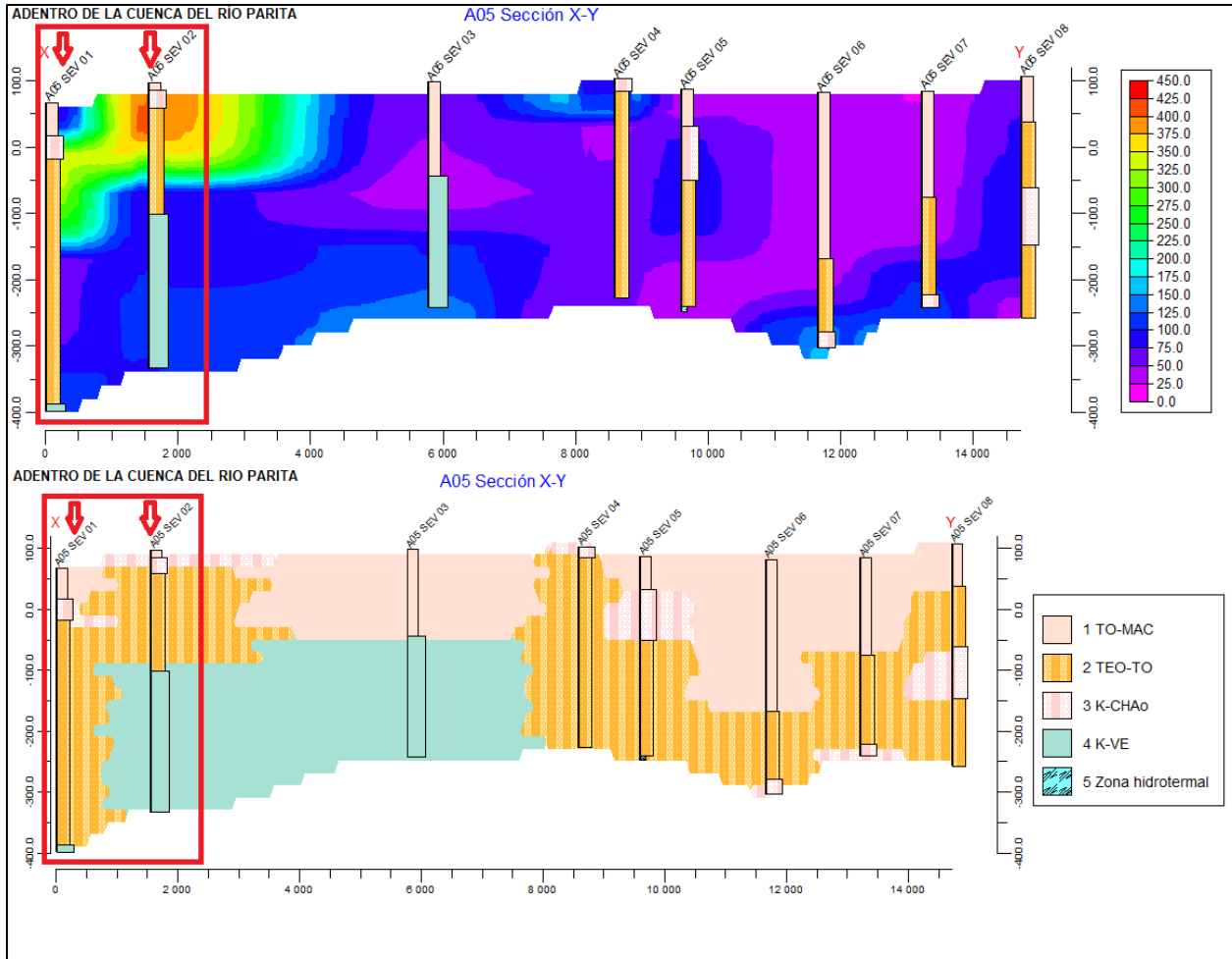


Figura 8 En orden de arriba hacia abajo se muestra el gráfico de resistividades y el perfil interpretativo geológico – geofísico de los sondeos A05 SEV 01 y A05 SEV 02 del Corte A5. Fuente: Nómadas de Centroamérica, 2010.

- “Servicio de Veintiocho Tomografías Eléctricas” (Infinity Technology No Limits, 2017): esta información fue suministrada por el Departamento de Fuentes Subterráneas del IDAAN. El objetivo del proyecto consistió en determinar las características geológicas en la Península de Azuero y la viabilidad de perforar pozos para el

abastecimiento de aguas subterráneas escogidos por el IDAAN. La técnica geofísica utilizada en esta consultoría fue mediante tomografías eléctricas. Se analizaron 30 secciones geofísicas en las Provincias de Herrera y Los Santos. Sin embargo, en el presente trabajo solamente se identificó 2 (Parita- Sector La Bota y Parita Juan Blanco) de 30 secciones dentro de la Cuenca del Río Parita. Las tomografías eléctricas se realizaron por medio de los dispositivos Wenner-Schlumberger (Infinity Technology No Limits, 2017). En método de Werner, los electrodos están enterrados en línea recta y a igual separación entre ellos (Auge, 2008). Sin embargo, la diferencia con el método de Schlumberger, la separación de los electrodos centrales se mantiene constante y la medición se realiza variando la distancia de los electrodos exteriores como se mostró en la Figura 6 (Auge, 2008). La interpretación se realizó a través de los modos Inversión Robusta o el Suavizado Forzado del programa RES2DINV. Las tomografías se realizaron con una combinación de 380 electrodos y 10 niveles de exploración. De esta cantidad se eliminan datos con ruidos para su posterior interpretación.

- Como la interpretación de las 2 secciones tomográficas son similares se seleccionó la de Parita-Sector La Bota. De acuerdo con la interpretación del Consultor, se encontró “boulders” (que en inglés significa peñasco) y bloques aislados de granodiorita de grano medio, que según la Geología de la Cuenca del Río Parita corresponden a rocas plutónicas (Figura 9).



Figura 9 Bloques aislados de granodiorita de grano medio. Fuente: Infinity Technology No Limits, 2017.

En la Figura 10 se presenta la localización de 2 secciones de tomografías eléctricas realizadas en la parte baja de la Cuenca del Río Parita.

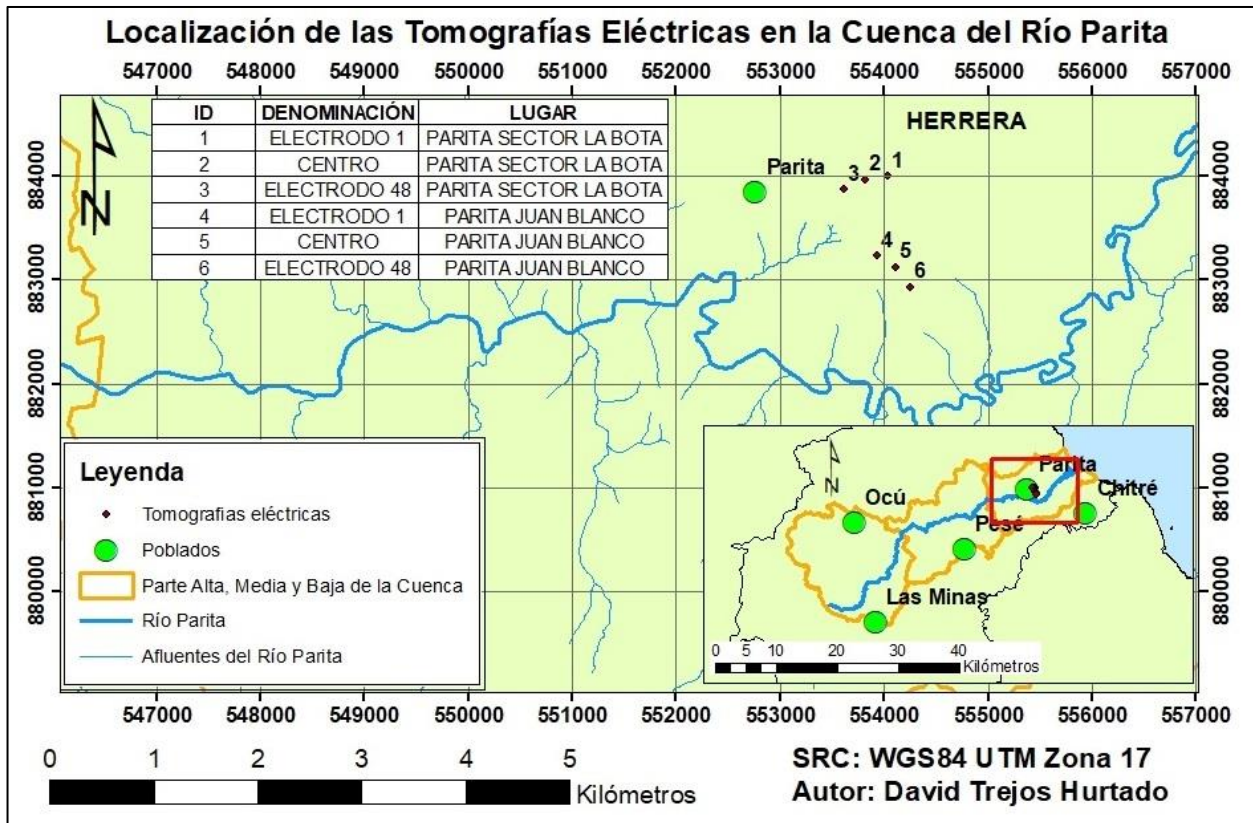


Figura 10 Localización de las tomografías eléctricas en la parte baja de la Cuenca del Río Parita. Adaptado de Infinity Technology No Limits, 2017.

De acuerdo con la tomografía eléctrica en la Sección Parita-Sector La Bota (Infinity Technology No Limits, 2017), se encontró que las franjas de color rojo con resistividad cercano a los 700 Ω .m. corresponden a las rocas plutónicas de Granodiorita (Figura 11). En esta misma sección se encontró una discontinuidad (franja roja y chocolate) con resistividades que oscilan entre los 400 y 700 Ω .m., lo que es un indicio de una posible fractura entre granodioritas y granodioritas fracturadas.

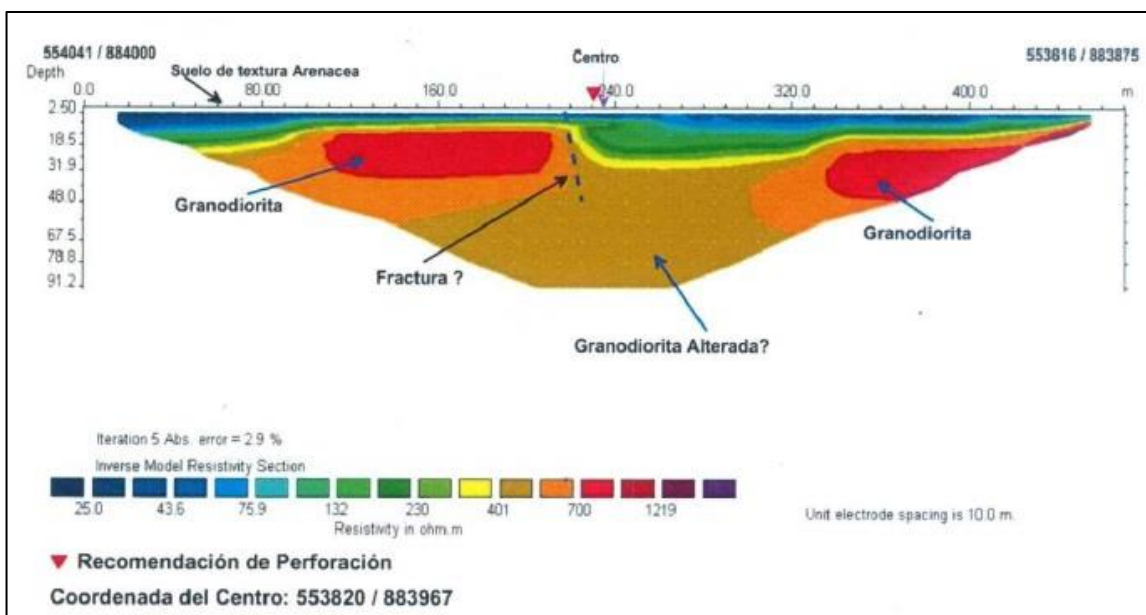


Figura 11 Resultado de la tomografía en Sección Parita-Sector La Bota ubicado en la parte baja de la Cuenca del Río Parita. Fuente: Infinity Technology No Limits, 2017.

4.6. Geomorfología

La geomorfología de la Cuenca del río Parita está compuesta por un 83.90% de Regiones de Cerros Bajos y Colinas y un 16.10% de Regiones Bajas y de Planicies Litorales (Tabla 3).

Tabla 3 Distribución geomorfológica de la Cuenca del río Parita. Fuente: Instituto Geográfico Nacional Tommy Guardia (IGTG), 2007.

| Región | Area km ² |
|---|----------------------|
| Regiones de Cerros Bajos y Colinas | 506.02 |
| Regiones Bajas y de Planicies Litorales | 97.09 |
| Total | 603.12 |

En la Figura 12 se presenta la Geomorfología de la Cuenca del Río Parita. Está constituida predominantemente por Regiones de Cerros Bajos y Colinas las cuales tienen formas convexas en las partes superiores y cóncavas en las partes superiores. En menor proporción, las Regiones Bajas y de Planicies Litorales corresponde a una topografía que varía de aplanada a poco ondulada, con declives que oscilan entre muy

débil y débil. Relieves residuales (colinas aisladas y diques) irregularizan el paisaje de estas unidades (IGTG, 2007).

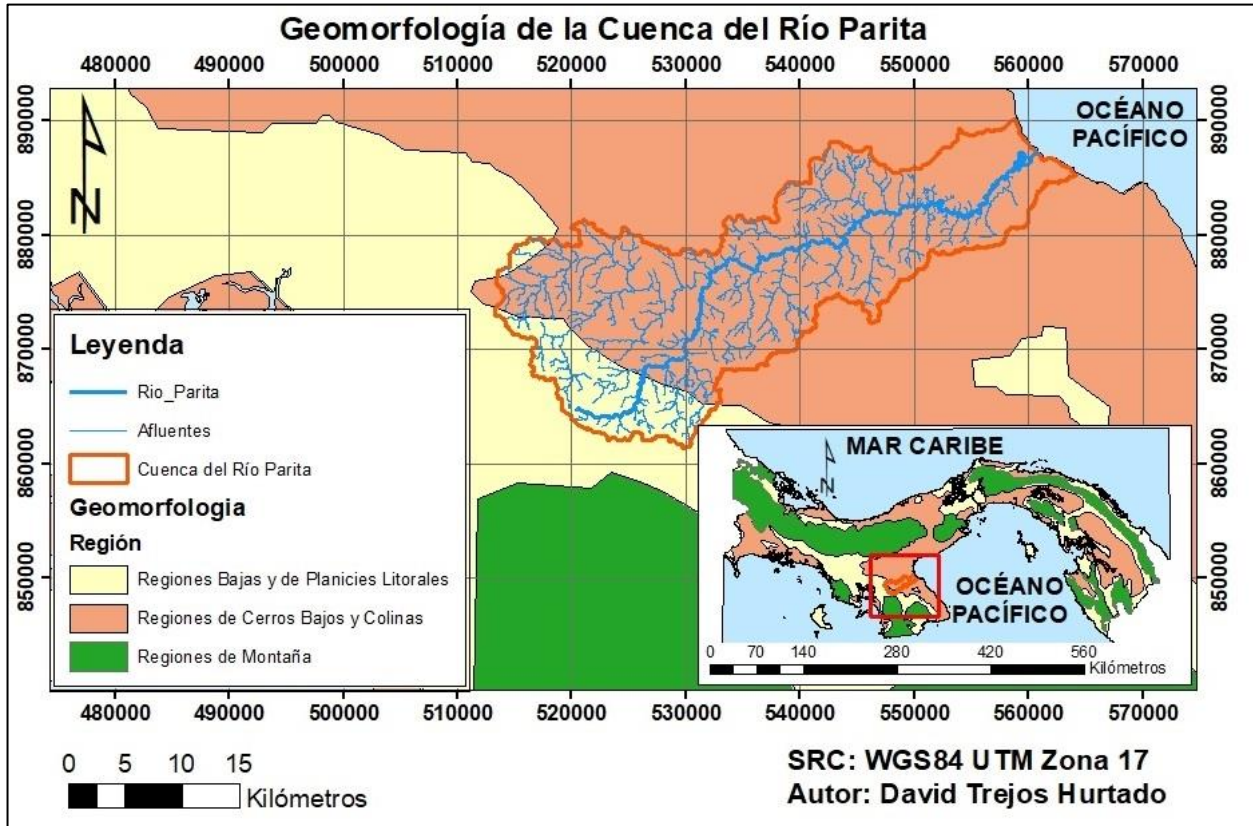


Figura 12 Geomorfología de la Cuenca del río Parita. Adaptado de IGTG, 2007.

4.7. Climatología

De acuerdo con la clasificación de Köppen, en la Cuenca del río Parita hay 2 tipos de climas (Figura 13):

- **Clima tropical húmedo:** con influencia del monzón (régimen de vientos): lluvia anual mayor a 2250 mm con 60% concentrada en los 4 meses más lluviosos en forma consecutiva, algún mes con lluvia menor a los 60 mm y temperatura media del mes más fresco mayor a 18°C.

- **Clima tropical de Sabana:** Lluvias anuales mayores a 1000 mm, varios meses con lluvia menores a los 60 mm y temperatura media del mes más fresco menor a 18°C.

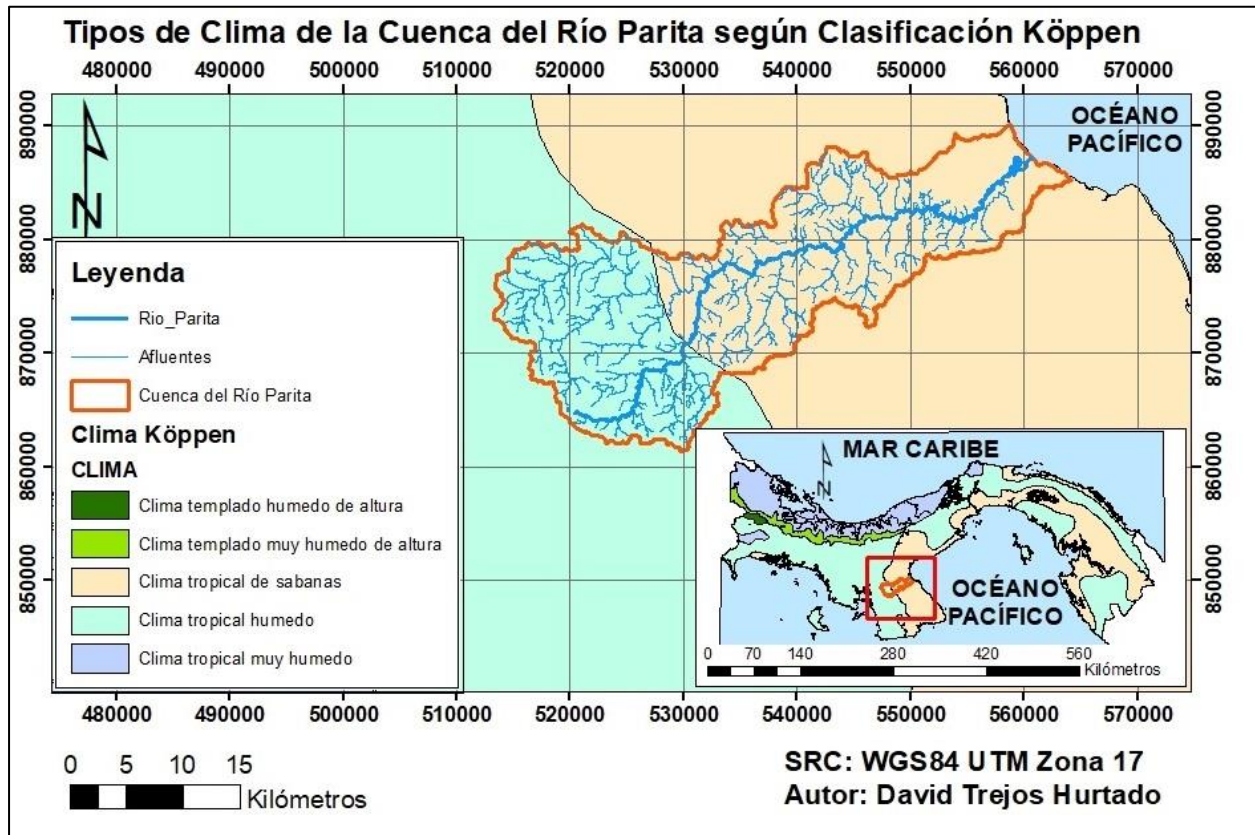


Figura 13 Tipos de Clima de la Cuenca del Río Parita según la clasificación de Köppen. Adaptado de IGTG, 1988.

4.8. Información Cartográfica Básica

En la Tabla 4 se describen los 14 mosaicos que corresponden a la información digital del Instituto Geográfico Nacional Tommy Guardia que se utilizó para determinar las cotas de los pozos. Estos mosaicos se encuentran en un sistema de referencia de coordenadas en UTM (Universal Transversal de Mercator), con curvas de nivel a intervalos de 10.00 m y suplementarias a intervalos de 5.00 m, con dato vertical el nivel medio del mar, dato horizontal en WGS84 Zona 17.

Tabla 4 Mosaicos con información digital de los mapas topográficos, red de drenaje y curvas de nivel de la Cuenca del Río Parita. Fuente: IGTG, 2012.

| Nombre | Código | Nombre | Código |
|----------------|-------------|----------------|-------------|
| Boca de Parita | 4140 III SW | Los Helechales | 4039 III NE |
| Cabuya | 4040 II SW | Ocú | 4039 IV NE |
| Chitré | 4139 IV NW | París | 4040 II SE |
| El Barrito | 4039 IV NW | Parita | 4039 I NE |
| El Ciruelo | 4039 I SW | Pedregoso | 4039 I NW |
| Las Guabas | 4039 IV SE | Pesé | 4039 I SE |
| Las Minas | 4039 II NW | Ponuga | 4039 IV SW |

4.9. Información Meteorológica básica

La precipitación en la Cuenca del Río Parita actualmente es medida por 4 estaciones meteorológicas (Tabla 5).

Tabla 5 Características de las estaciones meteorológicas que se encuentran en la Cuenca del río Parita. Fuente: ETESA.

| Número | Nombre | Tipo de Estación | Elevación (m.s.n.m.) | Norte | Este |
|---------|-------------------|------------------|----------------------|--------|--------|
| 130-002 | Parita | AM | 43 | 884390 | 552866 |
| 130-004 | Llano De La Cruz | CC | 60 | 879795 | 539676 |
| 130-006 | Valle Rico De Ocú | CC | 53 | 878777 | 523910 |
| 130-007 | Valle Rico 2 | AA | 141 | 869074 | 528018 |

AM: Estación tipo A Mixta

CC: Estación tipo C Convencional

AA: Estación tipo A Automática

4.10. Información Hidrológica básica

Los caudales fueron medidos en la estación hidrométrica La Valdesa (la cual se encuentra actualmente inactiva) que registró 43 años en el periodo de 1973 y 2015

(Tabla 6). En la Figura 14 se presenta la localización de las estaciones hidrometeorológicas de la Cuenca del Río Parita.

Tabla 6 Descripción de la estación hidrológica La Valdesa. Fuente: ETESA.

| Número | Nombre | Tipo de Estación | Elevación (m.s.n.m.) | Norte | Este |
|-----------|------------|------------------|----------------------|--------|--------|
| 130-01-02 | La Valdesa | At | 20 | 882447 | 545949 |

At Estación Hidrológica Automática



Figura 14 Localización de las estaciones hidrometeorológicas de la Cuenca del Río Parita. Adaptado de ETESA.

