

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN GEOLOGÍA Y
PETRÓLEOS**

**DISEÑO DE UN SISTEMA PRELIMINAR DE REMEDIACIÓN, EN EL
SECTOR PK 128 + 500 DEL POLIDUCTO ESMERALDAS-SANTO
DOMINGO, BASADO EN UN MODELO CONCEPTUAL Y
NUMÉRICO HIDROGEOLÓGICO**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO
GEÓLOGO**

JUVER SANTIAGO JÁTIVA BENALCÁZAR

juversjb@hotmail.com

DIRECTOR: ING. WILSON RENÁN CORNEJO ORQUERA

renan.cornejo@epn.edu.ec

Quito, Febrero del 2016

DECLARACIÓN

Yo, Juver Santiago Játiva Benalcázar, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este tiempo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

Juver Santiago Játiva Benalcázar

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Juver Santiago Játiva Benalcázar, bajo mi supervisión.

Ing. Wilson Renán Cornejo

DIRECTOR DEL PROYECTO

AGRADECIMIENTO

A Dios, por todas las bendiciones que me ha regalado en cada reto de mi vida.

A mi ALMA MÁTER, la Escuela Politécnica Nacional, institución que me formó profesionalmente.

A mi esposa Andrea por apoyarme en cada decisión de mi vida, por ser mi compañera y mi amiga incondicional, este paso que hemos logrado juntos es el primero de muchos que vamos a superar tomados de la mano, tu presencia en este período de la vida ha sido fundamental para conseguir mi éxito y todo esto te lo debo a ti, te amo.

A mi hija Martina, mi princesa que se convirtió en mi mayor inspiración y empuje para superar cada prueba que la vida nos ha puesto. Gracias por alegrarme la vida con tu sonrisa.

A mis padres, Cecilia y Juver; que me enseñaron el sentido de la vida. Gracias a su trabajo, esfuerzo y dedicación pude gozar de un hogar lleno de amor y alegría, son mi mayor orgullo, esta bendición también es suya.

A mi hermano Danny gracias por ser mi amigo y confidente, quien con su ejemplo me han impulsado a superarme profesionalmente, gracias por estar siempre en las buenas y las malas. A mi hermana Eli, tu apoyo y tu amor ha sido fundamental en mi vida, gracias por crecer a mi lado y llenar mi vida de alegría. A los dos gracias por todo, siempre vamos a estar juntos.

A toda mi familia, gracias por ayudarme a superar todas las adversidades. A Martita, Ramirito, Ramy y Fer gracias por brindarme el amor de su familia.

A HIDROGEOCOL ECUADOR CIA. LTDA. que me brindó la oportunidad de ser parte de su equipo, a Geovanny y Wilmer gracias por toda la confianza que depositaron en mí desde el primer día. A Francisco, Andrés, Vicky, Eliza, Cris, Carito, Jenny, Majo, Galo y Pablo que más que compañeros de trabajo se convirtieron en amigos, su apoyo y ayuda fue muy importante en el proyecto de titulación.

A mi director Ing. Renán Cornejo gracias por su ayuda y paciencia en cada fase del proyecto de titulación.

A la Facultad de Ingeniería en Geología y Petróleos, a sus directivos, trabajadores, profesores y alumnos, quienes representaron mi segunda familia durante mi transcurrir por la universidad.

A mis amigos de toda la vida, Fernando, Andre, Sandra, Darío, Leo y Richard, gracias por ser incondicionales y enseñarme el valor de la familia que se escoge.

A mis amigos Mateo, Johnny, Josué, Andrés, Camilo, Stefy, Marco, Vale, Ernesto, Vane, Taty, Maya, Karen, Williams, Marco, Carlos, Dany, Diego, Cristian, Wilmer, Milton y Francisco, tengo tanto que agradecerles porque hicieron que mi vida universitaria sea llena de alegrías y me enseñaron que no hay nada más valioso que una verdadera amistad ya que fomentamos un grupo de amigos que nunca nada va a poder reemplazar.