4.11. Estimación de la Precipitación Promedio Mensual y Máxima

De las 4 estaciones meteorológicas analizadas solamente, la estación 130-004 de Llano de la Cruz es la única serie de datos completa de 45 años en el periodo que corresponde entre los años 1973 y 2017. De esta serie de datos se identificó que la

precipitación promedio más baja con un valor de 1.81 mm ocurrió en el mes de febrero y la precipitación promedio más alta con valor de 255.07 mm ocurrió en el mes de octubre, todo esto localizado en la parte media de la Cuenca (Figura 15).

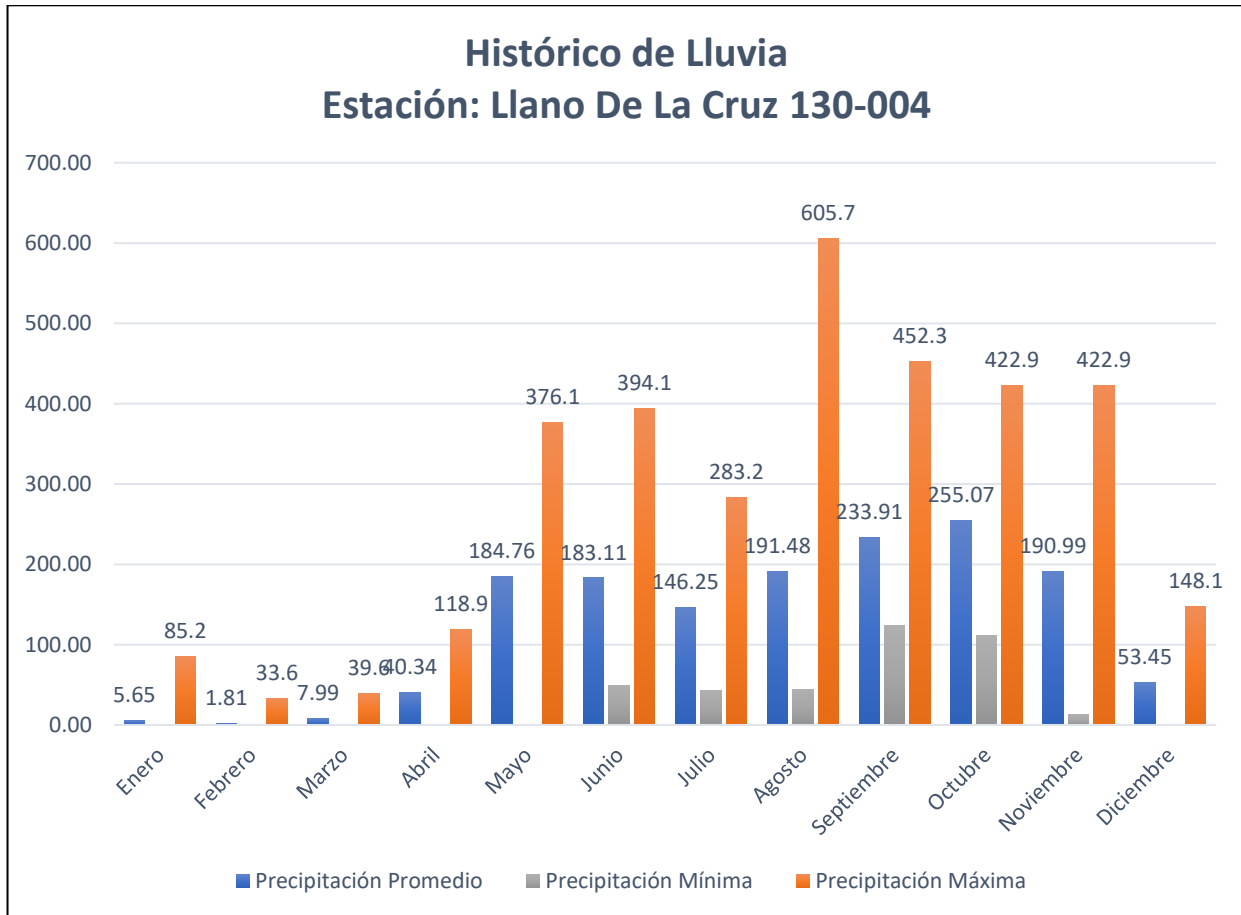


Figura 15 Precipitación Promedio y Máxima de la Estación Llano De La Cruz. Fuente: ETESA.

4.12. Estimación del Caudal Promedio, Mínimo y Máximo

Revisando los 40 años de registro de los caudales medios diarios del Río Parita obtenidos por la Autoridad del Canal de Panamá (ACP, 2020) para el periodo 1973-2015, se observó que el caudal promedio mínimo ocurre entre los meses de enero hasta abril cuando la precipitación es escasa, sin embargo, el caudal empieza a

aumentar considerablemente de mayo a junio, que es la transición entre la temporada seca a lluviosa.

En la Figura 16, en el periodo analizado, se observa que el caudal máximo ocurre en el mes de octubre con un valor de 31.43 m³/s y el caudal mínimo ocurre en el mes de marzo con un valor de 1.14 m³/s.

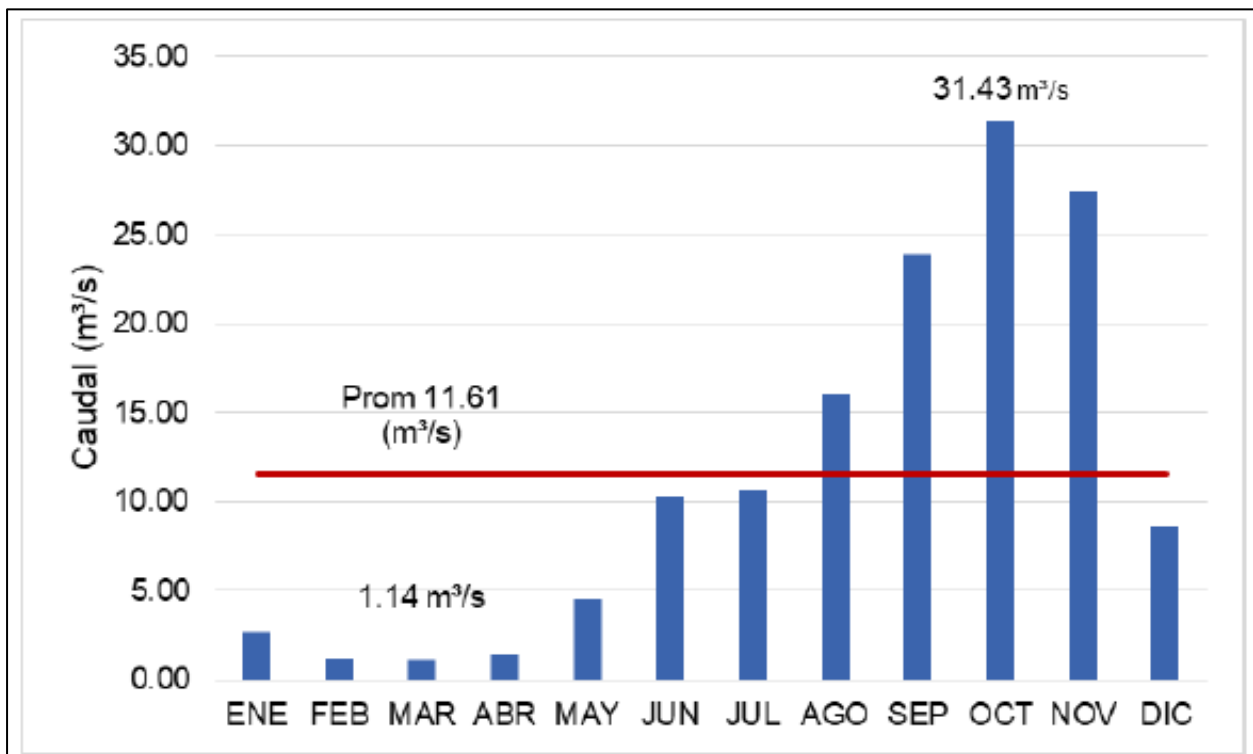


Figura 16 Caudales Mensuales de la Estación La Valdesa. Fuente: ACP, 2020.

4.13. Hidrogeología

4.12.1 Unidades Hidrogeológicas de la Cuenca del Río Parita

Las unidades hidrogeológicas se describen en el Mapa Hidrogeológico (Figura 17). Este mapa se elaboró con la información geoespacial suministrada por MiAmbiente, el Mapa Hidrogeológico de Panamá en escala 1:1,000,000 y el Informe Final (ETESA, 1999). El Mapa Hidrogeológico de Panamá es el resultado de la colaboración de la UNESCO,

Entidades Gubernamentales y Consultores que formaron Grupos de Trabajo para la elaboración de la primera Cartografía Hidrogeológica del país.

Este grupo estuvo conformado por:

- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO)
- Universidad de Panamá
- Instituto de Recursos Hidráulicos y Electrificación (IRHE, hoy en día ETESA)
- Hidrogeoservicios, S.A.
- Instituto de Acueductos y Alcantarillados Nacionales (IDAAN)
- Ministerio de Comercio e Industrias (MICI)

Se clasificó las Unidades Hidrogeológicas en la Cuenca del Río Parita en función de su productividad (Tabla 7).

Tabla 7 Unidad Hidrogeológica en función de su productividad. Fuente: Fuente: ETESA, 1999.

| Unidad Hidrogeológica | Productividad (m ³ /h) |
|---|-----------------------------------|
| Acuíferos Predominantemente Inter Granulares (Acuíferos Moderadamente Productivos) Acuíferos Predominantemente Fisurados (Acuíferos Moderadamente Productivos) | Q=3-10 m ³ /h |
| Áreas con acuíferos locales Intergranulares o Fisurados (Acuíferos locales continuos o discontinuos de productividad limitada) | Q=3-5 m ³ /h |
| Áreas con acuíferos locales Intergranulares o Fisurados (Acuíferos locales continuos o discontinuos (de muy baja producción)) | Q=1-3 m ³ /h |

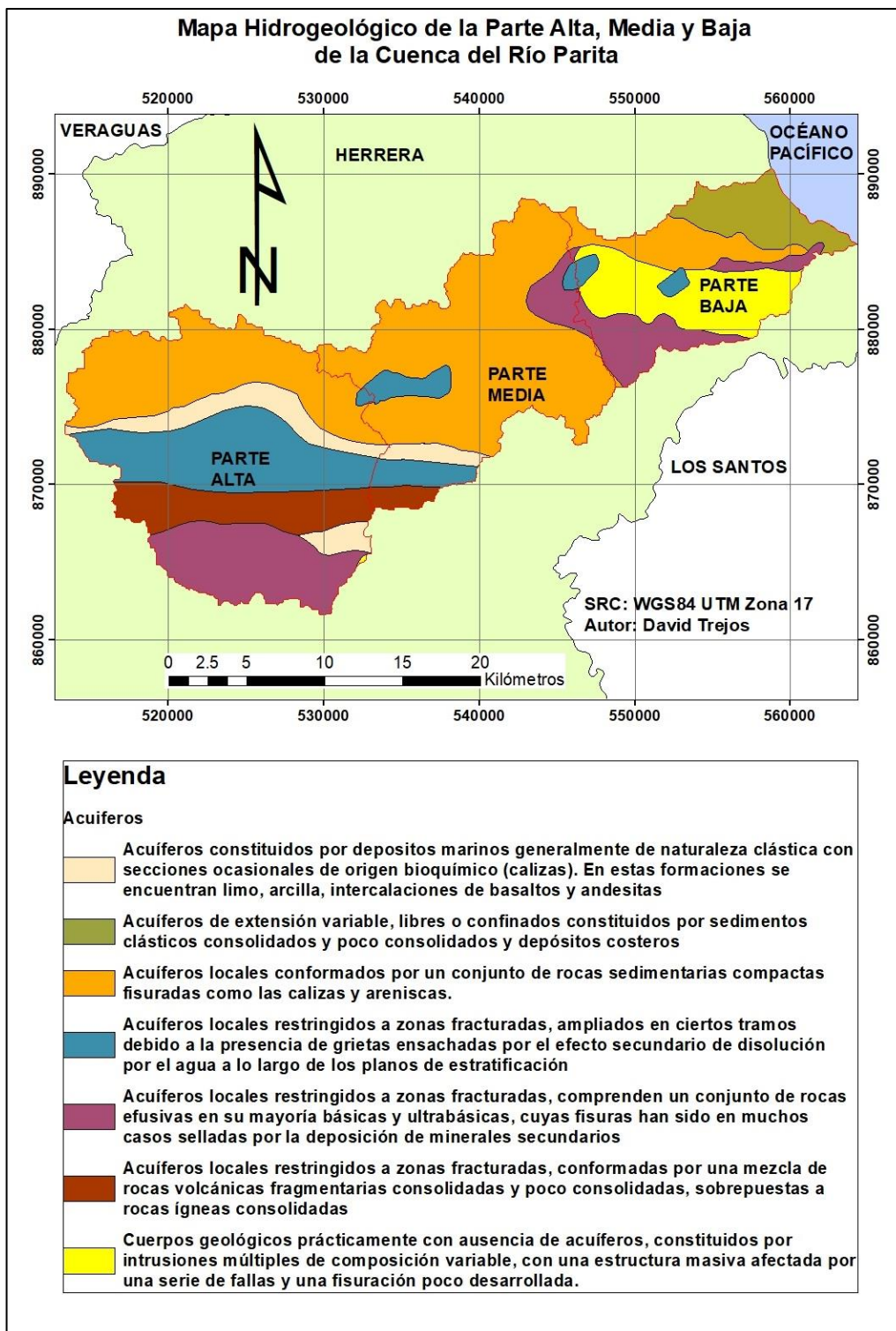


Figura 17 Mapa Hidrogeológico de la Parte Alta, Media y Baja de la Cuenca del Río Parita. Adaptado de ETESA, 1999.

4.12.1 Parámetros Hidráulicos

La Transmisividad se obtuvo del Informe Digitalizado de Pozos por medio, del departamento de Ingeniería Rural y Riego del MIDA. Se pudo comprobar que el coeficiente de almacenamiento no fue estimado en el Informe. En la Tabla 8 se presenta el resumen de los parámetros hidráulicos de los pozos de los trabajos realizados por la empresa TAHAL CONSULTING ENGINEERS LTD. entre los años 1999 y 2003 integrado con el Mapa Hidrogeológico de Panamá (ETESA, 1999).

Tabla 8 Parámetros Hidráulicos que corresponden a las perforaciones en la Cuenca del Río Parita entre los años 1999 y 2003. Fuente: Tahal Consulting Engineers LTD., 2003 y ETESA, 1999.

| Pozo | Espesor (m) | Transmisividad (m ² /d) | Caudal (m ³ /s) | Tipo de acuífero | Litología/Ocurrencia de Aguas Subterráneas |
|------|-------------|------------------------------------|----------------------------|------------------|--|
| 1 FC | 24.39 | 90 | 0.007 | Confinado | Arcilla, Lava Volcánica / Áreas con Acuíferos Locales (Intergranulares o Fisurados) de Productividad Limitada |
| 2 GM | 36.59 | 242 | 0.003 | Confinado | Arcilla plástica, Arenisca color marrón con calcita, hematita y cuarzo / Áreas con Acuíferos Locales (Intergranulares o Fisurados) de Productividad Limitada |
| 3 MA | 33.54 | 419 | 0.005 | Confinado | Arcilla muy plástica, Arcilla más roca meteorizada, calcita, basalto / Acuíferos predominantemente Fisurados y Moderadamente Productivos |
| 4 EA | 42.68 | 11 | 0.003 | Confinado | Arcilla y suelo, Arcilla más roca meteorizada, roca alterada fracturada, lava volcánica / Acuíferos predominantemente Fisurados y Moderadamente Productivos |
| 5 AA | 23.48 | 50 | 0.002 | S/D | Sin Litología / Acuíferos predominantemente Fisurados y Moderadamente Productivos |

Continuación de la Tabla 7

| Pozo | Espesor (m) | Transmisividad (m²/d) | Caudal (m³/s) | Tipo de acuífero | Litología/Ocurrencia de Aguas Subterráneas |
|-------------|--------------------|---|---------------------------------|-------------------------|---|
| 6 OF | 28.96 | 45 | 0.007 | S/D | Sin Litología / Acuíferos predominantemente Fisurados y Moderadamente Productivos |
| 8 MJ | 44.21 | 52 | 0.002 | Confinado | Arcilla, roca muy alterada, basalto / Acuíferos predominantemente Fisurados y Moderadamente Productivos |
| 9 JM | 32.01 | 19 | 0.008 | Confinado | Arcilla, aluvión, roca meteorizada, arenisca, toba / Acuíferos predominantemente Fisurados y Moderadamente Productivos |
| 10 NF | 36.59 | 200 | 0.006 | Confinado | Arcilla gris marrón, Arcilla más roca meteorizada, roca alterada, andesita/ Acuíferos predominantemente Fisurados y Moderadamente Productivos |
| 11 MV | 42.68 | 30 | 0.004 | Confinado | Arcilla plástica, Arcilla más roca meteorizada, roca meteorizada, toba, basalto, piroclástico / Acuíferos predominantemente Fisurados y Moderadamente Productivos |
| 12 OV | 42.68 | 424 | 0.006 | S/D | Sin Litología / Acuíferos predominantemente Fisurados y Moderadamente Productivos |

4.14. Inventario de los Puntos de Agua

El inventario de fuentes de agua subterránea es una herramienta importante para la toma de decisiones en la gestión de los recursos hídricos (Ministerio de Agricultura y Riego, 2020). Los inventarios hidrogeológicos de la Cuenca del Río Parita se obtuvieron de las entidades gubernamentales (Tabla 9) de Panamá (IDAAN, MIDA, MINSA y MIAMBIENTE) las cuales manejan su propia la base de datos hidrogeológica de pozos perforados por provincia tanto públicos como privados.

Tabla 9 Función de las Entidades en la explotación y Manejo de Recursos de Agua Subterránea.
Fuente: Castellon, 2016.

| Entidad | Función |
|------------|---|
| IDAAN | Perforar pozos para proveer agua de uso doméstico a Comunidades rurales y pueblos con una población mayor que 1500 habitantes. |
| MINSA | Perforar pozos para proveer agua de uso doméstico a Comunidades rurales y pueblos con una población menor que 1500 habitantes. |
| MIDA | Perforar pozos en fincas privadas para propósitos de Agricultura |
| MiAmbiente | Regula el uso del agua subterránea en Panamá y coordina las acciones de las diferentes instituciones públicas y compañías privadas que explotan los acuíferos del país. |

Sin embargo, homogeneizar esta base de datos fue una gran limitante ya que se encontró mucha información incompleta como, por ejemplo: coordenadas geográficas o UTM, detalles de litología, parámetros hidráulicos y cotas.

Integrando la información del IDAAN, MiAmbiente, MINSA y el MIDA, entre el periodo de 2001 al 2021 se logró obtener 510 pozos georreferenciados (Figura 18). La gran mayoría de estos pozos corresponden a uso agropecuario y son predominantemente caudales de magnitud muy pequeños.

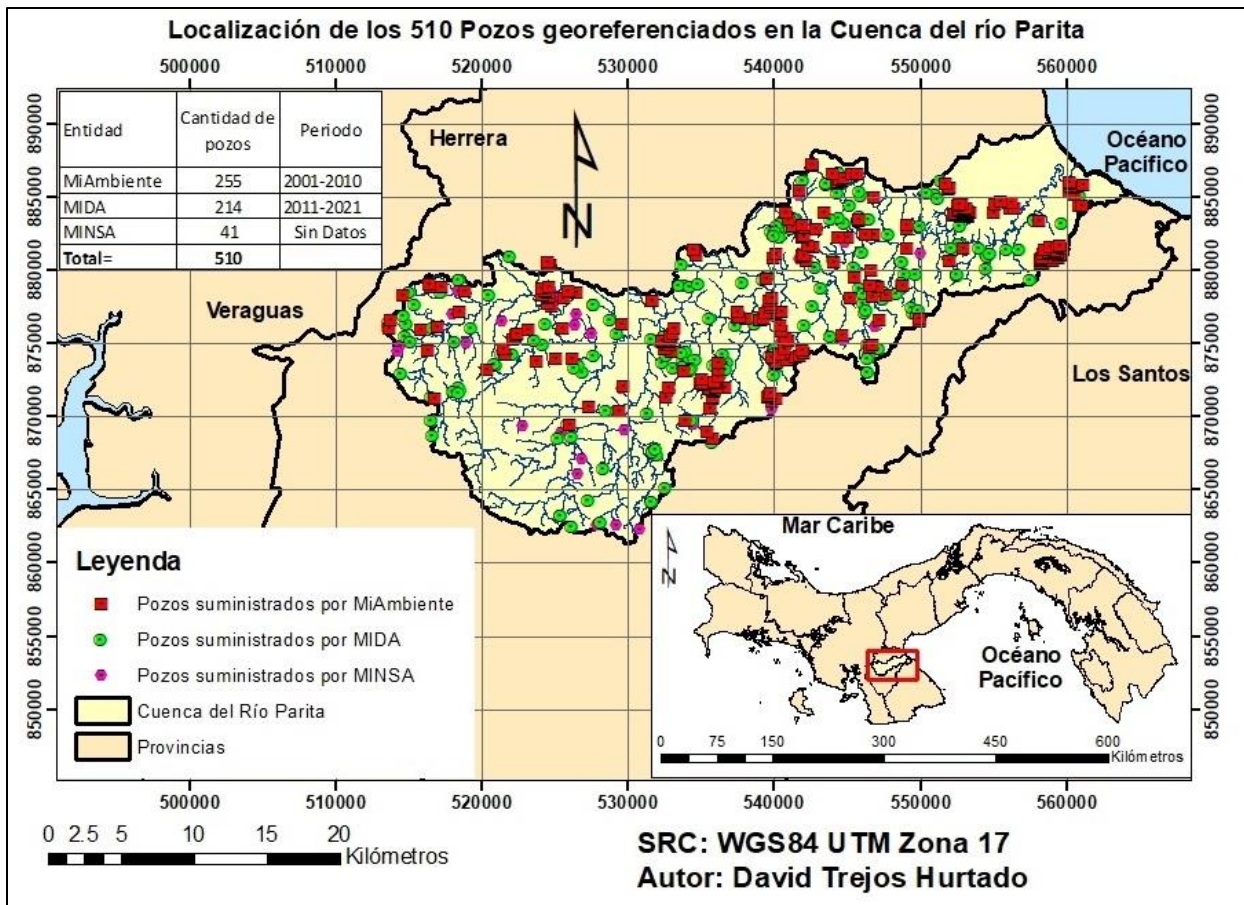


Figura 18 Localización de los 510 Pozos georeferenciados en la Cuenca del Río Parita. Adaptado del MIDA, 2021.

4.15. Pozos de Monitoreo

Según el personal técnico de la oficina de Ingeniería Rural y Riego del MIDA, desde el año 2004 se han estado realizando un monitoreo mensual de los 22 pozos (Figura 19). De estos 22 pozos, solo 10 son monitoreados dentro de la Cuenca del Río Parita.

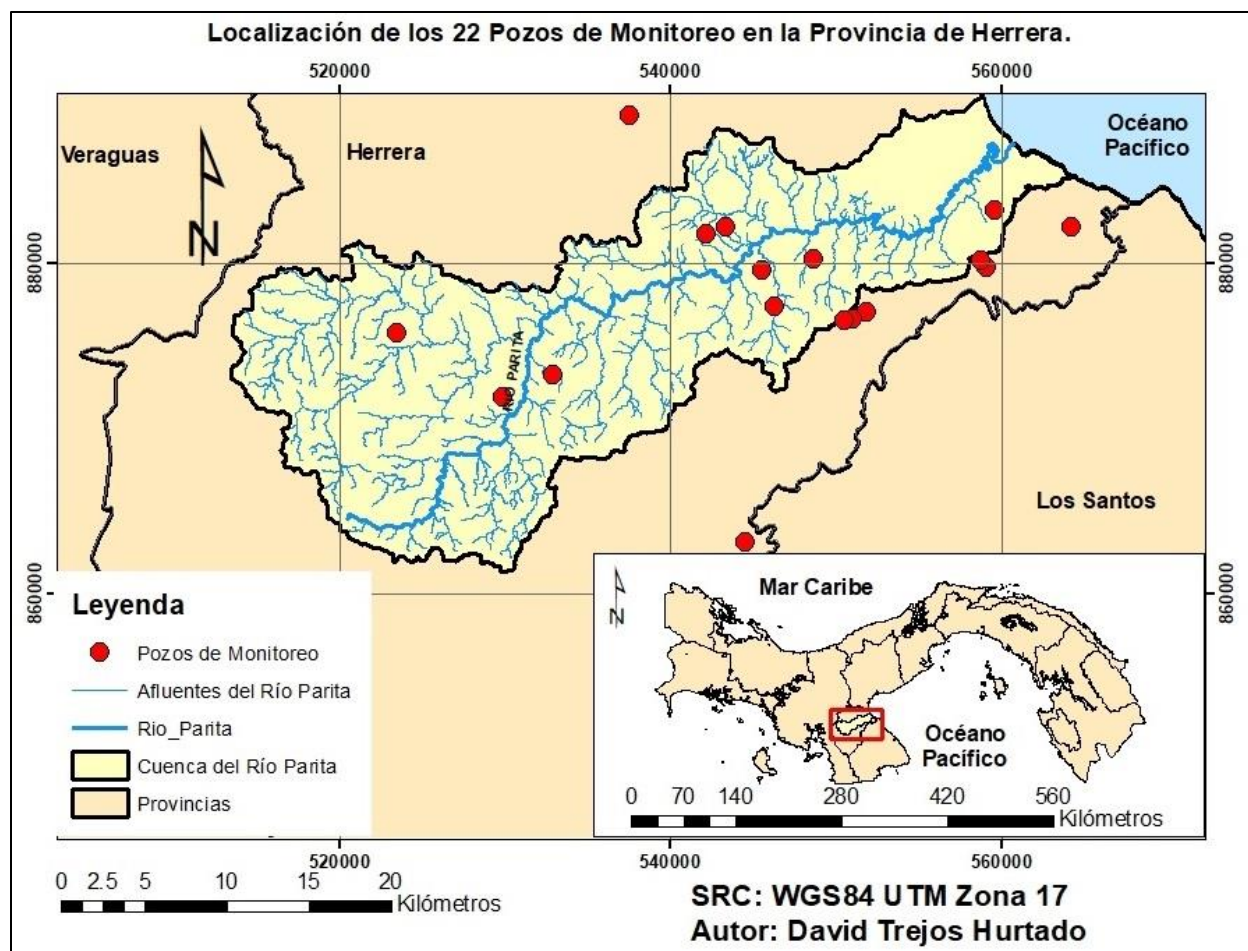


Figura 19 Localización de los 22 Pozos de Monitoreo en la Provincia de Herrera. Adaptado de MIDA, 2021.

4.16. Modelo Geológico

4.16.1 Estratigrafía

De la información entregada por las entidades gubernamentales tales como MiAmbiente y el MIDA se logró integrar 89 registros de perforaciones (Tabla 10) con detalle de litología en la provincia de Herrera, donde se verificó en el software ArcGIS que 39 perforaciones se encuentran dentro de la Cuenca del Río Parita.

En la Figura 20 se muestra los registros de perforaciones con información litológica que se usó para el Modelo Geológico de la Cuenca del Río Parita.

Tabla 10 Litología en la Provincia de Herrera y en la Cuenca del Río Parita. Fuente: MIDA.

| Entidad | Perforaciones dentro y fuera de la Cuenca | Perforaciones dentro de la Cuenca |
|------------|---|-----------------------------------|
| MiAmbiente | 42 | 13 |
| MIDA | 47 | 26 |
| Total | 89 | 39 |

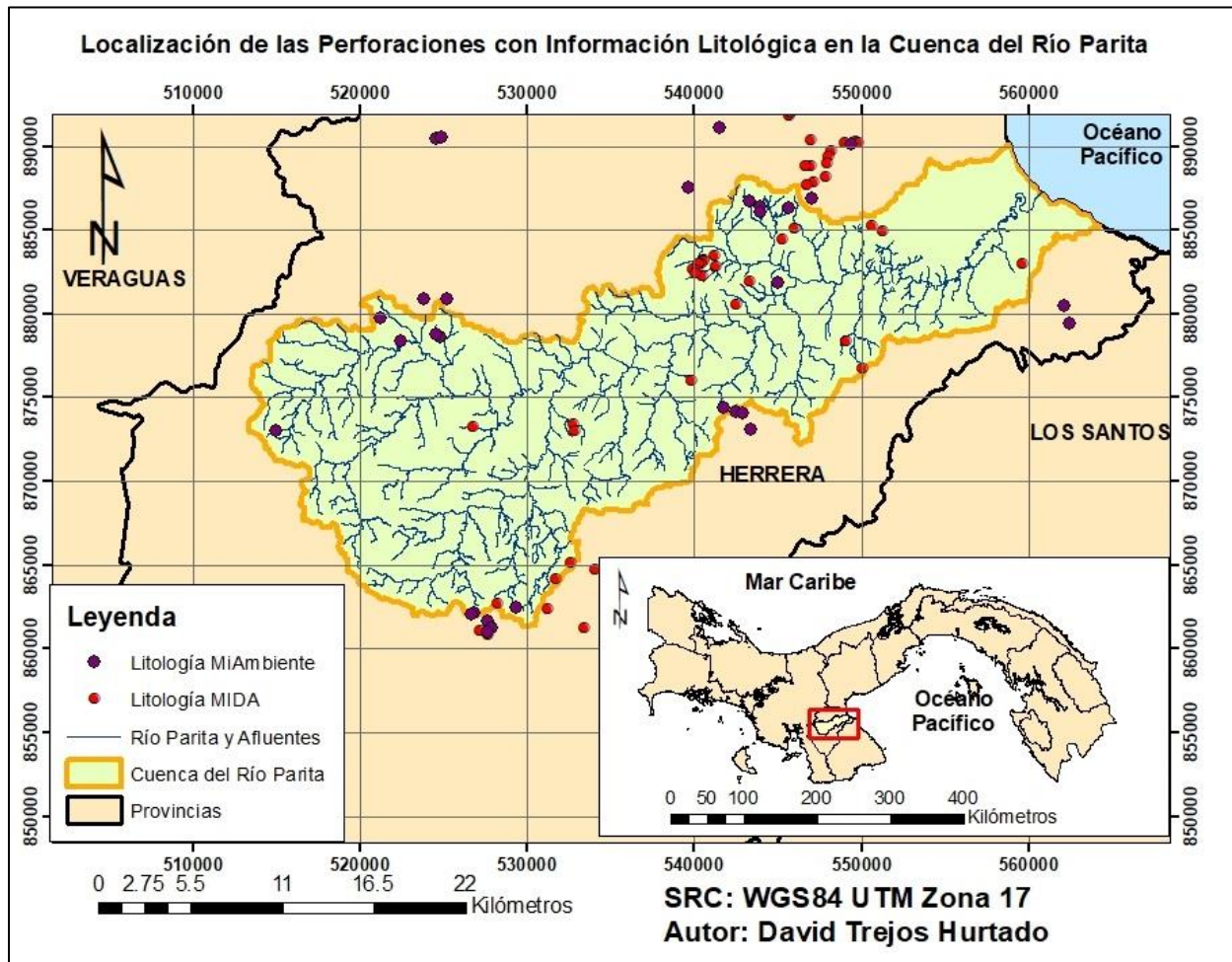


Figura 20 Localización de los Registros de perforaciones en la Cuenca del Río Parita. Adaptado de MIDA, 2021.

4.17. Modelo Hidráulico

Para el Modelo Hidráulico se elaboraron 4 mapas: Nivel Piezométrico (NP), Conductividad Hidráulica (k) y Transmisividad (T). En estos mapas se aplicó la metodología de la distancia de la ponderación inversa (IDW) en el software ArcGIS. La razón por la cual se aplicó esta metodología es que se requería convertir los puntos (NP,

k y T) a un archivo ráster para simplificar la interpretación de estas variables hidráulicas en un análisis cualitativo clasificado por intervalos.

De acuerdo con el sitio web del proveedor ESRI (<https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.5/tools/3d-analyst-toolbox/comparing-interpolation-methods.htm>), este método consiste en una interpolación de puntos donde se hace una estimación de los valores de las celdas calculando promedios de los valores de los puntos de datos de muestra (ya sea NP, k y T) en la vecindad de cada celda de procesamiento. Cuanto más cerca está un punto del centro de la celda que se está estimando, más influencia o peso tendrá en el proceso de cálculo del promedio.

- Nivel Piezométrico:

Para obtener el nivel piezométrico (NP) se requiere restar la cota en metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m.), menos las profundidades de agua en metros que provienen del monitoreo de los pozos.

- Líneas de Flujo:

Para definir los patrones de flujo subterráneo, se dibujó a mano alzada en el plano de los niveles piezométricos. Se traza la dirección del flujo del Nivel Piezométrico mayor al Nivel Piezométrico menor viendo la interacción entre el Río Parita, sus afluentes y los acuíferos.

- Conductividad Hidráulica y Transmisividad:

Según la Ley de Darcy, la ecuación de Transmisividad es $T=k*e$, donde T es la Transmisividad en $m^2/día$; k es la Permeabilidad o Conductividad Hidráulica en $m/día$ y e es el Espesor del Acuífero en m. Despejando la Conductividad Hidráulica tenemos que $k=T/e$.

4.18. Ciclo Hidrológico

El ciclo hidrológico es la continua circulación de agua desde la tierra y el mar a la atmósfera y viceversa (USGS, 2017). Los componentes del ciclo hidrológico se clasifican

en: precipitación, evaporación, transpiración, infiltración, escorrentía superficial y flujo subterráneo (Figura 21).

Cuando se da el fenómeno de precipitación, el agua se distribuye de diferentes formas: Una parte escurre sobre la superficie del suelo hacia los cuerpos de agua, otra parte se infiltra en el subsuelo, otra parte es retenida en el suelo y retorna a la atmósfera por evaporación (conversión de líquido a vapor de agua). Otra parte retorna a la atmósfera por transpiración, la cual es la pérdida de agua a través de las plantas. Al combinar la evaporación y transpiración, esta pérdida de agua se denomina evapotranspiración (Cedeño, 1997).

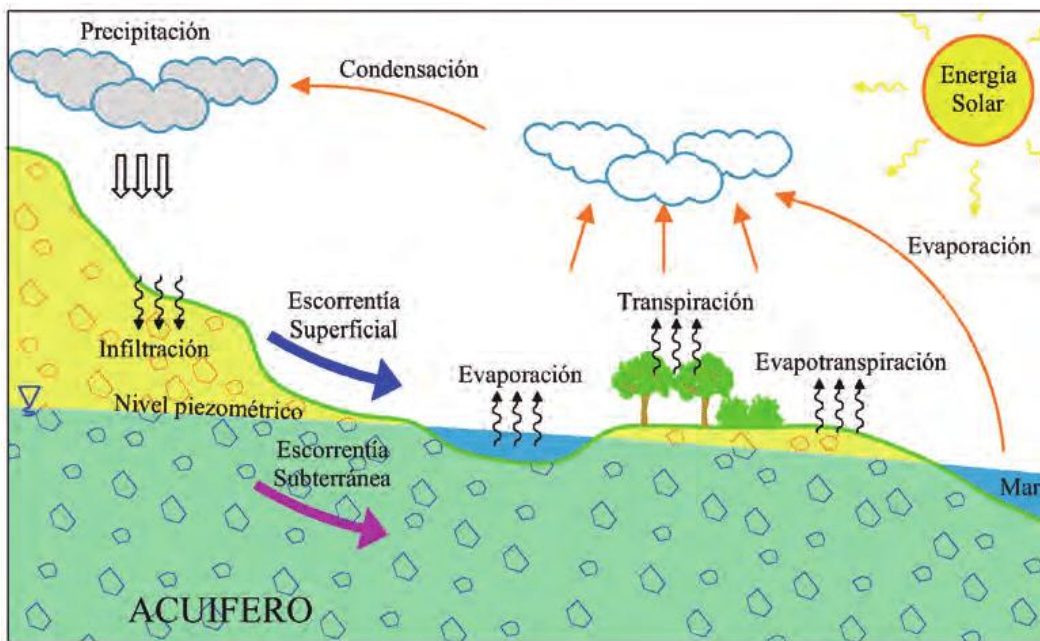


Figura 21 Esquema del Ciclo Hidrológico. Modificado de Martínez-Alfaro y cols, 2006.

El cálculo del Balance Hídrico se realizó por medio del método directo. Los datos de partida que se requieren para el Balance Hídrico son la precipitación media mensual y la evapotranspiración potencial (Universidad de Sevilla, 2018).

En el balance hídrico se requiere definir mensualmente los siguientes parámetros: Precipitación (P), Evapotranspiración potencial o de referencia (ETP), Precipitación Útil (P-ETP), Reserva (R), Variación de la Reserva (VR), Evapotranspiración real (ETR), Déficit (D) y Excedente (Ex).

4.19. Evapotranspiración Potencial Mensual

En las 4 estaciones meteorológicas de la Cuenca del Río Parita actualmente no hay mediciones de la Evapotranspiración Potencial, sin embargo, se va a mostrar valores de referencia en los informes desarrollados por la Empresa Consultora Nómadas de Centroamérica y el Consultor Ingeniero Ivanor Ruiz de León.

- Nómadas de Centroamérica: Según el Informe Final (Souifer, 2010), la cuenca del Río Parita registró en el periodo de 1972-2002 una evapotranspiración promedio anual de 1,300 mm al año (UNESCO, 2008).

Ingeniero Ivanor Ruiz de León: Según el Informe Final (Ruiz de León, 2012), a falta de datos de evapotranspiración potencial en las estaciones meteorológicas en la Cuenca del Río Parita se tomó como referencia valores de estación (Tabla 11) más cercana a la zona de estudio, la estación Los Santos ubicada en la Cuenca del Río La Villa (Figura 22).

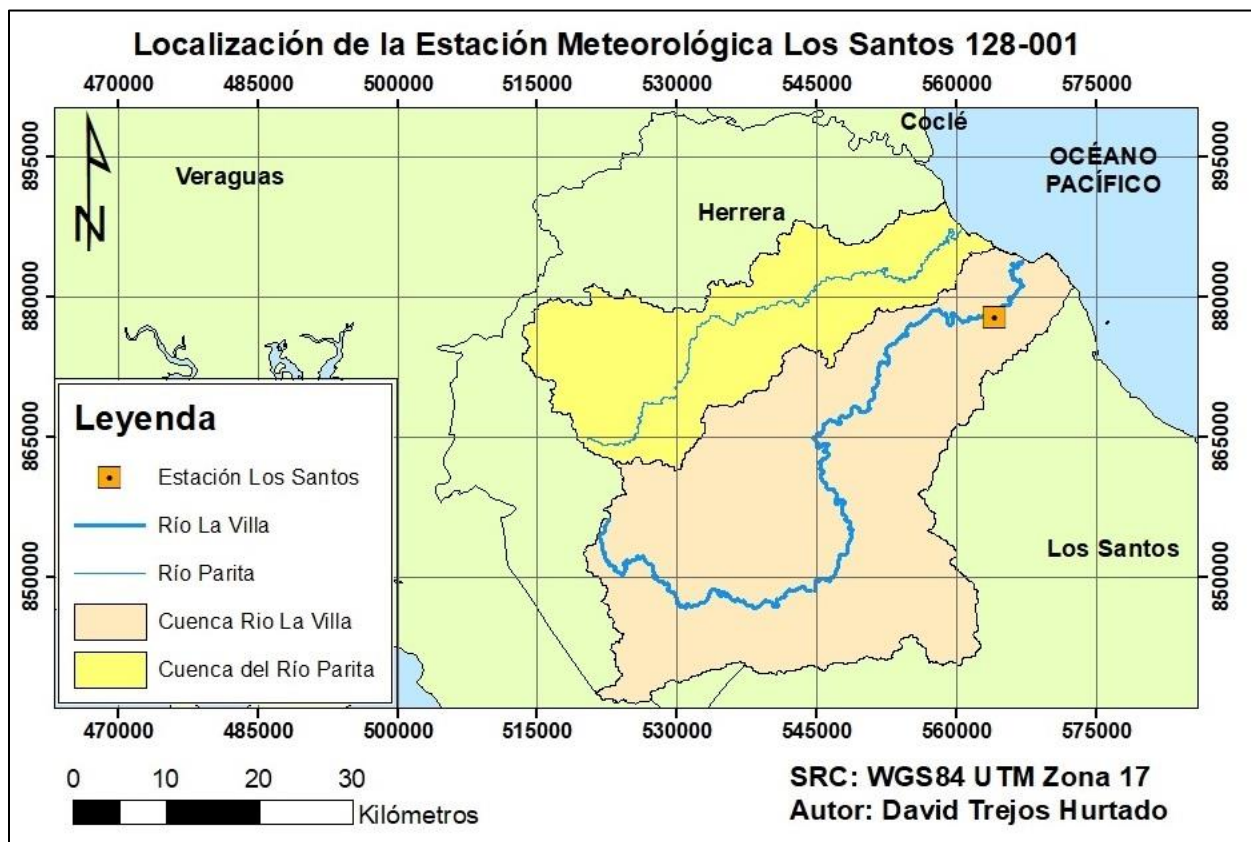


Figura 22 Localización de la Estación Meteorológica Los Santos. Adaptado de ETESA.

Tabla 11 Evapotranspiración potencial mensual en mm para los años 2010 y 2011 registrado por la Estación Los Santos. Fuente: Ruiz De León, 2012.

| Mes | Ene. | Feb. | Mar. | Abr. | May. | Jun. | Jul. | Ago. | Sep. | Oct. | Nov. | Dic. | ETP ANUAL |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----------|
| 2010 | 0 | 0 | 162 | 143 | 125 | 90 | 102 | 108 | 102 | 102 | 100 | 111 | 1146 |
| 2011 | 121 | 121 | 139 | 120 | 105 | 93 | 101 | 101 | 101 | 97 | 90 | 103 | 1291 |

Como la precipitación mensual promedio se obtuvo al año 2021, se requirió actualizar la evapotranspiración potencial mensual al mismo año (Tabla 12) para el Balance Hídrico. Se investigó los mismos datos de la Estación Los Santos en la página web de la Dirección de Hidrometeorología de ETESA y se encontró lo siguiente:

Tabla 12 Evapotranspiración media mensual para el año 2021 en la Estación Los Santos. Fuente: ETESA, 2021.

| Mes | Ene. | Feb. | Mar. | Abr. | May. | Jun. | Jul. | Ago. | Sep. | Oct. | Nov. | Dic. | ETP ANUAL |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----------|
| 2021 | 91 | 87 | 142 | 124 | 116 | 97 | 95 | 107 | 101 | 100 | 102 | 117 | 1279 |

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Descripción General de la Cuenca del Río Parita

La superficie de drenaje de la Cuenca del río Parita es de 603.16 km² y la longitud del río principal es de 79.11 km. Se comparó con la información del Instituto Smithsonian de Investigaciones Tropicales (STRI, 2022) y se comprobó que tanto la delimitación de la cuenca y la longitud del tramo principal son similares. Hay que destacar que la información del Portal GIS Data fue digitalizada de los mapas topográficos del Instituto Geográfico Nacional Tommy Guardia, que es la fuente oficial del país. La elevación media de la Cuenca del Río Parita es de 35 m.s.n.m. (Gonzalez et al, 2008), lo que es un indicativo que la Cuenca del Río Parita está constituida en su mayor parte por Cerros Bajos y Colinas.

La precipitación media anual de las estaciones Parita y Llano de la Cruz del periodo de 1988-2017 son 1402 mm y 1495 mm respectivamente. De acuerdo con el mapa de

Isoyetas (Figura 23) (UNESCO, 2008), se comparó con las precipitaciones mensuales que se encuentran en el intervalo de 1276.81 a 1553.58 mm, por lo tanto, las precipitaciones de las estaciones Parita y Llano de la Cruz caen en el intervalo.

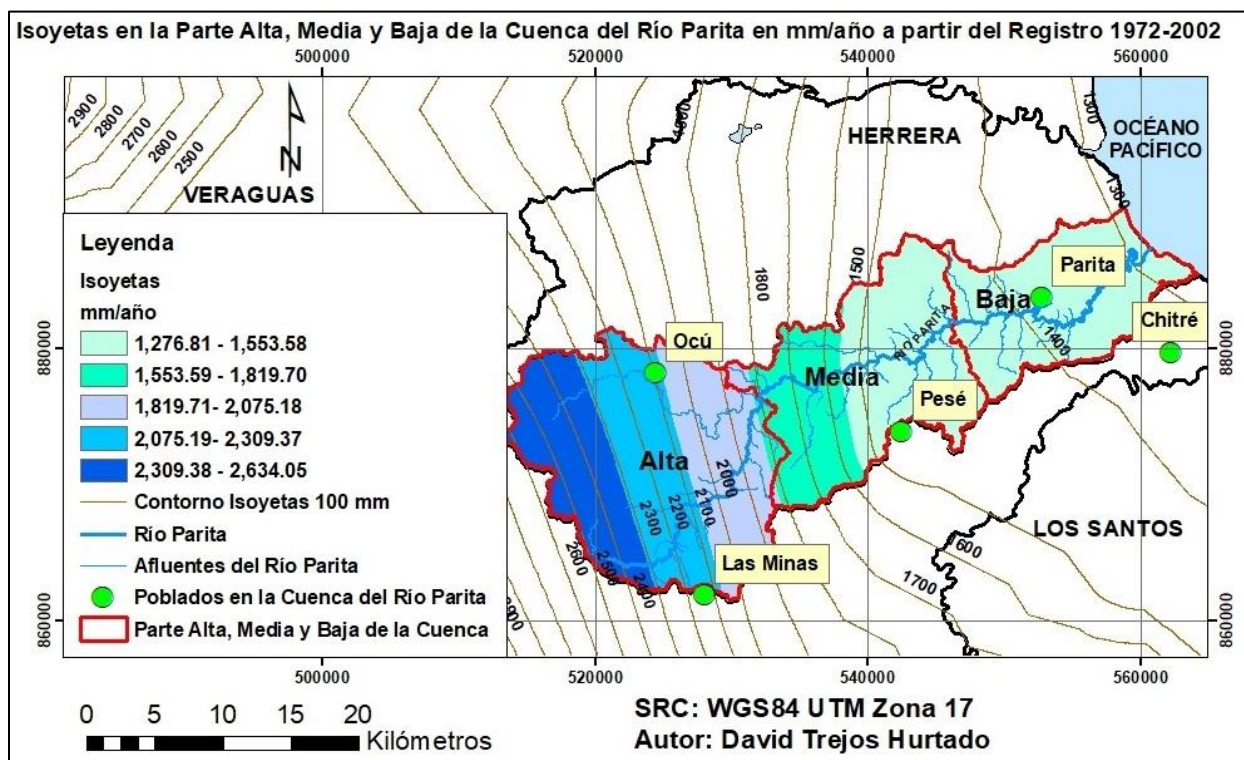


Figura 23 Isoyetas de la Parte Alta, Media y Baja de la Cuenca del Río Parita.