DEDICATORIA

A ti mi amor no lo hubiera logrado sin tu apoyo.

A mi hija Martina, llenas de alegría mi vida.

A mis padres y hermanos, la base de mi vida.

ÍNDICE GENERAL

| | |
|---|------|
| ÍNDICE GENERAL | I |
| ÍNDICE DE FIGURAS | IV |
| ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS | V |
| ÍNDICE DE TABLAS | VI |
| ÍNDICE DE ANEXOS | VII |
| RESUMEN | VIII |
| ABSTRACT | IX |
| CAPÍTULO 1 | 1 |
| GENERALIDADES | 1 |
| 1.1 ANTECEDENTES Y JUSTIFICATIVOS | 1 |
| 1.2 OBJETIVOS | 2 |
| 1.2.1 OBJETIVO GENERAL | 2 |
| 1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 2 |
| 1.3 ALCANCE Y LIMITACIONES | 3 |
| 1.4 METODOLOGÍA | 4 |
| 1.5 ESTUDIOS ANTERIORES | 4 |
| 1.6 ASPECTOS GEOGRÁFICOS | 6 |
| 1.6.1 LOCALIZACIÓN Y ACCESIBILIDAD | 6 |
| 1.6.2 MORFOLOGÍA | 8 |
| 1.6.3 HIDROGRAFÍA | 8 |
| CAPÍTULO 2 | 10 |
| MARCO GEOLÓGICO | 10 |
| 2.1 GEOLOGÍA REGIONAL | 10 |
| 2.1.1 SECUENCIA ESTRATIGRÁFICA DEL ABANICO ALUVIAL DE SANTO DOMINGO | 12 |
| 2.1.1.1 Miembro basal | 12 |
| 2.1.1.2 Miembro superior | 13 |
| 2.1.2 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL | 20 |
| 2.1.3 MODELAMIENTO DEL RELLENO SEDIMENTARIO | 21 |

| | | |
|-------------------|--|-----------|
| 2.1.3.1 | Clima | 21 |
| 2.1.3.2 | Tectónica | 22 |
| 2.1.3.3 | Condiciones de sedimentación | 22 |
| 2.1.4 | EVOLUCIÓN DEL ABANICO ALUVIAL DE SANTO DOMINGO | 23 |
| 2.2 | GEOLOGÍA LOCAL | 25 |
| 2.2.1 | ESTRATIGRAFÍA | 25 |
| 2.2.1.1 | Secuencia 4 | 25 |
| 2.2.1.2 | Secuencia 3 | 29 |
| 2.2.1.3 | Secuencia 2 | 31 |
| 2.2.1.4 | Secuencia 1 | 33 |
| 2.2.2 | GEOLOGÍA ESTRUCTURAL | 35 |
| 2.2.3 | GEOMORFOLOGÍA | 36 |
| 2.2.4 | CORRELACIÓN LITOLÓGICA | 38 |
| 2.2.5 | ANÁLISIS DE LOS PERFILES DE RESISTIVIDAD | 41 |
| CAPÍTULO 3 | | 49 |
| | HIDROMETEOROLOGÍA | 49 |
| 3.1 | ANÁLISIS Y VALIDACIÓN DE LA INFORMACIÓN | 49 |
| 3.2 | CLIMATOLOGÍA | 55 |
| 3.2.1 | CLASIFICACIÓN DEL CLIMA | 55 |
| 3.2.2 | TEMPERATURA | 57 |
| 3.2.3 | PRECIPITACIÓN | 58 |
| 3.3 | METEOROLOGÍA | 59 |
| 3.3.1 | TEMPERATURA Y PRECIPITACIÓN MEDIA MULTIANUALES | 59 |
| 3.3.2 | EVAPOTRANSPIRACIÓN | 60 |
| 3.3.3 | ESCORRENTÍA SUPERFICIAL | 65 |
| 3.4 | BALANCE HÍDRICO | 69 |
| CAPÍTULO 4 | | 71 |
| | HIDROGEOLOGÍA | 71 |
| 4.1 | UBICACIÓN Y LÍMITES DEL ACUÍFERO | 72 |
| 4.2 | ACUÍFERO LOCAL | 76 |
| 4.2.1 | DISEÑO DEL MAPA PIEZOMÉTRICO | 76 |
| 4.2.2 | UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS | 81 |

| | | |
|---|---|------------|
| 4.2.3 | SECCIONES HIDROGEOLOGICAS | 84 |
| 4.2.4 | VELOCIDAD MEDIA DEL FLUJO DE AGUA SUBTERRÁNEA | 86 |
| 4.3 | MODELO CONCEPTUAL | 88 |
| 4.3.1 | ÁREAS DE RECARGA Y DESCARGA | 88 |
| CAPÍTULO 5 | | 90 |
| HIDROQUÍMICA | | 90 |
| 5.1 | BASE DE DATOS DE PARÁMETROS FÍSICOS Y QUÍMICOS .. | 90 |
| 5.2 | ANÁLISIS DE PARÁMETROS FÍSICOS | 91 |
| 5.3 | ANÁLISIS DE PARÁMETROS QUÍMICOS | 92 |
| 5.3.1 | BALANCE IÓNICO | 93 |
| 5.3.2 | DESCRIPCIÓN DEL TIPO AGUA | 94 |
| CAPÍTULO 6 | | 96 |
| MODELACIÓN | | 96 |
| 6.1 | INGRESO DEL MODELO CONCEPTUAL | 96 |
| 6.2 | SELECCIÓN Y GEOMETRÍA DE LA GRILLA | 98 |
| 6.3 | INGRESO DE PARÁMETROS HIDRÁULICOS | 99 |
| 6.4 | CARGA HIDRÁULICA DE POZOS | 99 |
| 6.5 | SOLUCIÓN DEL MODELO | 100 |
| CAPÍTULO 7 | | 101 |
| ALTERNATIVAS DE REMEDIACIÓN Y DISEÑO DEL SISTEMA | | 101 |
| 7.1 | TRABAJOS PREVIOS DE MITIGACIÓN | 101 |
| 7.2 | CARACTERÍSTICAS DE LA CARGA CONTAMINANTE | 102 |
| 7.3 | ANÁLISIS DE LAS ALTERNATIVAS DE REMEDIACIÓN | 104 |
| 7.3.1 | FACTIBILIDAD TÉCNICA | 105 |
| 7.3.2 | FACTIBILIDAD SOCIO-AMBIENTAL | 105 |
| 7.3.3 | FACTIBILIDAD ECONÓMICA | 105 |
| 7.4 | SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA DE REMEDIACIÓN | 105 |
| 7.5 | DISEÑO DEL SISTEMA REMEDIAL | 109 |
| 7.5.1 | RECOMENDACIONES | 109 |
| 7.5.2 | SELECCIÓN DEL SITIO | 110 |