Las temperaturas medias anuales oscilan entre los 24.00°C y 26.84°C (Ruiz De León, 2012). Se estimó la temperatura promedio mensual a través de los datos de temperatura máxima y mínima diaria de la Estación Parita, (ETESA, 2018). Además, se comprobó que la temperatura media anual de este periodo es de 28.10 °C (Tabla 13). Este aumento de temperatura forma parte de las predicciones del Cambio Climático en un rango entre 0.50°C y 2.00°C (Comité de Alto de Nivel de Seguridad Hídrica, 2016).

Tabla 13 Temperatura Promedio Mensual en la Estación Parita en el Periodo 2010-2018.

| Ene. | Feb. | Mar. | Abr. | May. | Jun. | Jul. | Ago. | Sept. | Oct. | Nov. | Dic. |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 27.52 | 27.98 | 28.85 | 29.34 | 28.98 | 28.27 | 27.95 | 27.92 | 27.95 | 27.68 | 27.47 | 27.31 |

5.2. La Región del Arco Seco en Panamá

El polígono de la Región del Arco Seco en formato .shp (shapefile) suministrado por el Ministerio de Ambiente, se dividió en las 3 Provincias: Coclé, Herrera y Los Santos. La Zona de la Provincia de Herrera cubre un 23.67% (1488.02 km²) de la superficie total de la Región del Arco Seco (6285.22 km²) según Tabla 14. Se comprobó que la superficie de drenaje de la Cuenca del Río Parita (603.16 km²) abarca menos de la mitad de la Zona de Arco Seco en la Provincia de Herrera.

Tabla 14 Superficie de la Región del Arco Seco por Provincia.

| Región Arco Seco | Superficie (km²) |
|------------------------------------|------------------------------------|
| Zona de la Provincia de Coclé | 2375.57 |
| Zona de la Provincia de Herrera | 1488.02 |
| Zona de la Provincia de Los Santos | 2421.63 |
| Total | 6285.22 |

5.3. Geología Regional

Las formas geológicas de la Cuenca del Río Parita están constituidas predominantemente por rocas sedimentarias en 76.24% (Tabla 15). Las rocas volcánicas en un 15.62% y las rocas plutónicas en 8.14% se encuentran distribuido en la parte alta y entre la parte media y baja de la Cuenca.

Se comparó con la información del Mapa Geológico de Panamá (MICI,1990) con el Mapa Hidrogeológico de Panamá (ETESA, 1999) y se encontró que las formas geológicas descritas tienen características similares.

Tabla 15 Formas geológicas contrastadas con la superficie de la Cuenca del río Parita. Adaptado del MICI, 1990.

| Formas | Superficie (km²) | Porcentaje (%) |
|---------------|------------------------------------|-----------------------|
| Plutónicas | 49.08 | 8.14 |
| Sedimentarias | 459.71 | 76.24 |
| Volcánicas | 94.19 | 15.62 |
| Total | 602.98 | 100.00 |

5.4. Geología Estructural:

Hay 3 fallas identificadas por el Personal Técnico de la Autoridad del Canal de Panamá: la Falla de Ocú-Parita, la Falla Joaquín y Lineamiento del Río Santa María.

La Falla de Ocú-Parita se encuentra ubicada en la parte alta de la Cuenca y ponen en contacto las rocas cretácicas (más antiguas) de la Formación Ocú (compuesta por calizas y tobas) con la Formación Macaracas (compuestas por tobas y areniscas tobáceas). Este sistema de falla tiene una tendencia de noroeste a sureste (NW-SE). La Falla Joaquín se encuentra ubicada en la parte alta de la Cuenca donde se ponen en contacto las rocas volcánicas de la Formación Playa Venado (compuesta por basalto y pillow lavas) y el arco volcánico de Azuero de noroeste a sureste (NW-SE).

Se comparó las fallas mencionadas en el informe de ACP (ACP, 2020) con las fallas interpretadas del Portal GIS Data del Instituto Smithsonian de Investigaciones Tropicales (STRI, 2021) y se comprobó que en este último tiene más fallas (11) que atraviesan la parte alta, media y baja de la Cuenca del Río Parita. Estas fallas del Portal GIS Data fueron digitalizadas del Mapa Geológico de Panamá (MICI, 1988) en escala 1:250,000, que es la fuente oficial.

5.5. Geofísica:

En la validación de los resultados geofísicos se encontró lo siguiente:

Tabla 16 Validación de los resultados geofísicos en la Cuenca del Río Parita

| Técnica Geofísica | Autor y Año | Observación |
|---------------------------|-------------------------------------|---|
| Sondeo Eléctrico Vertical | Nómadas de Centroamérica, 2010. | En la comparación de los perfiles geofísicos se observó que la primera capa no coincide con el Mapa de Textura de Suelos (IDIAP, 2006). Sin embargo, en la capa 2, 3 y 4 de estos perfiles sí coinciden con el Mapa Hidrogeológico de Panamá (ETESA, 1999). |
| Tomografías Eléctricas | Infinity Technology No Limits, 2017 | En la comparación de los perfiles geofísicos se observó que las formas geológicas coinciden con el Mapa Hidrogeológico de Panamá (ETESA, 1999). |

5.6. Geomorfología:

La geomorfología de la Cuenca del Río Parita está constituida predominantemente por Regiones de Cerros Bajos y Colinas con una superficie de 506.02 km², que representa un 83.90 % de la superficie total de la Cuenca. En menor proporción las Regiones Bajas y Planicies Litorales tiene una superficie de 97.09 km² que representa un 16.10% de la superficie total de la Cuenca.

5.7. Climatología

Los tipos de clima según la clasificación de Köppen que se identificaron en la Cuenca del Río Parita son: clima tropical de sabanas y clima tropical húmedo.

El clima tropical de sabanas abarca una superficie de 360.59 km² y el clima tropical húmedo abarca una superficie de 242.35 km².

El clima tropical húmedo normalmente tiene una precipitación media anual mayor que 2250 mm, en el cual 60% (1350 mm) están concentrados en los 4 meses más lluviosos de forma consecutiva (agosto, septiembre, octubre y noviembre). En época de verano se reporta precipitaciones mensuales menores a los 60 mm y la temperatura media del mes más fresco es mayor a 18°C.

El clima tropical de sabanas se caracteriza por tener precipitación media anual mayor a 1000 mm, varios meses con lluvias menores a los 60 mm (es un indicador común en esta zona ya que la temporada seca se extiende de 4 a 6 meses) y la temperatura media del mes más fresco es menor a 18°C.

Por lo tanto, de acuerdo con la Clasificación del Clima según Köppen, las estaciones Parita y Llano de la Cruz cumplen con el criterio del clima, ya que ambos valores de lluvia (1402 y 1525 mm respectivamente) son mayores que 1000 mm.

5.8. Meteorología

Se hizo una comparación de la Precipitación Promedio Mensual de la Estación Llano de la Cruz actualizada hasta el año 2017 con los estudios previos (Tabla 17).

Tabla 17 Comparación de Precipitación Promedio Mensual de la Estación Llano de la Cruz.

| Autor | Precipitación Promedio Mensual (mm/mes) | Periodo |
|--------------------|---|-----------|
| Ruiz De León, 2012 | 125.12 | 1973-2011 |
| ACP, 2020 | 124.63 | 1973-2017 |
| Trejos, 2022 | 124.57 | 1973-2017 |

Se comparó los resultados del periodo 1973-2017 y se observa una leve diferencia de Precipitación Promedio Mensual 0.06 mm/mes. Al comparar este dato con el del Ing. Ivanor Ruiz De León, da una diferencia de 0.55 mm/mes, lo que es un indicativo que la tendencia de la precipitación ha ido disminuyendo con el tiempo. El periodo de análisis de la serie de precipitación de 1973-2017 que corresponde la Estación Llano de la Cruz (Figura 15), se observó que la precipitación promedio más baja es de 1.81 mm ocurrió en el mes de febrero y la precipitación promedio más alta es de 255.07 mm ocurrió en el mes de octubre. Al revisar la serie anual de precipitación de la Estación Llano de la Cruz se encontró que el valor precipitación media anual más bajo ocurrió en el año de 2015 con una magnitud de 932.1 mm. Se verificó dentro de los registros históricos del Fenómeno El Niño (NOAA, 2022), la NOAA clasificó el año 2015 como una intensidad muy fuerte, ya que sobrepasó el índice del niño oceánico (ONI en sus siglas en inglés) en un valor mayor a 2 (Figura 24).

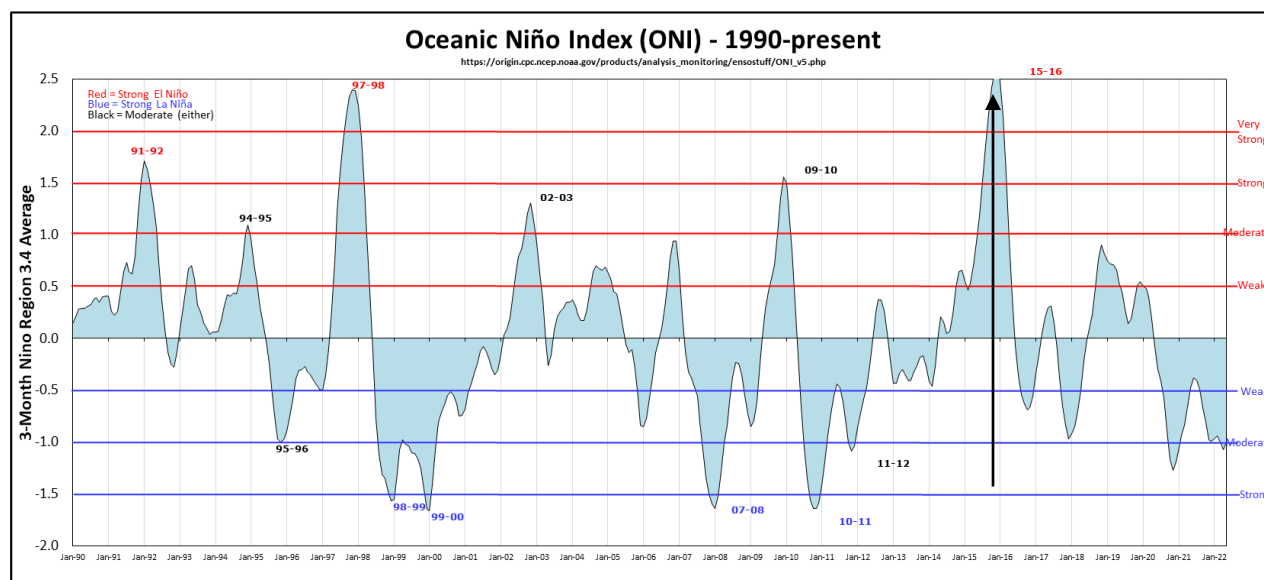


Figura 24 Gráfico de Índice del Niño Oceánico. Fuente: NOAA, 2022.

5.9. Hidrología

Al revisar las consultorías realizadas por la empresa Nómadas de Centroamérica (Souifer, 2010), Ing. Ivanor Ruiz De León (Ruiz De León, 2012) y la Autoridad del Canal de Panamá (ACP, 2020) se comprobó que en la actualidad solamente se ha calculado el Caudal del Río Parita, sin embargo, a la fecha no se ha determinado los caudales de los afluentes.

Se comparó los resultados (Tabla 18) de las 3 Consultorías y se encontró que los Caudales Promedios Mensuales del Río Parita estimados por Nómadas de Centroamérica no coinciden con el de ACP y el Ing. Ruiz De León. En el Informe de Nómadas Centroamerica, se indica que el caudal promedio del Río Parita fue de 8.85 m³/s. Sin embargo, del Informe de Nómadas de Centroamérica se verificó la Tabla N^o 8.33 de caudales promedio (m³/s) en la Estación La Valdesa al año 2010 y se corrigió el caudal promedio en una magnitud de 11.68 m³/s. Al comparar con el caudal calculado por el Ing. Ruiz De León (11.65) y la ACP (11.61 m³/s) se encontró que hay diferencias de -0.04 y -0.07 m³/s. Adicionalmente, al revisar la tendencia de caudales medios de la Estación La Valdesa (Figura 25) se observa que esta variable ha disminuido con el tiempo.

Tabla 18 Comparación de Caudales Promedios Mensuales de la Estación La Valdesa.

| Autor | Caudal Promedio Revisado (m³/s) | Caudal Promedio Validado (m³/s) |
|--------------------|---|---|
| Souifer, 2010 | 8.85 | 11.68 |
| Ruiz De León, 2012 | 11.65 | 11.65 |
| ACP, 2020 | 11.61 | 11.61 |

Adicionalmente, los caudales promedios mensuales en los años 2014 y 2015 por debajo de la media móvil de 5 y 10 años coinciden con el periodo del fenómeno del Niño más intenso de la historia (Miller, 2015).

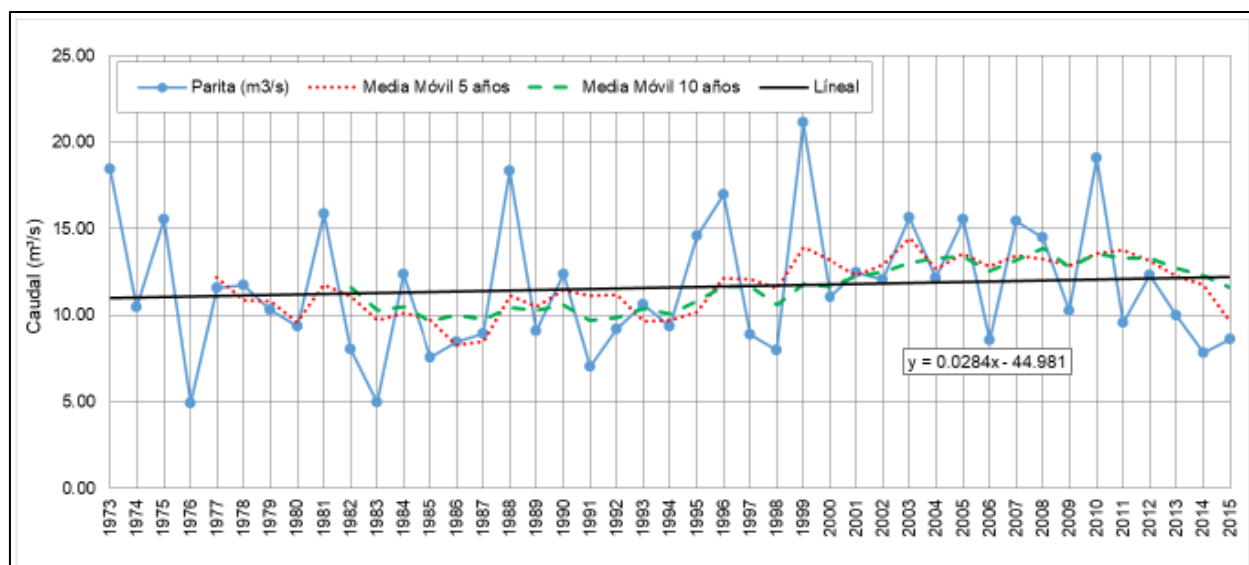


Figura 25 Caudales Promedios Mensuales de la Estación La Valdesa. Fuente: ACP, 2020.

5.10. Hidrogeología

La reinterpretación del Mapa Hidrogeológico del Arco Seco (Anexo V) se hizo a través del análisis de las unidades hidrogeológicas las cuales se dividieron en la Parte Alta, Media y Baja de la Cuenca del Río Parita. A cada una de las 7 unidades hidrogeológicas se calculó la distribución en área y porcentaje.

- **Análisis Hidrogeológico en Parte Alta de la Cuenca**

En la dirección del Suroeste hacia Noroeste de la parte alta de la Cuenca, se encuentran 6 unidades hidrogeológicas de los cuales 3 son acuíferos locales restringidos a zonas fracturadas: los que comprenden un conjunto de rocas efusivas, los que alcanzan una mezcla de rocas volcánicas fragmentarias consolidadas y poco consolidadas, sobrepuestas a rocas ígneas consolidadas y los que son ampliados en ciertos tramos debido a la presencia de grietas ensanchadas por el efecto secundario de la disolución por el agua. Las otras 3 unidades hidrogeológicas son acuíferos constituidos por depósitos marinos, rocas sedimentarias y cuerpos geológicos prácticamente con ausencia de acuíferos (acuífugos). Los acuíferos que más predominan son los que están conformados por rocas sedimentarias.

En la Tabla 19 se presenta la distribución de unidades hidrogeológicas por superficie y porcentaje en la Parte Alta. De acuerdo con la clasificación del Mapa Hidrogeológico, en la Cuenca Alta en función de su productividad existen Acuíferos Predominantemente Fisurados (Discontinuos) que son Moderadamente Productivos y Áreas con Acuíferos Locales Continuos o Discontinuos de Productividad Limitada que son Acuíferos de muy baja producción.

Tabla 19 Unidades Hidrogeológicas en la Parte Alta de la Cuenca del Río Parita.

| Unidades Hidrogeológicas en la Parte Alta | Área (km²) | Porcentaje (%) |
|--|------------------------------|-----------------------|
| Acuíferos constituidos por depósitos marinos generalmente de naturaleza clástica con secciones ocasionales de origen bioquímico (calizas). En estas formaciones se encuentran limo, arcilla, intercalaciones de basaltos y andesitas | 30.18 | 10.94 |
| Acuíferos locales conformados por un conjunto de rocas sedimentarias compactas fisuradas como las calizas y areniscas. | 84.94 | 30.80 |
| Acuíferos locales restringidos a zonas fracturadas, ampliados en ciertos tramos debido a la presencia de grietas ensanchadas por el efecto secundario de disolución por el agua a lo largo de los planos de estratificación | 68.55 | 24.85 |
| Acuíferos locales restringidos a zonas fracturadas, comprenden un conjunto de rocas efusivas en su mayoría básicas y ultrabásicas, cuyas fisuras han sido en muchos casos selladas por la deposición de minerales secundarios | 52.71 | 19.11 |
| Acuíferos locales restringidos a zonas fracturadas, conformadas por una mezcla de rocas volcánicas fragmentarias consolidadas y poco consolidadas, sobrepuestas a rocas ígneas consolidadas | 39.26 | 14.23 |
| Cuerpos geológicos prácticamente con ausencia de acuíferos, constituidos por intrusiones múltiples de composición variable, con una estructura masiva afectada por una serie de fallas y una fisuración poco desarrollada. | 0.18 | 0.07 |
| Total | 275.82 | 100.00 |

- **Análisis Hidrogeológico en Parte Media de la Cuenca**

Siguiendo la dirección de Sureste a Noroeste de la Cuenca, en la Parte Media se encuentran 5 unidades hidrogeológicas. Los 3 acuíferos restringidos a zonas fracturadas son del mismo tipo que se detalló en la parte alta, con la diferencia que están distribuidos en menor superficie. En la Tabla 20 se presenta la distribución de unidades

hidrogeológicas por superficie y porcentaje en la Parte Media. Al igual que en la Parte Alta existen Acuíferos Predominantemente Fisurados (Discontinuos) y Áreas con Acuíferos Locales Continuos o Discontinuos de Productividad Limitada.

Tabla 20 Unidades Hidrogeológicas en la Parte Media de la Cuenca del Río Parita.

| Unidades Hidrogeológicas en la Parte Media | Área (km²) | Porcentaje (%) |
|--|------------------------------|-----------------------|
| Acuíferos constituidos por depósitos marinos generalmente de naturaleza clástica con secciones ocasionales de origen bioquímico (calizas). En estas formaciones se encuentran limo, arcilla, intercalaciones de basaltos y andesitas | 6.63 | 3.46 |
| Acuíferos locales conformados por un conjunto de rocas sedimentarias compactas fisuradas como las calizas y areniscas. | 149.90 | 78.23 |
| Acuíferos locales restringidos a zonas fracturadas, ampliados en ciertos tramos debido a la presencia de grietas ensanchadas por el efecto secundario de disolución por el agua a lo largo de los planos de estratificación | 19.37 | 10.11 |
| Acuíferos locales restringidos a zonas fracturadas, comprenden un conjunto de rocas efusivas en su mayoría básicas y ultrabásicas, cuyas fisuras han sido en muchos casos selladas por la deposición de minerales secundarios | 10.08 | 5.26 |
| Acuíferos locales restringidos a zonas fracturadas, conformadas por una mezcla de rocas volcánicas fragmentarias consolidadas y poco consolidadas, sobrepuestas a rocas ígneas consolidadas | 5.64 | 2.94 |
| Total | 191.62 | 100.00 |

- **Análisis Hidrogeológico en la Parte Baja de la Cuenca**

Comprenden 5 tipos de acuíferos, los cuales 2 son acuíferos locales restringidos a zonas fracturadas (conformados por un conjunto de rocas efusivas y las que ha sido ampliadas por el efecto secundario de disolución por el agua), 1 acuífero de extensión variable, libres y confinados y 1 cuerpo geológico con ausencia de acuíferos (acuífugo). En la Tabla 21 se presenta la distribución de unidades hidrogeológicas por superficie y porcentaje en la Parte Baja. De acuerdo con la clasificación del Mapa Hidrogeológico en la Parte Baja es la única zona donde se identificó que existen los 3 tipos: Acuíferos Moderadamente Productivos (Predominantemente Intergranulares y Fisurados) y Áreas con Acuíferos Locales Continuos o Discontinuos de Productividad Limitada.

Tabla 21 Unidades Hidrogeológicas en la Parte Baja de la Cuenca del Río Parita.

| Unidades Hidrogeológicas en la Parte Baja | Área (km²) | Porcentaje (%) |
|---|------------------------------|-----------------------|
| Acuíferos de extensión variable, libres o confinados constituidos por sedimentos clásticos consolidados y poco consolidados y depósitos costeros | 30.27 | 22.33 |
| Acuíferos locales conformados por un conjunto de rocas sedimentarias compactas fisuradas como las calizas y areniscas. | 25.97 | 19.16 |
| Acuíferos locales restringidos a zonas fracturadas, ampliados en ciertos tramos debido a la presencia de grietas ensanchadas por el efecto secundario de disolución por el agua a lo largo de los planos de estratificación | 4.26 | 3.14 |
| Acuíferos locales restringidos a zonas fracturadas, comprenden un conjunto de rocas efusivas en su mayoría básicas y ultrabásicas, cuyas fisuras han sido en muchos casos selladas por la deposición de minerales secundarios | 26.88 | 19.83 |
| Cuerpos geológicos prácticamente con ausencia de acuíferos, constituidos por intrusiones múltiples de composición variable, con una estructura masiva afectada por una serie de fallas y una fisuración poco desarrollada. | 48.19 | 35.55 |
| Total | 135.57 | 100.00 |

5.11. Inventario de los Puntos de Agua

Se aporta por primera vez una base de datos de pozos actualizada e integrada en 4 Entidades Gubernamentales (IDAAN, MIDA, MiAmbiente y MINSa) la cual servirá en futuros estudios en la Cuenca del Río Parita. Se hizo una comparación de la base de datos actualizada y la base de datos recopilada por la empresa Nómadas de Centroamérica (Souifer, 2010) y se encontró lo siguiente:

- Después de 12 años, las Entidades Gubernamentales siguen recopilando la información de pozos en formatos diferentes.
- Después de 12 años, la base de datos hidrogeológica de las Entidades Gubernamentales sigue estando incompleta en cuanto a coordenadas UTM, Nivel Estático, Transmisividad, Cotas, etc.
- Después de 12 años, solamente el IDAAN cuenta con un profesional idóneo geólogo para los trabajos de perforación de pozos. El MIDA, MiAmbiente y el

MINSA no cuentan con un profesional geólogo y/o hidrogeólogo para los trabajos de perforación de pozos.