| | | |
|--|--|------------|
| 7.5.3 | ESQUEMA Y DESCRIPCIÓN DEL DISEÑO | 110 |
| 7.6 | ALCANCE Y TIEMPO DE EJECUCIÓN | 112 |
| CAPÍTULO 8..... | | 113 |
| CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... | | 113 |
| 8.1 | CONCLUSIONES..... | 113 |
| 8.2 | RECOMENDACIONES | 116 |
| REFERENCIAS CITADAS | | 117 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | | |
|---------------------|--|----|
| Figura 1.1. | Mapa de ubicación de la zona de estudio. | 7 |
| Figura 1.2. | Red hidrográfica de los abanicos aluviales de Santo Domingo y Pedro Vicente Maldonado. SDM: Abanico aluvial de Santo Domingo, PVM: Abanico aluvial de Pedro Vicente Maldonado. (Reyes, 2013). | 9 |
| Figura 2.1. | Mapa de ubicación de los tres conjuntos de abanicos que conforman el gran abanico sedimentario de Santo Domingo. (Fuente topográfica: IGM)..... | 11 |
| Figura 2.2. | Estratigrafía del abanico aluvial de Santo Domingo. (Reyes, 2013). | 17 |
| Figura 2.3. | Mapa Geológico de Santo Domingo de los Tsáchilas. (Modificado de DINAGE, 2006)..... | 19 |
| Figura 2.4. | Mapa estructural del abanico aluvial de Santo Domingo. (Fuente topográfica: IGM | 21 |
| Figura 2.5. | Modelo de evolución del abanico aluvial de Santo Domingo. Las flechas en blanco representan las zonas de levantamiento y las flechas negras la dirección del flujo sedimentario. (Reyes, 2013). | 24 |
| Figura 2.6. | Columna Estratigráfica de la zona de estudio. (Modificado de HGE, 2011). | 35 |
| Figura 2.7. | Mapa geomorfológico de la zona de estudio. | 37 |
| Figura 2.8. | Mapa de ubicación de pozos de monitoreo, remediación y aljibes. Correlación litológica este-oeste (rojo). | 39 |
| Figura 2.9. | Correlación este-oeste de registros litológicos, pozos situados en la parte central de la zona de estudio. | 40 |
| Figura 2.10. | Mapa de las líneas de perfiles de tomografía eléctrica (Año 2011). | 42 |
| Figura 2.11. | Mapa de las líneas de perfiles de tomografía eléctrica (Año 2014). | 42 |
| Figura 2.12. | Correlación de imágenes de resistividad (2011): Vista 3D frontal. ... | 46 |
| Figura 2.13. | Correlación de imágenes de resistividad (2011): Vista 3D posterior izquierda..... | 46 |
| Figura 2.14. | Correlación de imágenes de resistividad (2014): Vista 3D frontal. .. | 47 |
| Figura 2.15. | Correlación de imágenes de resistividad (2014): Vista 3D posterior izquierda..... | 47 |
| Figura 3.1. | Variación de precipitación en el tiempo de las cinco estaciones meteorológicas. | 52 |

| | |
|--|-----|
| Figura 3.2. Mapa de ubicación de las estaciones meteorológicas. Fuente topográfica: IGM..... | 52 |
| Figura 3.3. Variación de la temperatura en el tiempo de las cinco estaciones meteorológicas..... | 53 |
| Figura 3.4. Mapa climático de la zona de estudio..... | 57 |
| Figura 3.5. Variación de la temperatura media mensual multianual..... | 58 |
| Figura 3.6. Variación de la precipitación media mensual multianual..... | 59 |
| Figura 3.7. Cálculo de la Evapotranspiración mediante el método de Penman-Monteith de la FAO en CROPWAT 8.0..... | 62 |
| Figura 3.8. Valores de Q (en mm o pulgadas) en función de la cantidad de lluvia precipitada (en mm o pulgadas) y el N° de la curva CN característico de la zona. (United States Department of Agriculture, 2004). | 66 |
| Figura 4.1. Mapa de la subunidad hidrogeológica La Concordia. (Modificado de INAMHI-DGGM,1983). | 73 |
| Figura 4.2. Mapa de ubicación del acuífero regional al norte de Santo Domingo..... | 75 |
| Figura 4.3. Mapa piezométrico de la zona de estudio..... | 80 |
| Figura 4.4. Sección hidrogeológica A-A'..... | 85 |
| Figura 4.5. Sección hidrogeológica B-B'..... | 85 |
| Figura 4.6. Modelo conceptual hidrogeológico..... | 89 |
| Figura 5.1. Variación del pH en los pozos de monitoreo..... | 91 |
| Figura 5.2. Variación de la temperatura en los pozos de monitoreo..... | 92 |
| Figura 5.3. Diagrama de Piper representando los análisis en los pozos de monitoreo del acuífero local..... | 95 |
| Figura 6.1. Ingreso del Modelo Conceptual en Visual Modflow Flex..... | 97 |
| Figura 6.2. Modelo de bloque delimitando las tres unidades hidrogeológicas..... | 97 |
| Figura 6.3. Delimitación del área a modelar..... | 98 |
| Figura 6.4. Parámetros hidráulicos..... | 99 |
| Figura 6.5. Mapa de líneas equipotenciales modeladas..... | 100 |
| Figura 7.1. Modelo conceptual simplificado a escala de poros para la filtración de LLFNA en la zona saturada. (Modificado de Huntley and Beckett, 2002). | 103 |
| Figura 7.2. Configuración clásica de un Sistema P&T. (EPA, 2003). | 107 |
| Figura 7.3. Configuración clásica de un Sistema Airstripping. (EPA, 2003). | 108 |
| Figura 7.4. Configuración típica de un Sistema GAC. (EPA, 2003). | 108 |
| Figura 7.5. Esquema del Diseño del Sistema Remedial..... | 111 |