- Después de 12 años, en cuanto a manejo de la base de datos de pozos solamente el MIDA tiene información actualizada. El IDAAN, MiAmbiente y el MINSA no cuentan con una base de datos actualizada. El último informe reportado por el IDAAN se remonta desde el año 2017, el último informe de MiAmbiente es del año 2010 y el MINSA no tiene especificado las fechas de los datos, sin poder ser confirmado por el Personal Técnico.
- Del IDAAN se tuvo acceso a los informes y formularios impresos, sin embargo, no fue posible encontrar información en digital. Sin embargo, el MIDA, MiAmbiente y el MINSA si entregó información en formato digital.
- Después de 12 años, se observó que en la Cuenca del Río Parita no se ha hecho ninguna instalación adicional de piezómetros para monitorear las aguas subterráneas.

5.12. Modelo Geológico

De acuerdo con el registro de 89 perforaciones (Figura 20) se identificó 5 categorías más comunes de litología detalladas a continuación:

- Tobas
- Andesitas y Basaltos
- Arcilla
- Arena y conglomerados
- Areniscas y calizas

Los perfiles hidrogeológicos (Figura 26) se elaboraron después de revisar las 89 perforaciones que tuvieran la información hidrogeológica completa: Profundidad, Nivel Estático, Cota, Litología y Transmisividad.

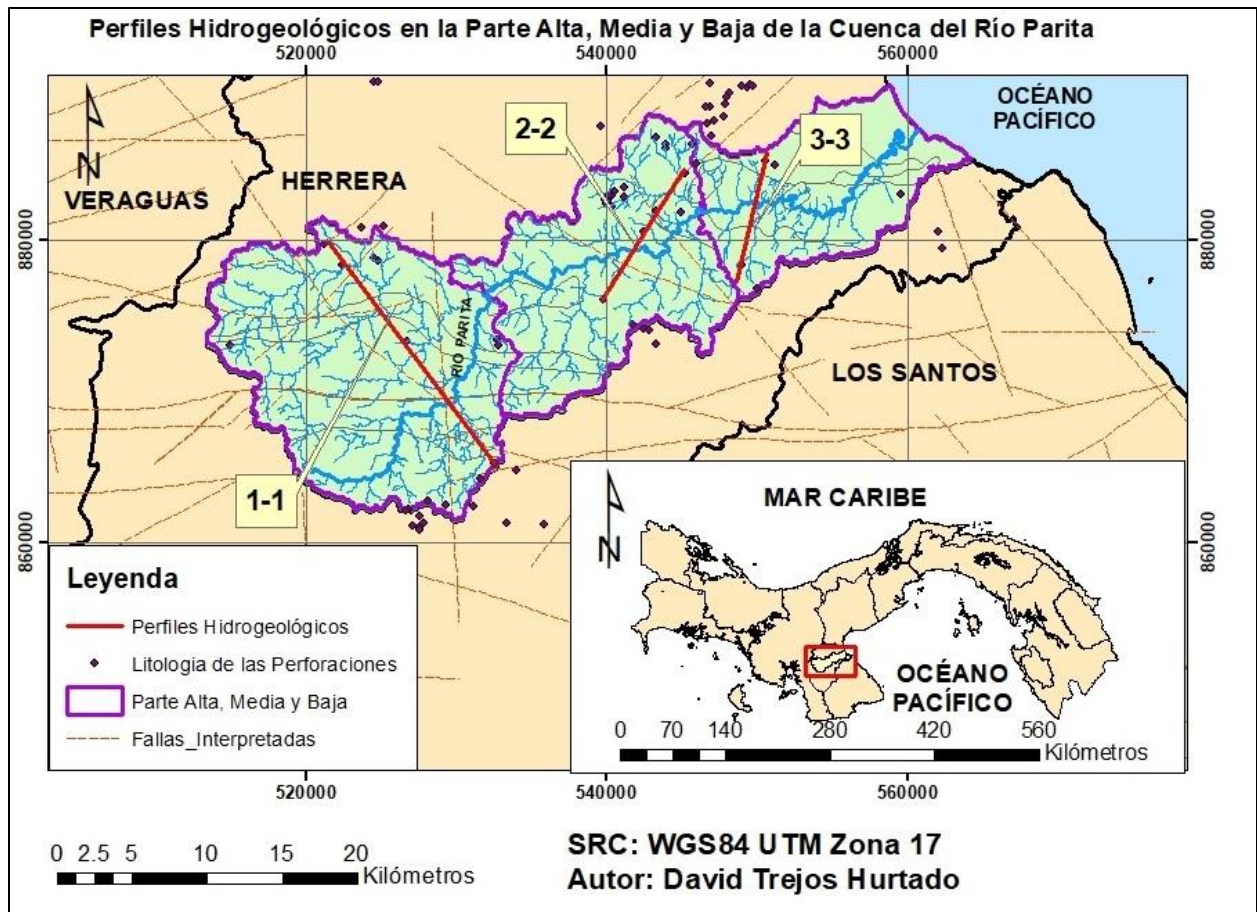


Figura 26 Perfiles Hidrogeológicos en la Parte Alta, Media y Baja de la Cuenca del Río Parita.

En la Figura 27, Figura 28 y Figura 29 se presentan los Perfiles Hidrogeológicos detallados de la Parte Alta, Media y Baja de la Cuenca del Río Parita.

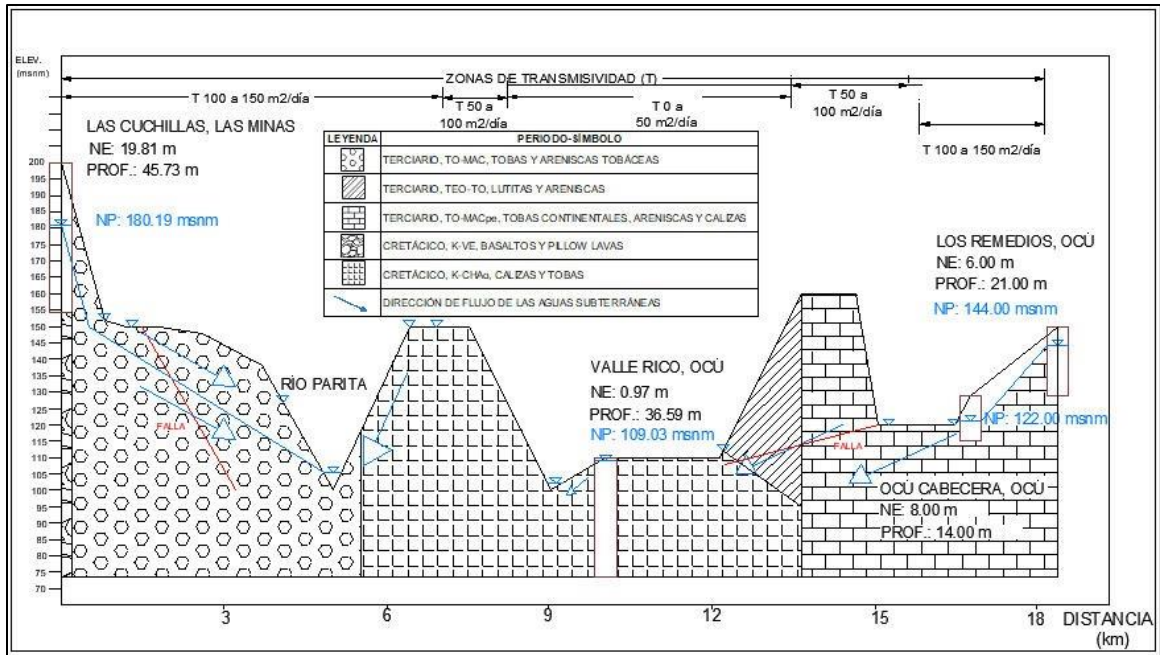


Figura 27 Perfil Hidrogeológico de la Parte Alta de la Cuenca del Río Parita.

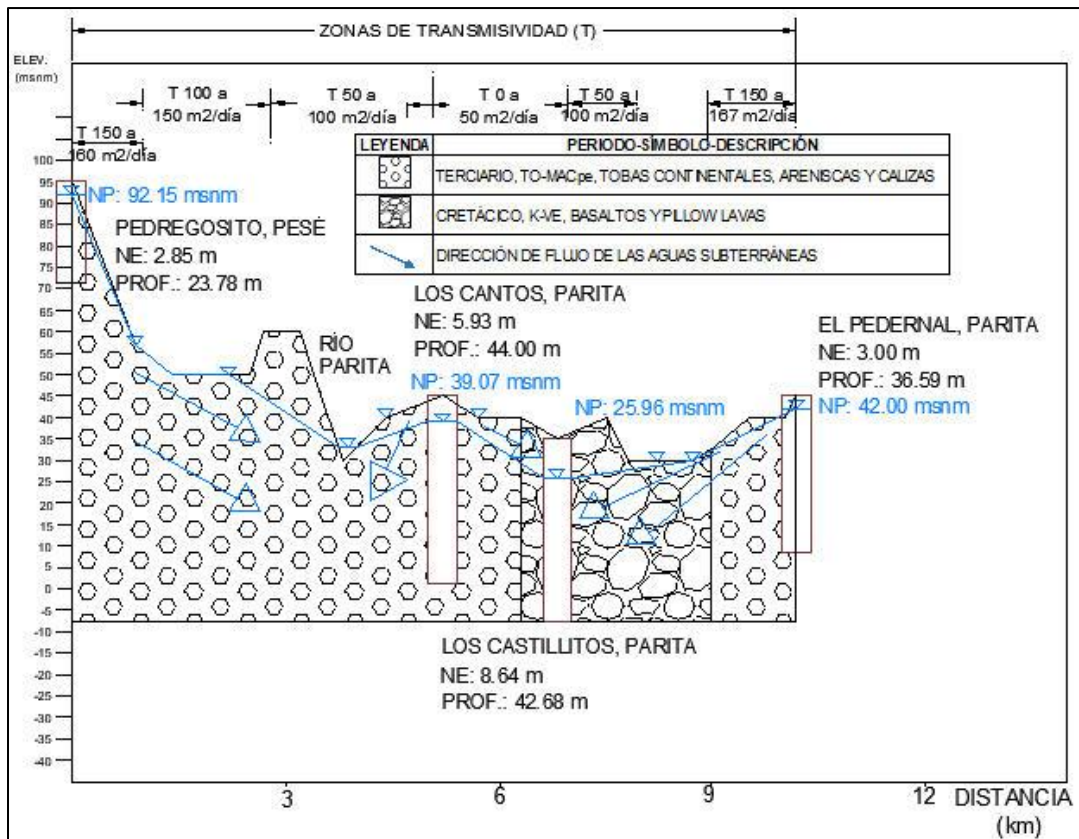


Figura 28 Perfil Hidrogeológico de la Parte Media de la Cuenca del Río Parita.

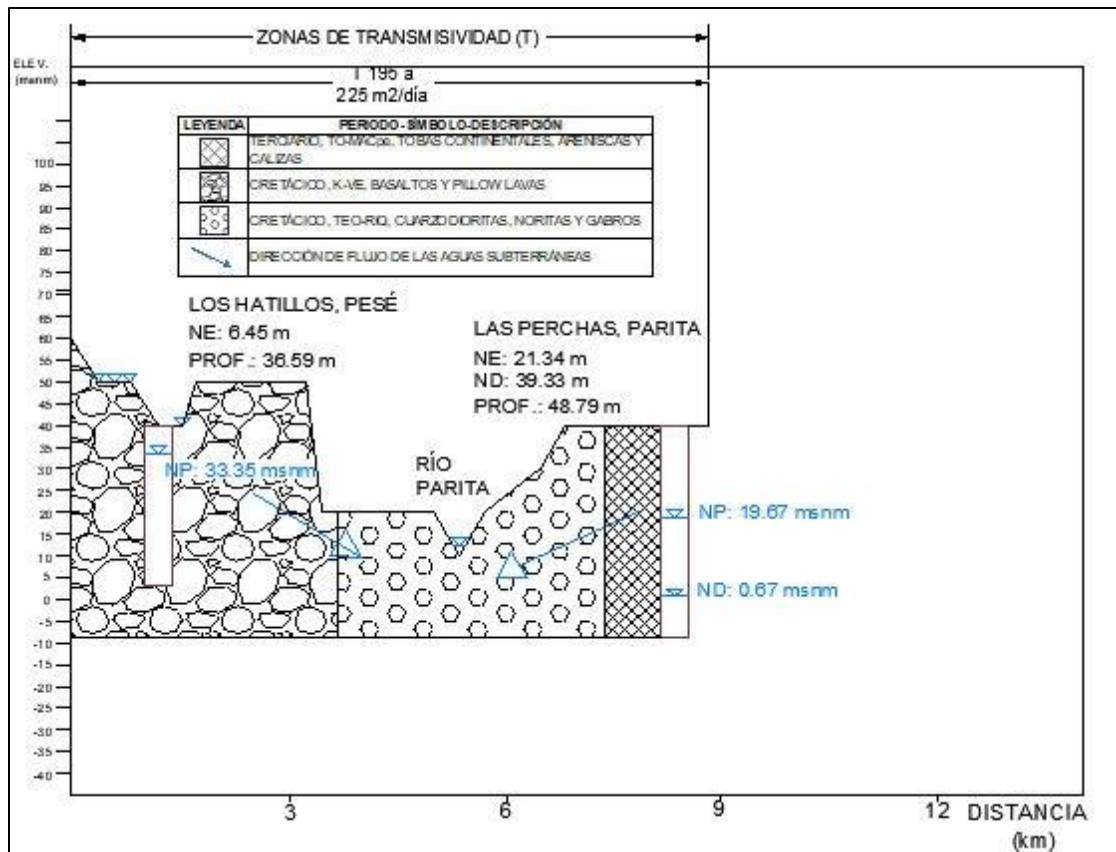


Figura 29 Perfil Hidrogeológico de la Parte Baja de la Cuenca del Río Parita.

5.13. Nivel Piezométrico (NP)

La reinterpretación del Mapa de Piezometría elaborado por la empresa Nómadas de Centroamérica (Anexo V Mapa de la Zona de Recarga de la Provincia de Herrera) se presenta en la Figura 30.

Se pudo comprobar que los resultados del modelo son consistentes con la topografía (Anexo VII) en la parte media y baja, sin embargo, en la parte alta, no se logró el completar por falta de datos de nivel estático de pozos en esta zona.

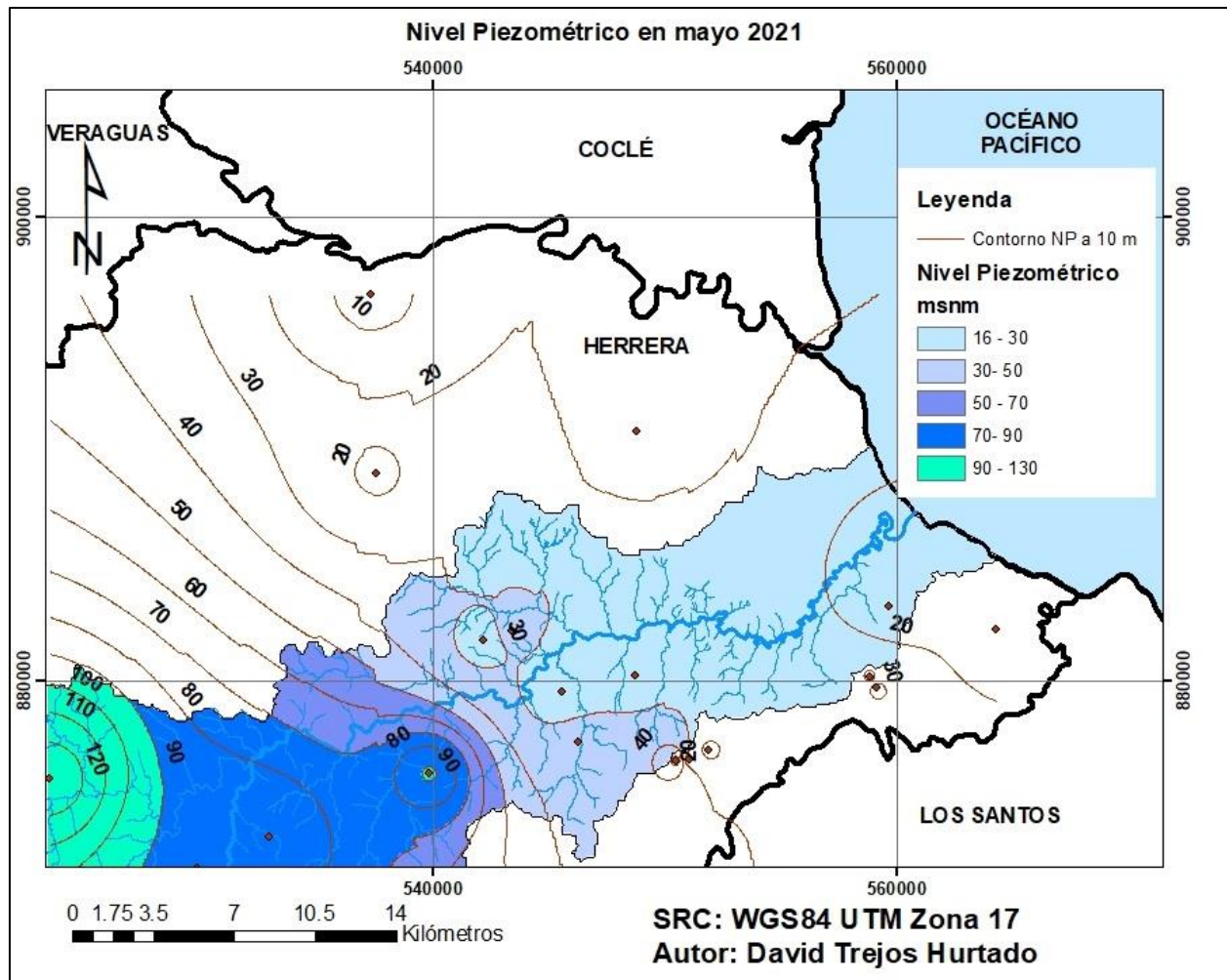


Figura 30 Nivel Piezométrico en el mes de mayo de 2021.

De junio hasta octubre, los resultados del Nivel Piezométrico se ven muy similares como se presenta en la Figura 30, por esta razón estos mapas no han sido mostrados. Se crearon contornos de 10 metros a partir de los datos de Nivel Piezométrico.

5.14. Patrones de Flujo

La interpretación de las líneas de flujo en el mes de mayo de 2021 (Figura 31) se realizó con 20 pozos. En la parte alta (justamente en la zona noroeste de la cuenca) se evidenció que la relación entre el afluente y el acuífero, las líneas de corriente divergen del afluente desde su nacimiento y posteriormente convergen nuevamente hacia el río. En la parte alta se observa también que el flujo es predominantemente paralelo al afluente y al Río Parita. En la parte media se observa que, en la dirección de flujo

subterráneo, las líneas de corriente convergen de los acuíferos hacia el Río Parita. En la parte baja, se observan 2 patrones de flujo: las líneas de corriente convergen hacia el río y más cerca de la desembocadura al mar, las líneas de corriente divergen del río. Las líneas de flujo en el mes de octubre de 2021 no se han mostrado ya que la dirección de flujo subterráneo tuvo un comportamiento similar al de mayo.

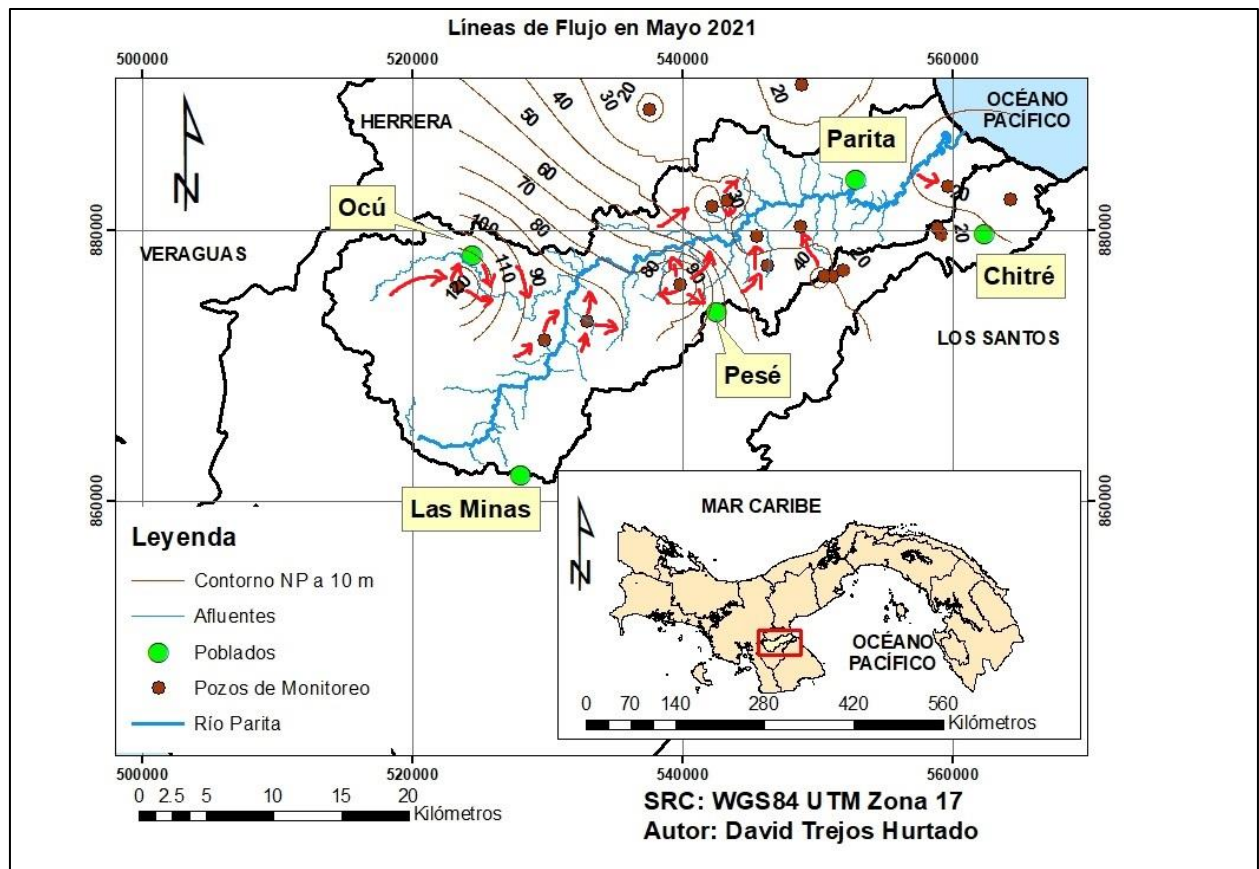


Figura 31 Líneas de flujo en el mes de mayo de 2021.

5.15. Cambios del Nivel Piezométrico

El mapa de Cambios del Nivel Piezométrico se obtuvo a través de la comparación entre los niveles piezométricos (Figura 32) entre los meses de mayo y octubre de 2021. La tendencia general observada en estos mapas es que los niveles piezométricos descienden entre junio y agosto, y estos vuelven a aumentar en septiembre y continúan aumentando hasta octubre 2021.

Este fenómeno es causado por la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT), la cual condiciona el régimen de precipitación en el país, según sitio web de la Dirección de Hidrometeorología de ETESA (<https://www.hidromet.com.pa/es/descripcion-general-clima-panama>).

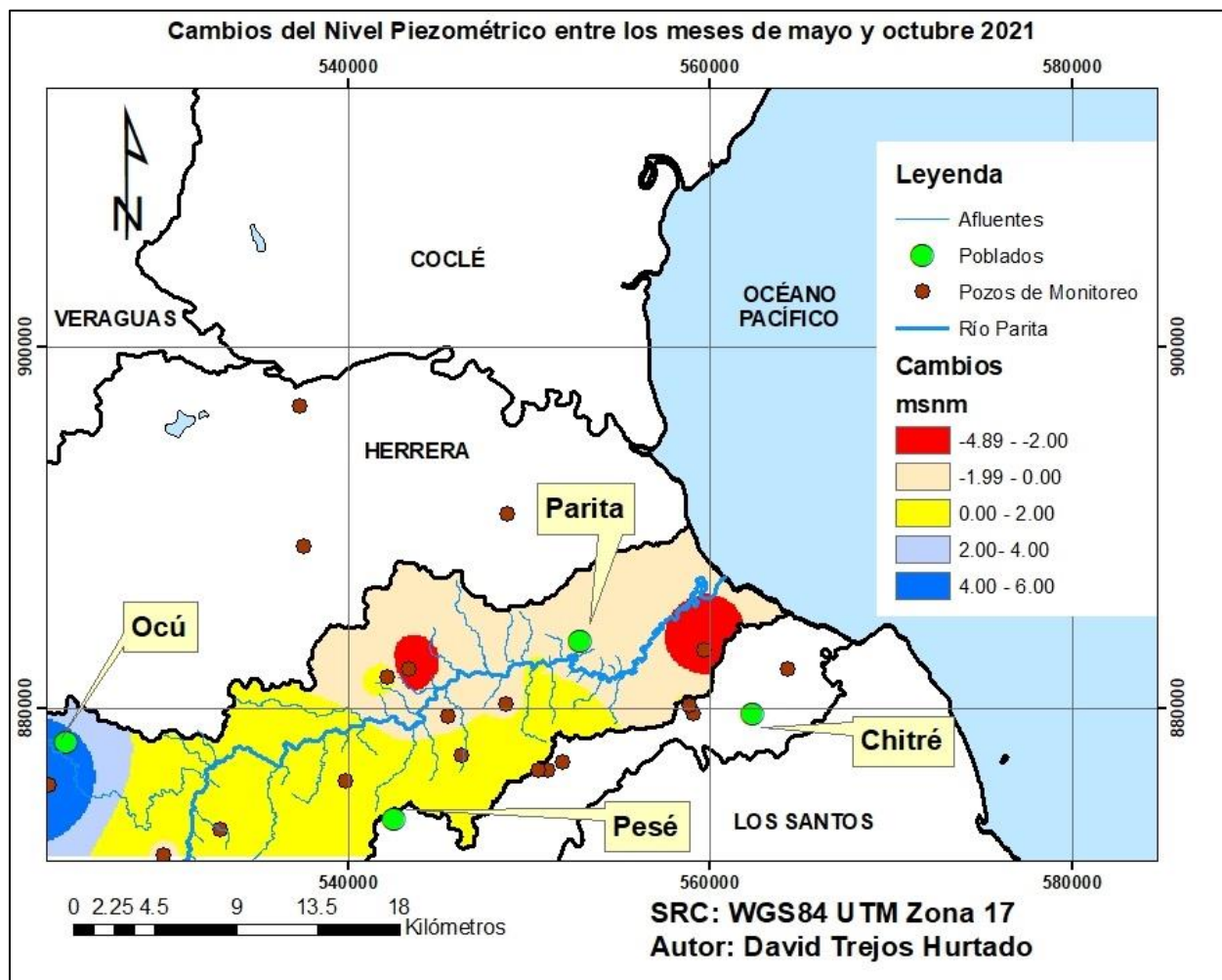


Figura 32 Cambios del Nivel Piezométrico entre los meses de mayo y octubre de 2021 en la Cuenca del Río Parita.

Se observó que los pozos con mayor descenso del nivel piezométrico se encuentran entre Ocú y Parita y entre Chitré y Parita ubicados en la parte media y baja de la Cuenca. El pozo con mayor ascenso del nivel piezométrico se encuentra ubicado en Ocú en la parte alta de la Cuenca, justamente cerca de la zona de recarga.

5.16. Conductividad Hidráulica y Transmisividad

Los mapas de Conductividad Hidráulica (Figura 33) y Transmisividad (Figura 34) en la Cuenca del Río Parita fueron elaborados a partir de los parámetros hidráulicos de la Tabla 8. Se utilizó datos de perforaciones tanto adentro como afuera de la cuenca para lograr una representación más realista de la conductividad hidráulica y transmisividad. Se pudo comprobar que en las zonas de rocas volcánicas presentaban predominantemente valores altos de permeabilidad, lo que es un indicativo de que normalmente se encuentran buenos acuíferos. En las rocas sedimentarias y plutónicas se identificó que los acuíferos presentan una distribución más heterogénea en cuanto a los valores de conductividad hidráulica, por lo que se pueden encontrar con más frecuencia de buenos acuíferos hasta acuíferos pobres.

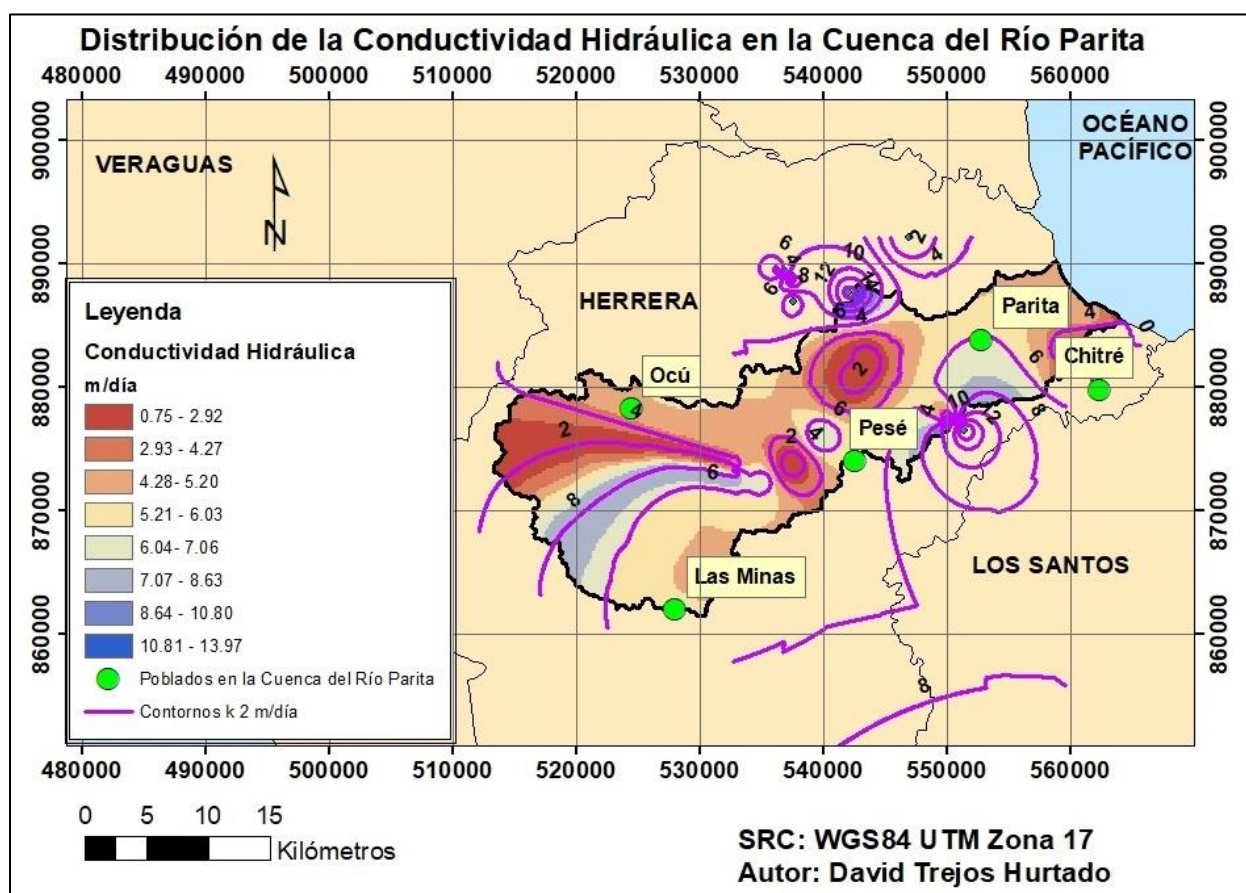


Figura 33 Distribución de la Conductividad Hidráulica en la Cuenca del Río Parita.

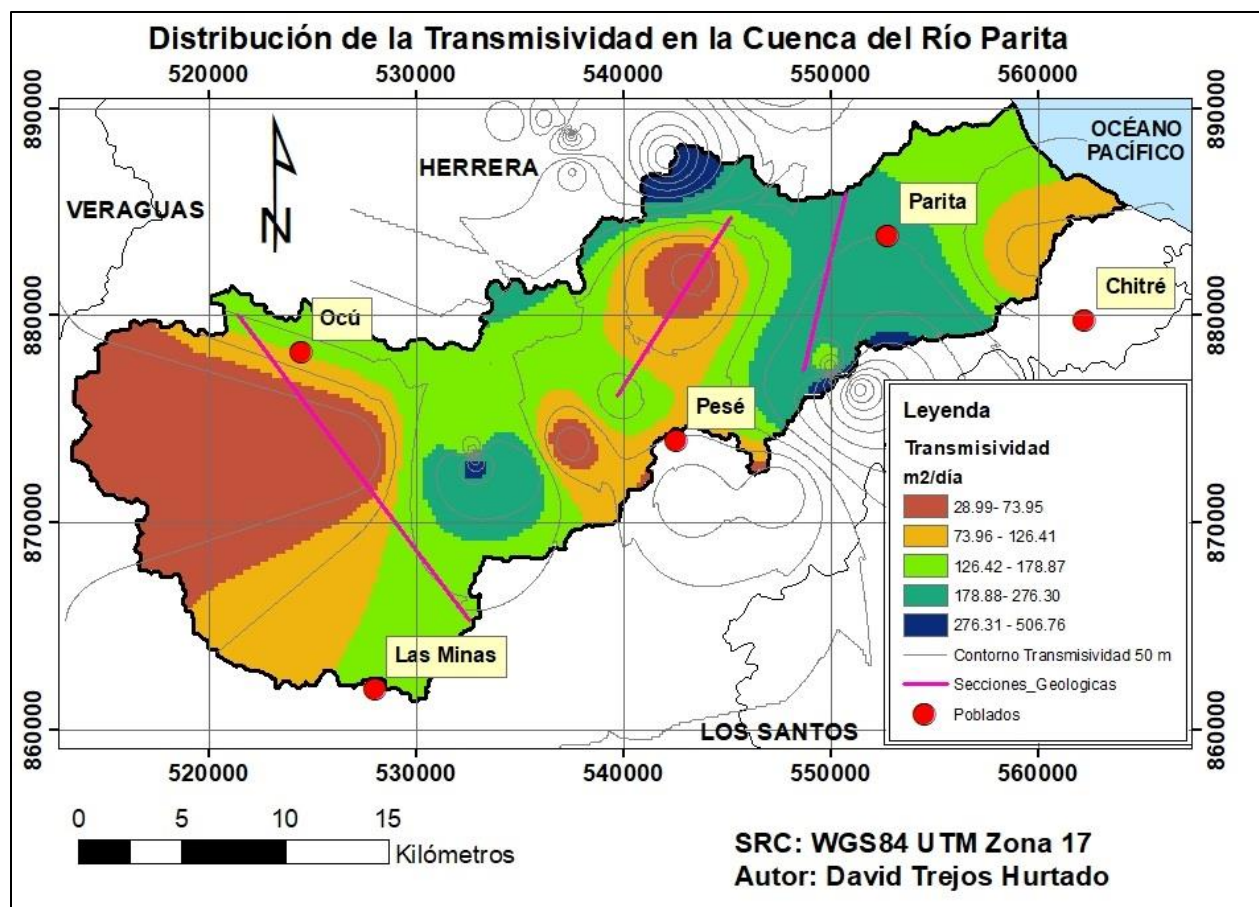


Figura 34 Distribución de la Transmisividad en la Cuenca del Río Parita.

Las zonas de transmisividad más altas se encuentran en 3 áreas: en la parte baja entre los poblados de Pesé y Chitré, en la parte media entre los poblados de Ocú y Parita, y en la parte alta entre los poblados de Pesé y Las Minas.

5.17. Áreas de Recarga

Una posible área de recarga en la Cuenca del Río Parita es el área entre los poblados de Ocú y Las Minas en la parte alta, los cuales se localizan en las zonas noroeste y suroeste respectivamente (ver Figura 23). Se deduce estas posibles zonas de recarga, ya que, en el Mapa de Isoyetas, se observó que el intervalo más alto de precipitación se encuentra en un rango de 2308.38 a 2634.05 mm (en un color azul) en la parte alta, sitio de nacimiento del Río Parita. De acuerdo con las características geológicas, conductividad hidráulica y de pendiente, esta área es propicia para la infiltración de agua

y posiblemente alcanza los acuíferos profundos. En el Mapa de distribución de Conductividad Hidráulica muestra un intervalo más alto entre 8.64 y 10.80 m/día, lo que también aumenta el potencial de infiltración y recarga.

En la parte media y baja, se puede observar que entre los poblados de Pesé, Parita y Chitré existen valores de conductividad hidráulica mayores a 7.07 m/día que son condiciones ideales para el potencial de infiltración y recarga en estas áreas. En la tesis Hydrogeological Conceptual Model of La Villa River Watershed, Republic of Panama (Castrellon, 2016), se pudo comprobar que en el área hacia el noroeste de Pesé también presentó altos valores de conductividad hidráulica.

5.18. Evapotranspiración Potencial

Los resultados de la evapotranspiración potencial media anual se resume a continuación:

Tabla 22 Comparación de la Evapotranspiración Potencial Media Anual.

| Autor | UNESCO, 2008 | Ruíz De León, 2012 | Ruíz De León, 2012 | Trejos, 2022 |
|--------------|--------------|--------------------|--------------------|--------------|
| Cuenca | Río Parita | Río La Villa | Río La Villa | Río La Villa |
| Periodo/Año | 1972-2002 | 2010 | 2011 | 2022 |
| ETP (mm/año) | 1300 | 1146 | 1291 | 1279 |

- Se ha comprobado que tanto la Cuenca del Río Parita y La Villa tienen condiciones climáticas similares en cuanto a la Evapotranspiración Potencial.
- Se ha observado que la variable de evapotranspiración potencial ha ido disminuyendo en los últimos 20 años con una diferencia de 21 mm/año.
- De acuerdo con las Tablas 11 y 12 los valores más altos de la evapotranspiración potencial se identificaron en el mes de marzo, ya que este es uno de los meses con mayor tasa de evaporación por las altas temperaturas.

5.19. Balance Hídrico

- La precipitación media mensual y la evapotranspiración potencial mensual se obtienen de las Estaciones Llano de la Cruz y Los Santos (ETESA, 2021). El primer mes del año hidrológico empieza en mayo.
- La Capacidad de Campo es de 150 mm, según recomendaciones del MIDA en la página web de la Dirección de Hidrometeorología de ETESA. (<https://www.hidromet.com.pa/es/evapotranspiracion-potencial>)

Tabla 23 Balance Hídrico en la estación Llano De La Cruz del año 2021.

| | May. | Jun. | Jul. | Ago. | Sept. | Oct. |
|------------------------|--------|--------|--------|--------|---------|--------|
| P | 184.76 | 183.11 | 146.25 | 191.48 | 233.91 | 255.07 |
| ETP | 116.50 | 97.20 | 95.50 | 107.20 | 100.80 | 99.70 |
| P-ETP | 68.26 | 85.91 | 50.75 | 84.28 | 133.11 | 155.37 |
| R | 0.00 | 85.91 | 136.66 | 220.94 | 283.11 | 305.37 |
| (Reserva (150)) | 0.00 | 85.91 | 136.66 | 150.00 | 150.00 | 150.00 |
| VR | 0.00 | 85.91 | 50.75 | 13.34 | 0.00 | 0.00 |
| ETR | 116.50 | 97.20 | 95.50 | 107.20 | 100.80 | 99.70 |
| Déficit | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Excesos | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 70.94 | 133.11 | 155.37 |
| | Nov. | Dic. | Ene. | Feb. | Mar. | Abr. |
| P | 190.99 | 53.45 | 5.65 | 1.81 | 7.99 | 40.34 |
| ETP | 101.60 | 117.00 | 90.80 | 86.70 | 142.40 | 124.40 |
| P-ETP | 89.39 | -63.55 | -85.20 | -84.90 | -134.40 | -84.06 |
| R | 239.39 | 86.45 | 1.30 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| (Reserva (150)) | 150.00 | 86.45 | 1.30 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| VR | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| ETR | 101.60 | 117.00 | 90.80 | 3.11 | 7.99 | 40.34 |
| Déficit | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 83.59 | 134.41 | 84.06 |
| Excesos | 89.39 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |

Como se pudo comprobar la Figura 35, entre los meses de mayo y julio se da la recarga hídrica (recuperación de la humedad) y el excedente hídrico se presenta entre los meses de agosto y noviembre. La utilización del agua (pérdida de humedad del suelo) se da entre los meses de febrero y abril.

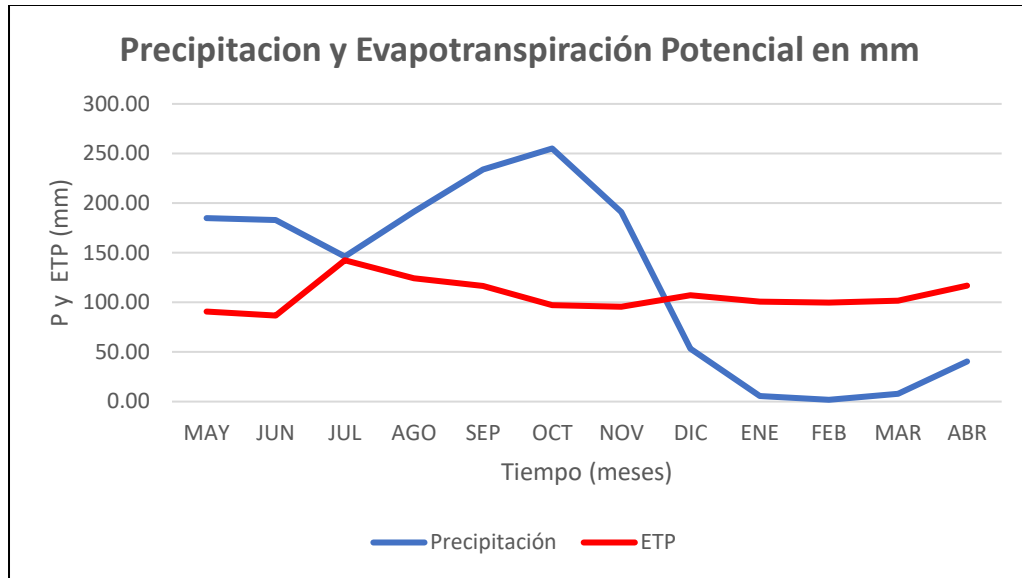


Figura 35 Precipitación y Evapotranspiración Potencial.

Tabla 24 Resultados del Balance Hídrico (Precipitación, Evapotranspiración Potencial y Real, Déficit y Excesos.

| | | | | | | | | |
|------------|---------|----|----------------|--------|----|----------------|--------|----|
| P | 1494.81 | mm | ETR | 977.74 | mm | Excesos | 448.82 | mm |
| ETP | 1279.80 | mm | Déficit | 302.06 | mm | Rp | 517.07 | mm |

La Recarga Potencial del Acuífero (Rp) se puede estimar con la siguiente ecuación:

$$R_p = P - ETR = 517.07 \text{ mm/año}$$

Se determinó la escorrentía (ESC), con la siguiente ecuación: $R = P - ETR$ (Tabla 24). En la Figura 37 se presenta el gráfico de Precipitación vs la Escorrentía. En este gráfico se observa que la Escorrentía tiene un comportamiento similar a la Precipitación.

Tabla 25 Precipitación, Evapotranspiración Real y Escorrentía mensual.

| MESES | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT |
|------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| P | 184.80 | 183.1 | 146.2 | 191.50 | 233.9 | 255.10 |
| ETR | 116.50 | 97.20 | 95.50 | 107.20 | 100.80 | 99.70 |
| ESC | 68.30 | 85.90 | 50.80 | 84.30 | 133.10 | 155.40 |
| MESES | NOV | DIC | ENE | FEB | MAR | ABR |
| P | 191.0 | 53.50 | 5.60 | 1.80 | 8.00 | 40.34 |
| ETR | 101.60 | 117.00 | 90.80 | 3.11 | 7.99 | 40.34 |
| ESC | 89.40 | -63.60 | -85.20 | -1.30 | 0.00 | 0.00 |

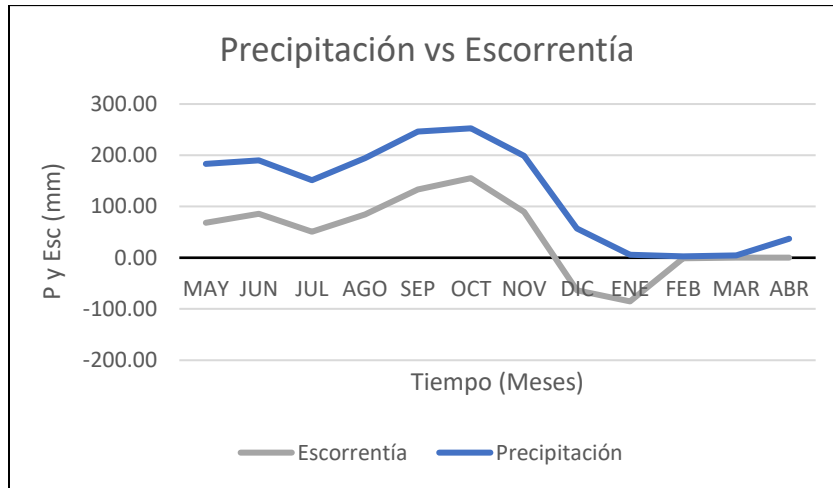


Figura 36 Precipitación vs Escorrentía.

5.20. Modelo Conceptual Hidrogeológico

El objetivo del presente Trabajo Final de Máster se definió en elaborar un modelo donde se conceptualiza el funcionamiento de las aguas subterráneas que se localizan en la Cuenca del Río Parita con la finalidad de establecer e integrar las características geológicas, hidrológicas e hidrogeológicas del acuífero local.

La información suministrada por el IDAAN, MIDA, MiAmbiente y el MINSA, respecto a las perforaciones de pozos de la Cuenca del Río Parita, indica una litología que está dominada por la presencia de arcillas, lava volcánica, andesitas, basaltos, arenas y conglomerados, tobas y areniscas.

Se pudo comprobar que el aumento de temperatura y la disminución de la precipitación y caudales se han dado de manera simultánea en la Cuenca del Río Parita, con lo que se demuestran los problemas de cambio climático y variabilidad climática. En la parte media, de acuerdo con la serie de 45 años del periodo 1973-2017 que corresponde a la estación Llano La Cruz la precipitación promedio mensual más baja (1.81 mm) se da en el mes de febrero y la precipitación promedio mensual más alta (255.07 mm) se da en el mes de octubre. La evapotranspiración potencial mensual estimada más alta (142.4 mm) se da en el mes de marzo, uno de los meses secos donde se registran el déficit más alto (134.41 mm) y altas temperaturas.

La recarga hídrica se da principalmente en el periodo de lluvia entre mayo y julio. Esta recarga por precipitación inicia en las tierras altas de la Provincia de Herrera específicamente en los distritos de Ocú y Las Minas, y continúa su recorrido pasando por los distritos de Pesé, Parita y Chitré de manera paralela al río hasta llegar a desembocadura del Océano Pacífico. Los excedentes se dan principalmente entre los meses de agosto y noviembre, donde el valor más alto se registra en el mes de Octubre (155.37 mm) donde ocurre la precipitación promedio

más alta y también es el mismo valor de escurrentía. La recarga hídrica y los excedentes están condicionados por la Zona de Convergencia Intertropical.

En la parte alta, las líneas de flujo indican que los acuíferos fisurados aportan al Río Parita y a los afluentes. En la parte media, las líneas de flujo de los acuíferos fisurados divergen hacia el Río Parita y convergen de los afluentes hacia los acuíferos. En la parte baja, en la zona donde se encuentran los acuíferos intergranulares y fisurados solamente se pudo observar que el Río Parita diverge hacia un acuífero. De acuerdo con el análisis hidrogeológico, solamente se identificó que en la parte baja se encuentran los acuíferos libres o confinados que corresponden a la formación de Río Hato (QR-Aha). Sin embargo, en la parte alta y media se encuentra una mayor distribución de acuíferos confinados que están agrupados en la formación Ocú (K-CHAO), Playa Venado (K-VE), Valle Riquito (TEO-RIQ), Tonosí (TEO-TO), Macaracas (TOMAC) y Pesé (TOMACpe).

Los acuíferos semiconfinados no se encontraron en la documentación técnica de las Entidades Gubernamentales, por lo tanto, quedan pendiente desarrollar más investigaciones para caracterizarlo en la Cuenca del Río Parita. De acuerdo con el análisis geofísico, con frecuencia se pueden encontrar la litología distribuida de la siguiente forma: primera capa: (tobas y areniscas tobáceas (TO-MAC)) ó tobas continentales, areniscas y calizas (TOMACpe) ó cuarzodioritas, noritas y gabros (TEO-RIQ), segunda capa: (Lutitas y Areniscas (TEO-TO)), tercera capa: (Calizas y Tobas (K-CHAO)) y cuarta capa: (Basaltos y pillow lavas(K-VE)).

En la divisoria de aguas entre la Cuenca del Río Parita (Parte Media) y el Río Santa María dominado por las rocas sedimentarias y en la divisoria de aguas entre la Cuenca del Río Parita (Parte Baja) y el Río La Villa dominado por las rocas volcánicas se identificaron los valores más altos de permeabilidad. En la parte alta y media de la Cuenca del Río Parita están constituido predominantemente por acuíferos locales compuesto por un conjunto de rocas sedimentarias compactas fisuradas como las calizas y tobas. Estos acuíferos locales se encuentran

hidráulicamente unidos, ya que los valores de permeabilidad presentan una distribución casi homogénea.

En la parte alta y en la media-baja se observó que las rocas volcánicas presentaron valores altos de permeabilidad en el suroeste y noreste de la Cuenca, lo que es una evidencia que funciona como un buen acuífero. Los acuíferos fisurados en la parte alta se encuentran hidráulicamente separados, ya que valores de permeabilidad presentan una distribución heterogénea.

De acuerdo con el análisis de Transmisividad, se observó que las zonas con valores altos de Transmisividad se encuentran en la parte alta, parte media y la parte media- baja específicamente entre las áreas que se encuentran entre los poblados de Pesé y Las Minas, entre Parita y Ocú y entre Pesé y Chitré. Estas zonas con valores altos de transmisividad corresponden a áreas de recarga rápida. Las zonas con valores bajos de Transmisividad se ubican en las áreas que se encuentran entre los poblados de Ocú y Pesé y entre los poblados de Pesé y Parita. Estas zonas de valores bajos de Transmisividad corresponden a áreas de recarga lenta.

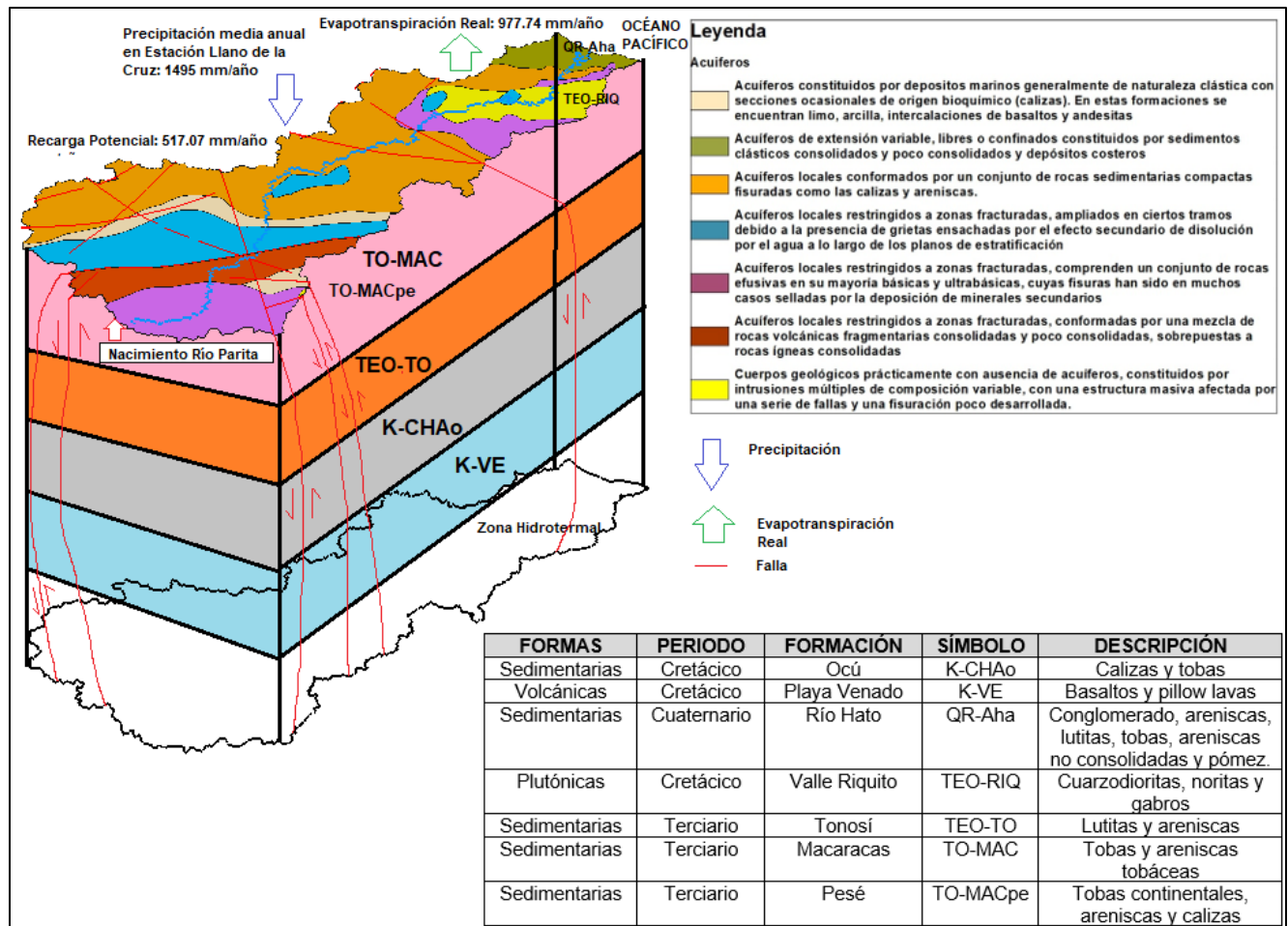


Figura 37 Esquema del Modelo Hidrogeológico Conceptual de la Cuenca del Río Parita.

6. CONCLUSIONES

Luego de la revisión y análisis general de la información hidrogeológica, se identificó que las Entidades Gubernamentales (IDAAN, MIDA, MiAmbiente y MINSa) mantienen los mismos problemas mencionados por empresa Nómadas de Centroamérica en el año 2010, en los cuales la información hidrogeológica se encuentra dispersa y esta base de datos no siguen un formato unificado. Estos problemas también fueron mencionados en estudios de otras cuencas del país como el Río La Villa (Castrellon, 2016) y el Río Zarafí (Salinas, 2010).

A pesar de los estudios previos realizados en el Arco Seco, en la Cuenca del Río Parita se desconocía sobre un estudio integral en el cual sistematizara la información geológica (regional y estructural), geomorfológica, hidrológica, climatológica e hidrogeológica. Este Trabajo Final de Máster será un aporte al conocimiento hidrogeológico de la región.

De acuerdo con el análisis de resultados de los datos meteorológicos, se evidenció que la Precipitación Promedio Mensual de la Cuenca del Río Parita es escasa. Del análisis hidrológico se comprobó que los caudales del Río Parita han tenido una tendencia a disminuir en los últimos 12 años.

De acuerdo con el análisis de resultados de los datos geofísicos, se comprobó que los mismos coinciden con la Geología de la Cuenca del Río Parita y se requiere actualizar el mapa de textura de suelos con una escala diferente para que la información sea más realista.

La reevaluación de la información hidrogeológica de la Cuenca del Río Parita posibilitó conocer las características hidráulicas y extensión de los acuíferos y también identificar la ubicación y superficie de los acuíferos locales intergranulares, fisurados y la combinación de ambos.

Para lograr que el modelo tenga una mayor aproximación real sobre el comportamiento hidrogeológico se requiere ampliar la red piezométrica.

Al describir los patrones de flujo se pudo identificar los 2 sitios potenciales de recarga en la Cuenca: un área ubicada entre los poblados de Ocú y Las Minas, y otra área ubicada entre Pesé, Parita y Chitré. Se requiere un estudio de isótopos ambientales.

De acuerdo con el análisis de conductividad hidráulica se observó que las rocas volcánicas tienen predominantemente valores altos, lo que es un indicativo que es muy probable encontrar buenos acuíferos en esta zona. Sin embargo, las rocas

sedimentarias y plutónicas tienen una distribución de permeabilidad más heterogénea, es decir hay con frecuencia de buenos acuíferos a acuíferos pobres.

De acuerdo con el análisis de Transmisividad, se encontró que las áreas de recarga rápida se encuentran en la parte alta, media y la parte media- baja específicamente entre las áreas que se encuentran entre los poblados de Pesé y Las Minas, entre los poblados de Parita y Ocú y entre los poblados de Pesé y Chitré. Las áreas de recarga lenta se ubican entre las áreas que se encuentran entre los poblados de Ocú y Pesé y entre los poblados de Pesé y Parita.

7. BIBLIOGRAFÍA

ANAM. (2013). *Las aguas subterráneas de la Región del Arco Seco y la importancia de su conservación*. <Accesible en URL: <https://fliphtml5.com/eebm/iirz/basic>.

Auge, M. (2008). *Métodos Geoeléctricos para la Prospección de Agua Subterránea*. <Accesible en URL: <http://tierra.rediris.es/hidrored/ebooks/miguel/ProspeccGeoelec.pdf>.

Cedeño, D. (1997). *Apuntes de Hidrología*.

Autoridad del Canal de Panamá, (2020). *Informe de Diseño Conceptual, Reservorios Multipropósito Cuenca Parita Presa Parita Volumen Geología y Geotécnica*. <Accesible en URL: <https://micanaldepanama.com/wp-content/uploads/2020/07/Parita-Volumen-Geologia-y-Geotecnia.pdf>.

Autoridad del Canal de Panamá, (2020). *Informe de Diseño Conceptual, Reservorios Multipropósito Cuenca Parita Presa Parita Volumen Hidrología e Hidráulica*. <Accesible en URL: <https://micanaldepanama.com/wp-content/uploads/2020/07/Parita-Volumen-Hidrologia-Hidraulica.pdf>.

Cedeño, D. (1997). *Apuntes de Hidrología*.

BBC. (2015). *Canal de Panamá restringe el paso de buques debido a la sequía*. <Accesible en URL: https://www.bbc.com/mundo/noticias/2015/08/150810_canal_panama_sequia_corte_barcos_jm.

Calvo-Solano, O., Quesada-Hernández, L., Gotlieb, Y. (2018). *Impactos de las sequías en el sector agropecuario del Corredor Seco Centroamericano*. <Accesible en URL: https://www.researchgate.net/publication/327405787_Impactos_de_las_sequias_en_el_sector_agropecuario_del_Corredor_Seco_Centroamericano.

Castrellon, M. (2016). *Hydrogeological Conceptual of La Villa River Watershed, Republic of Panama*. <Accesible en URL: https://opencommons.uconn.edu/srhonors_theses/545.

Comité de Alto Nivel de Seguridad Hídrica. (2016). *Plan Nacional de Seguridad Hídrica 2015-2050: Agua para Todos*. Panamá, República de Panamá.

ESRI. *Comparar métodos de interpolación*. <Accesible en URL: <https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.5/tools/3d-analyst-toolbox/comparing-interpolation-methods.htm>

ETESA. *Descripción General de Clima de Panamá*. <Accesible en URL: <https://www.hidromet.com.pa/es/descripcion-generall-clima-panama>

ETESA. *Lista de Estaciones Meteorológicas*. <Accesible en URL: <https://www.hidromet.com.pa/es/estaciones->

meteorologicas?f_numero=&f_nombre=&f_cuenca=RIO+PARITA&f_institucion=noopcion&f_provincia=noopcion.

ETESA. *Evapotranspiración Potencial*. <Accesible en URL: <https://www.hidromet.com.pa/es/evapotranspiracion-potencial>.

ETESA., (1999) *Mapa Hidrogeológico de Panamá*.

D. Del Giudice, R. Rechi. (1969). *Geología del Área del Proyecto minero de Azuero*. República de Panamá, Administración de los recursos Minerales.

Gonzalez, D. Jaramillo, I., Graciela De Calzadilla, L. (2008). *Resumen Técnico Análisis Regional de Crecidas Máximas de Panamá Periodo 1971-2006*.

Hesch, Wayne (2009). *Conceptual Model Development for MODFLOW or FEFLOW models*. *FEFLOW Conference*. <Accesible en URL: <https://es.scribd.com/document/317347053/FEFLOW-Conference-HydroGeoBuilder-final-HESCH-2009-pdf>

IDIAP, (2006). *Zonificación de Suelos de Panamá por Niveles de Nutrientes*.

Infinity Technology No Limits. (2017). *Informe Técnico de Consultoría “Servicio de Veintiocho Tomografías Eléctricas”*.

Instituto Geográfico Nacional Tommy Guardia, (1988). *Atlas Nacional de Panamá, Clasificación de Köppen*.

Instituto Geográfico Nacional Tommy Guardia, (2007). *Atlas Nacional de la República de Panamá, Regiones Morfoestructurales de Panamá*.

Instituto Geográfico Nacional Tommy Guardia, (2012). *Mosaico de las hojas topográficas 1:25,000 de la República de Panamá*.

Kolarsky, RA, Mann, P, Monechi, S, Meyerhoff, HD and Pessagno, EA. (1995). *Stratigraphic development of southwestern Panama as determined from integration of marine seismic data and onshore geology*. <Accesible en URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6363779/>.

La Prensa. (2009). *\$500 mil para el sector arrocero*. <Accesible en URL: https://www.prensa.com/impresa/economia/mil-sector-arrocero_0_2702729811.html.

MICI. (1990). *Mapa Geológico de Panamá, 1:250000*.

Ministerio de Agricultura y Riego. (2020). *Guía para realizar inventarios de fuentes de agua subterránea*. <Accesible en URL: https://repositorio.ana.gob.pe/bitstream/handle/20.500.12543/4495/ANA0003011_1.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

Miller, (2015). ¿Será el fenómeno de 'El Niño' de 2015 el más intenso registrado en la historia? <Accesible en URL: <https://cnnspanol.cnn.com/2015/08/14/sera-el-fenomeno-de-el-nino-de-2015-el-mas-intenso-registrado-en-la-historia/>.

NOAA. (2022). *El Niño and La Niña Years and Intensities*. <Accesible en URL: <https://ggweather.com/enso/oni.htm>.

Nómadas de Centroamérica. (2010) *Informe Geofísico para la búsqueda de los acuíferos probables profundos en el Arco Seco, Panamá*.

ONU. (2015) *Objetivo 12: Garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles*. <Accesible en URL: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/sustainable-consumption-production/>.

ONU. (2020). *Escasez de agua afecta a más del 40% de la población mundial*. <Accesible en URL: <https://www.portalambiental.com.mx/impacto-ambiental/20200414/escasez-de-agua-afecta-a-mas-del-40-de-la-poblacion-mundial>

Pérez, J. (2020). *Plan Nacional de Sequía para Panamá*. <Accesible en URL: https://www.unccd.int/sites/default/files/country_profile_documents/Plan%20Nacional%20contra%20la%20Sequia.pdf.

Pizarro, L. (2014). *Interpretación de Mediciones de Resistividad de Terreno por medio de Curvas de Patrón*. <Accesible en URL: https://www.researchgate.net/profile/Luis-Pizarro-3/publication/277010039_INTERPRETACION_DE_MEDICIONES_DE_RESISTIVIDAD_DE_TERRENO_POR_MEDIO_DE_CURVAS_DE_PATRON/links/5803924708ae310e0d9f3a20/INTERPRETACION-DE-MEDICIONES-DE-RESISTIVIDAD-DE-TERRENO-POR-MEDIO-DE-CURVAS-DE-PATRON.pdf.

PNUD. (2015). *Objetivo 6 Agua Limpia y Saneamiento*. <Accesible en URL: <https://www.undp.org/es/sustainable-development-goals#agua-limpia-saneamiento>.

Ruiz De León, I. (2012) *Diagnóstico biofísico, socioeconómico y potencial energético de la cuenca hidrográfica del Río Parita*. <Accesible en URL: <https://cuencas.miambiente.gob.pa/wp-content/uploads/2020/08/L%C3%ADnea-Base-R%C3%ADo-Parita-130.pdf>.

Salinas, P. (2010). *Modelo Hidrogeológico Conceptual de la Cuenca del Río Zaratí*. <Accesible en URL: <https://docplayer.es/63671370-Modelo-conceptual-hidrogeologico-de-la-cuenca-del-rio-zarati.html>.

Sanz, D., Castaño, S., Gómez, J., Moratalla, G. (2013) *Inventario de los manantiales que aportan agua al río Júcar en la provincia de Albacete y su descripción hidrogeológica*. <Accesible en URL: https://www.researchgate.net/figure/Figura-1-Eschema-del-ciclo-hidrologico-Modificado-de-Martinez-Alfaro-y-cols-2006_fig1_315336227

STRI. (2021). *GIS Portal Data*.

Souifer, A. (2010). *Delimitación de Acuíferos y establecimiento de zonas de recarga, para identificar su vulnerabilidad y el desarrollo de una estrategia para su protección y conservación en el Arco Seco del país*.

Tahal Consulting Engineers LTD. (2003). *Proyecto Integral de Riego para la exportación agrícola en la Región de Azuero del Arco Seco*.

UNESCO, (2008). *Balance Hídrico Superficial de Panamá, Periodo 1971-2002*.

Documentos Técnicos del PHI-LAC, N°9.

Universidad de Sevilla. (2018). *Balance Hídricos Prácticas*

U.S. Department of the Interior – Bureau of Reclamation, (1995). *Ground Water Manual*.

USGS. (2017). *Hydrological Cycle*. <Accesible en URL <https://www.usgs.gov/centers/new-york-water-science-center/science/hydrologic-cycle#:~:text=and%20back%20again,-,Water%20evaporates%20from%20oceans%2C%20lakes%2C%20and%20rivers%20into%20the%20atmosphere,into%20the%20atmosphere%20by%20plants>>

Villar, V., (2019). *La sequía ocasiona pérdidas por \$3.5 millones en el sector agrícola*. <Accesible en URL: <https://elcapitalfinanciero.com/la-sequia-ocasiona-perdidas-por-3-5-millones-en-el-sector-agricola/>>

8. ANEXOS

- **Anexo I Total Mensual de Precipitación Llano de la Cruz, 130-004.**
- **Anexo II Corrección de la Precipitación Mensual de la Estación Parita.**
- **Anexo III Gráfico de Correlación Lineal entre la Estación Parita y Llano de la Cruz.**
- **Anexo IV Textura de la Cuenca del Río Parita. Adaptado del IDIAP, 2006.**
- **Anexo V Mapa Hidrogeológico del Arco Seco. Fuente: Souifer, 2010.**
- **Anexo VI Mapa de la Zona de recarga. Fuente: Souifer, 2010.**
- **Anexo VII Topografía de la Cuenca del Río Parita. Adaptado del MIDA, 2013.**

• **Anexo I Total Mensual de Precipitación Llano de la Cruz, 130-004.**

| EMPRESA DE TRANSMISIÓN ELÉCTRICA, S.A. | | | | | | | | | | | | | |
|---|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| DIRECCIÓN DE HIDROMETEOROLOGÍA TOTAL/ MENSUAL DE PRECIPITACIÓN - mm | | | | | | | | | | | | | |
| ESTACIÓN LLANO DE LA CRUZ (Estación 130-004) | | | | | | | | | | | | | |
| AÑO | ENE | FEB | MAR | ABRIL | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | Total |
| | | | | | | | | | | | | | Annual |
| 1973 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 15.0 | 158.6 | 178.9 | 314.4 | 247.0 | 200.8 | 223.5 | 290.6 | 34.0 | 1662.8 |
| 1974 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 35.5 | 159.6 | 107.4 | 213.5 | 205.0 | 335.5 | 141.0 | 12.8 | 1210.3 |
| 1975 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 200.2 | 172.7 | 275.5 | 195.1 | 304.2 | 328.3 | 190.5 | 55.0 | 1721.5 |
| 1976 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 33.1 | 44.6 | 162.3 | 35.7 | 125.1 | 241.3 | 261.5 | 135.4 | 7.1 | 1046.1 |
| 1977 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 302.8 | 244.6 | 133.0 | 262.2 | 203.2 | 163.8 | 243.3 | 37.4 | 1590.3 |
| 1978 | 0.0 | 0.0 | 157.0 | 44.8 | 253.7 | 178.3 | 99.5 | 142.8 | 268.9 | 273.2 | 176.0 | 194.2 | 1788.4 |
| 1979 | 0.0 | 0.0 | 46.2 | 131.0 | 171.1 | 191.4 | 157.1 | 228.5 | 152.6 | 219.8 | 204.6 | 49.0 | 1551.3 |
| 1980 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 168.3 | 126.5 | 98.6 | 264.4 | 183.1 | 176.9 | 245.2 | 11.3 | 1274.3 |
| 1981 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 303.4 | 243.3 | 303.8 | 177.6 | 370.2 | 137.3 | 240.8 | 318.3 | 83.5 | 2178.2 |
| 1982 | 71.4 | 0.0 | 0.0 | 62.6 | 301.2 | 90.6 | 59.3 | 60.7 | 315.7 | 286.5 | 88.3 | 0.0 | 1336.3 |
| 1983 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 1.1 | 181.7 | 194.1 | 89.4 | 67.4 | 143.7 | 105.4 | 193.1 | 51.7 | 1027.6 |
| 1984 | 2.4 | 0.0 | 12.0 | 4.9 | 247.7 | 134.8 | 132.1 | 152.9 | 170.3 | 229.4 | 187.4 | 0.1 | 1274.0 |
| 1985 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 70.9 | 137.4 | 191.8 | 109.8 | 108.1 | 123.4 | 235.7 | 64.1 | 85.1 | 1126.3 |
| 1986 | 0.0 | 0.0 | 1.4 | 9.3 | 181.4 | 47.6 | 94.2 | 159.1 | 260.9 | 478.8 | 71.6 | 53.6 | 1357.9 |
| 1987 | 0.0 | 0.0 | 1.2 | 33.1 | 186.1 | 153.3 | 148.5 | 189.6 | 230.9 | 341.2 | 79.4 | 17.7 | 1381.0 |
| 1988 | 0.0 | 0.0 | 0.9 | 22.8 | 211.4 | 160.3 | 228.4 | 397.4 | 326.9 | 371.8 | 340.9 | 6.1 | 2066.9 |
| 1989 | 0.0 | 0.0 | 1.9 | 0.0 | 107.3 | 237.6 | 97.3 | 98.7 | 360.9 | 111.8 | 224.4 | 102.5 | 1342.4 |
| 1990 | 4.5 | 0.0 | 0.0 | 30.7 | 276.0 | 117.9 | 136.8 | 274.3 | 279.0 | 308.3 | 176.2 | 52.7 | 1656.4 |
| 1991 | 0.0 | 0.0 | 30.3 | 6.9 | 145.4 | 114.6 | 98.9 | 43.6 | 274.1 | 206.2 | 54.9 | 16.4 | 991.3 |
| 1992 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 16.4 | 77.4 | 299.3 | 165.3 | 135.4 | 277.3 | 232.8 | 12.5 | 29.1 | 1245.5 |
| 1993 | 22.9 | 0.0 | 0.0 | 61.7 | 171.4 | 67.9 | 78.9 | 197.7 | 343.5 | 118.6 | 121.9 | 41.1 | 1225.6 |
| 1994 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 81.0 | 265.5 | 135.7 | 151.9 | 53.9 | 238.1 | 404.5 | 117.0 | 10.6 | 1458.2 |
| 1995 | 0.0 | 0.0 | 39.6 | 46.1 | 302.4 | 305.6 | 219.3 | 321.3 | 192.5 | 135.8 | 116.5 | 22.7 | 1701.8 |
| 1996 | 15.1 | 2.2 | 0.0 | 41.0 | 298.1 | 143.0 | 131.9 | 208.2 | 254.2 | 138.1 | 180.1 | 80.2 | 1492.1 |
| 1997 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 44.4 | 47.0 | 320.9 | 90.7 | 56.9 | 186.8 | 347.0 | 346.5 | 0.0 | 1440.2 |
| 1998 | 0.0 | 32.7 | 0.0 | 0.0 | 91.2 | 49.6 | 207.8 | 221.7 | 212.9 | 279.0 | 273.2 | 101.6 | 1469.7 |
| 1999 | 18.6 | 33.6 | 9.5 | 117.1 | 356.1 | 259.0 | 42.5 | 233.1 | 375.6 | 364.4 | 226.0 | 148.1 | 2183.6 |
| 2000 | 15.3 | 0.0 | 0.0 | 1.2 | 113.6 | 173.1 | 190.1 | 138.9 | 174.7 | 245.1 | 101.3 | 64.2 | 1217.5 |
| 2001 | 85.2 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 206.8 | 130.9 | 170.7 | 111.1 | 164.8 | 357.6 | 185.6 | 102.2 | 1514.9 |
| 2002 | 0.3 | 0.0 | 0.0 | 7.3 | 162.2 | 200.8 | 218.0 | 241.7 | 360.1 | 121.5 | 97.8 | 1.3 | 1411.0 |
| 2003 | 0.0 | 4.2 | 31.9 | 31.9 | 217.6 | 253.4 | 180.3 | 183.4 | 126.0 | 234.5 | 409.1 | 47.6 | 1719.9 |
| 2004 | 0.0 | 0.9 | 0.0 | 32.8 | 153.8 | 74.5 | 190.7 | 69.2 | 157.4 | 378.6 | 121.9 | 56.4 | 1236.2 |
| 2005 | 9.4 | 0.0 | 11.1 | 93.0 | 134.3 | 358.2 | 283.2 | 201.2 | 218.0 | 169.1 | 128.6 | 46.0 | 1652.1 |
| 2006 | 8.4 | 0.8 | 1.3 | 46.9 | 74.4 | 170.4 | 246.6 | 130.6 | 133.6 | 200.1 | 135.3 | 69.0 | 1217.4 |

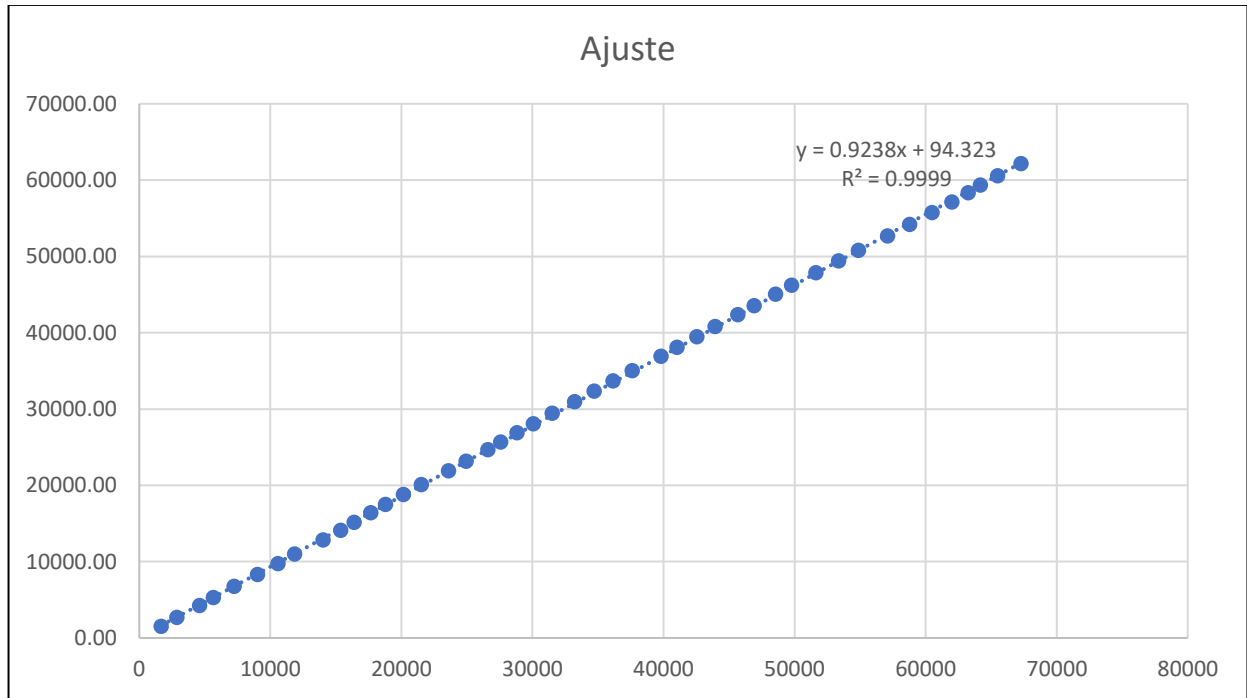
| CONTINUACIÓN DE ANEXO I (TOTAL MENSUAL DE PRECIPITACIÓN) | | | | | | | | | | | | | |
|--|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| AÑO | ENE | FEB | MAR | ABRIL | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | Total |
| | | | | | | | | | | | | | Anual |
| 2007 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 23.3 | 318.8 | 63.3 | 71.7 | 605.7 | 371.9 | 182.8 | 143.5 | 76.0 | 1857.0 |
| 2008 | 0.0 | 2.0 | 0.0 | 0.0 | 116.1 | 78.8 | 118.3 | 246.2 | 452.3 | 375.6 | 301.6 | 47.0 | 1737.9 |
| 2009 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 19.3 | 260.0 | 270.3 | 80.3 | 95.4 | 123.3 | 265.8 | 309.2 | 80.4 | 1504.0 |
| 2010 | 0.0 | 4.5 | 9.6 | 50.9 | 221.1 | 394.1 | 270.3 | 435.6 | 283.9 | 283.4 | 235.4 | 41.2 | 2230.0 |
| 2011 | 0.7 | 0.2 | 5.8 | 36.0 | 211.6 | 223.3 | 157.8 | 156.4 | 289.4 | 155.9 | 340.4 | 100.2 | 1677.7 |
| 2012 | 0.0 | 0.2 | 0.0 | 118.9 | 376.1 | 124.8 | 137.7 | 204.3 | 150.8 | 422.9 | 167.4 | 19.6 | 1722.7 |
| 2013 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 24.7 | 297.7 | 192.1 | 94.6 | 140.2 | 266.2 | 207.7 | 253.7 | 31.2 | 1508.1 |
| 2014 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 36.0 | 132.1 | 139.0 | 46.4 | 75.8 | 251.4 | 386.7 | 64.7 | 111.4 | 1243.5 |
| 2015 | 0.0 | 0.2 | 0.0 | 40.1 | 61.0 | 89.1 | 71.7 | 185.1 | 170.5 | 258.7 | 55.7 | 0.0 | 932.1 |
| 2016 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 1.1 | 360.1 | 168.9 | 101.4 | 145.4 | 168.0 | 301.7 | 66.1 | 1312.7 |
| 2017 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 75.5 | 93.2 | 202.1 | 202.3 | 265.5 | 223.3 | 145.4 | 422.9 | 141.7 | 1771.9 |
| Prom. | 5.6 | 1.8 | 8.0 | 40.3 | 184.8 | 183.1 | 146.2 | 191.5 | 233.9 | 255.1 | 191.0 | 53.5 | 1494.8 |
| Mín. | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 1.1 | 49.6 | 42.5 | 43.6 | 123.3 | 111.8 | 12.5 | 0.0 | |
| Máx. | 85.2 | 33.6 | 39.6 | 118.9 | 376.1 | 394.1 | 283.2 | 605.7 | 452.3 | 422.9 | 422.9 | 148.1 | |

- Anexo II Corrección de la Precipitación Mensual de la Estación Parita.**

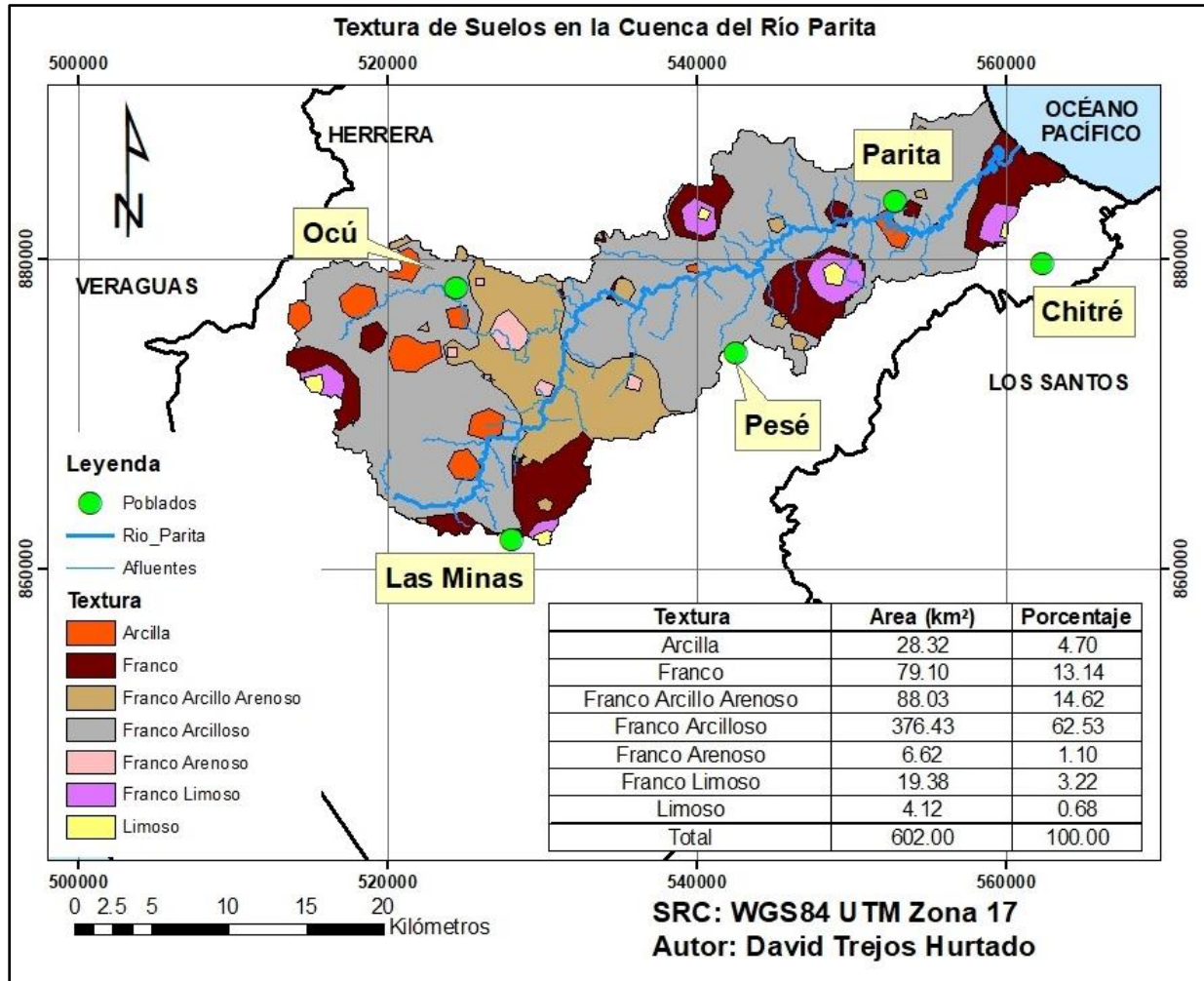
| Año | Estación base (Llano de la Cruz) | Estación base (mm) Acumulada | Estación problema (Parita) | Estación problema (mm) Acumulada | Corrección de la estación problema | Estación corregida acumulada |
|------------|---|-------------------------------------|-----------------------------------|---|---|-------------------------------------|
| 1973 | 1662.8 | 1662.8 | 1430.3 | 1430.3 | 1498.7 | 1498.7 |
| 1974 | 1210.3 | 2873.1 | 1238.5 | 2668.8 | 1181.7 | 2680.3 |
| 1975 | 1721.5 | 4594.6 | 1588.0 | 4256.8 | 1539.8 | 4220.1 |
| 1976 | 1046.1 | 5640.7 | 839.0 | 5095.8 | 1066.7 | 5286.8 |
| 1977 | 1590.3 | 7231.0 | 1407.2 | 6503.0 | 1447.9 | 6734.6 |
| 1978 | 1788.4 | 9019.4 | 1297.5 | 7800.5 | 1586.6 | 8321.2 |
| 1979 | 1551.3 | 10570.7 | 911.0 | 8711.5 | 1420.5 | 9741.8 |
| 1980 | 1274.3 | 11845.0 | 1167.5 | 9879.0 | 1226.5 | 10968.3 |
| 1981 | 2178.2 | 14023.2 | 1682.1 | 11561.1 | 1859.7 | 12828.0 |
| 1982 | 1336.3 | 15359.5 | 1169.4 | 12730.5 | 1269.9 | 14097.9 |
| 1983 | 1027.6 | 16387.1 | 955.5 | 13686.0 | 1053.7 | 15151.6 |
| 1984 | 1274.0 | 17661.1 | 1285.1 | 14971.1 | 1226.3 | 16377.9 |
| 1985 | 1126.3 | 18787.4 | 1116.9 | 16088.0 | 1122.8 | 17500.8 |
| 1986 | 1357.9 | 20145.3 | 781.9 | 16869.9 | 1285.1 | 18785.8 |
| 1987 | 1381.0 | 21526.3 | 874.4 | 17744.3 | 1301.3 | 20087.1 |
| 1988 | 2066.9 | 23593.2 | 1733.6 | 19477.9 | 1781.7 | 21868.8 |
| 1989 | 1342.4 | 24935.6 | 1145.0 | 20622.9 | 1274.2 | 23143.0 |
| 1990 | 1656.4 | 26592.0 | 1226.3 | 21849.2 | 1494.2 | 24637.2 |
| 1991 | 991.3 | 27583.3 | 725.5 | 22574.7 | 1028.3 | 25665.4 |
| 1992 | 1245.5 | 28828.8 | 440.0 | 23014.7 | 1206.3 | 26871.8 |
| 1993 | 1225.6 | 30054.4 | 1061.0 | 24075.7 | 1192.4 | 28064.2 |
| 1994 | 1458.2 | 31512.6 | 1062.0 | 25137.7 | 1355.3 | 29419.5 |
| 1995 | 1701.8 | 33214.4 | 1381.3 | 26519.0 | 1526.0 | 30945.5 |
| 1996 | 1492.1 | 34706.5 | 1010.0 | 27529.0 | 1379.1 | 32324.5 |
| 1997 | 1440.2 | 36146.7 | 839.5 | 28368.5 | 1342.7 | 33667.3 |
| 1998 | 1469.7 | 37616.4 | 1215.5 | 29584.0 | 1363.4 | 35030.6 |
| 1999 | 2183.6 | 39800.0 | 1743.0 | 31327.0 | 1863.5 | 36894.1 |
| 2000 | 1217.5 | 41017.5 | 718.5 | 32045.5 | 1186.7 | 38080.8 |
| 2001 | 1514.9 | 42532.4 | 741.0 | 32786.5 | 1395.0 | 39475.9 |
| 2002 | 1411.0 | 43943.4 | 433.9 | 33220.4 | 1322.3 | 40798.2 |
| 2003 | 1719.9 | 45663.3 | 1183.8 | 34404.2 | 1538.6 | 42336.8 |
| 2004 | 1236.2 | 46899.5 | 945.9 | 35350.1 | 1199.8 | 43536.6 |
| 2005 | 1652.1 | 48551.6 | 1049.5 | 36399.6 | 1491.2 | 45027.8 |
| 2006 | 1217.4 | 49769.0 | 809.6 | 37209.2 | 1186.6 | 46214.4 |

| CONTINUACIÓN DE ANEXO II (CORRECCIÓN DE PRECIPITACIÓN MENSUAL) | | | | | | |
|---|---|-------------------------------------|-----------------------------------|---|---|-------------------------------------|
| Año | Estación base (Llano de la Cruz) | Estación base (mm) Acumulada | Estación problema (Parita) | Estación problema (mm) Acumulada | Corrección de la estación problema | Estación corregida acumulada |
| 2007 | 1857.0 | 51626.0 | 1291.0 | 38500.2 | 1634.7 | 47849.1 |
| 2008 | 1737.9 | 53363.9 | 1508.8 | 40009.0 | 1551.3 | 49400.4 |
| 2009 | 1504.0 | 54867.9 | 1171.9 | 41180.9 | 1387.4 | 50787.8 |
| 2010 | 2230.0 | 57097.9 | 1900.3 | 43081.2 | 1896.0 | 52683.8 |
| 2011 | 1677.7 | 58775.6 | 1464.5 | 44545.7 | 1509.1 | 54192.8 |
| 2012 | 1722.7 | 60498.3 | 1122.0 | 45667.7 | 1540.6 | 55733.5 |
| 2013 | 1508.1 | 62006.4 | 1218.8 | 46886.5 | 1390.3 | 57123.7 |
| 2014 | 1243.5 | 63249.9 | 1009.8 | 47896.3 | 1204.9 | 58328.7 |
| 2015 | 932.1 | 64182.0 | 553.0 | 48449.3 | 986.8 | 59315.5 |
| 2016 | 1312.7 | 65494.7 | 906.9 | 49356.2 | 1253.4 | 60568.9 |
| 2017 | 1771.9 | 67266.6 | 210.8 | 49567.0 | 1575.1 | 62144.0 |

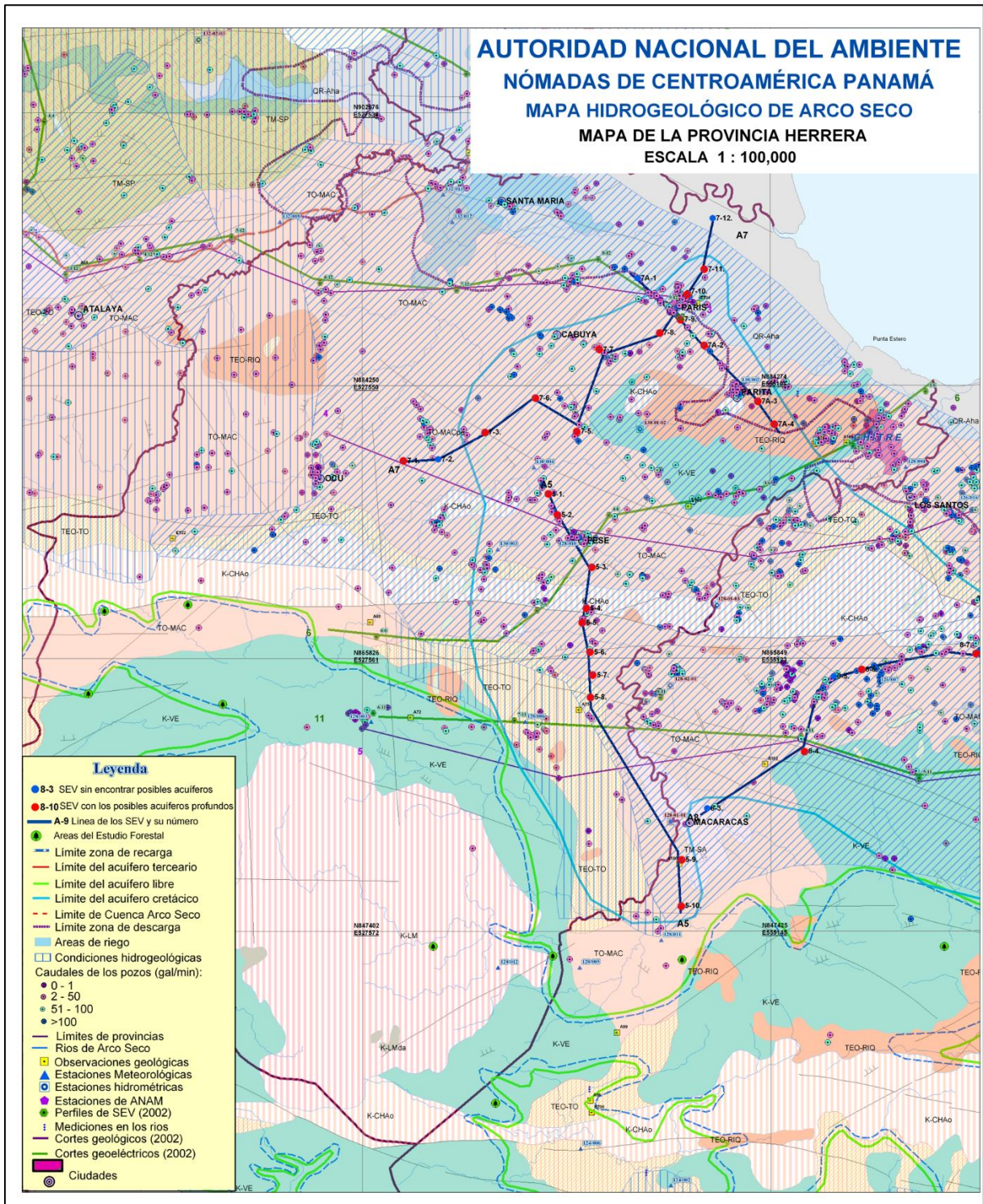
- **Anexo III Gráfico de Correlación Lineal entre la Estación Parita y Llano de la Cruz.**



- Anexo IV Mapa de la textura de la Cuenca del Río Parita. Adaptado del IDIAP, 2006.



- Anexo V Mapa Hidrogeológico del Arco Seco. Fuente: Souifer, 2010.



- Anexo VII Topografía de la Cuenca del Río Parita. Adaptado del MIDA, 2013.