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

| | |
|---|----|
| Fotografía 2.1. Fotografías de la litología característica del Miembro superior de la Formación Borbón. (Reyes, 2013)..... | 13 |
| Fotografía 2.2. Deformación observada en el contacto entre el Miembro basal y superior del abanico aluvial de Santo Domingo. Nótese que la influencia tectónica promueve la agradación que suaviza la superficie pre-existente. (Reyes, 2013)..... | 14 |
| Fotografía 2.3. Fotografías ilustrativas de la litología característica del Miembro superior del abanico aluvial de Santo Domingo..... | 16 |
| Fotografía 2.4. Arenisca de la secuencia S4 (UTM: 684680, 9992604)..... | 26 |

| | |
|---|----|
| Fotografía 2.5. Afloramiento de las areniscas de la secuencia S4 en el lecho del río Cucaracha (UTM: 684850, 9992326). Tomada por Játiva J. (2014). | 27 |
| Fotografía 2.6. Afloramiento de las areniscas de la secuencia S4 en la base del talud (UTM: 685081, 9992422). Tomada por Játiva J. (2014). | 27 |
| Fotografía 2.7. Lente de conglomerado en la secuencia S4 (UTM: 684758, 9992137). Tomada por Játiva J. (2014). | 28 |
| Fotografía 2.8. Talud de aproximadamente 20 m. de altura en el que se puede apreciar los lentes de conglomerado (UTM: 685081, 9992422). Tomada por EP PETROECUADOR (2013). | 28 |
| Fotografía 2.9. Arenas limosas de la secuencia S3 (UTM: 684735, 9992335). Tomada por Játiva J. (2014). | 29 |
| Fotografía 2.10. Limos arenosos de la secuencia S3. (UTM: 685081, 9992422). Tomada por Játiva J. (2014). | 30 |
| Fotografía 2.11. Contacto entre limos arcillosos y arcillas rosáceas de la parte superior de la secuencia S3 (UTM: 685081, 9992422). Tomada por Játiva J. (2014). | 31 |
| Fotografía 2.12. Limos arcillosos presentes en la secuencia S2. (UTM: 685081, 9992422). Tomada por Játiva J. (2014). | 32 |
| Fotografía 2.13. Contacto entre las secuencias S1 y S2 (Limos de alta plasticidad) (UTM: 684929, 9992430). Tomada por EP PETROECUADOR (2011). | 33 |
| Fotografía 2.14. Contacto entre la secuencia S1 y S2, tomada en la parte central de la zona de estudio. (UTM: 684929, 9992430). Tomada por EP PETROECUADOR (2011). | 34 |
| Fotografía 2.15. Contacto entre la secuencia S1 y S2, tomada en la parte suroccidental de la zona de estudio. (UTM: 684911, 9992233). Tomada por EP PETROECUADOR (2011). | 34 |
| Fotografía 2.16. Movimiento con desplazamiento rotacional, ubicado al este del poliducto (UTM: 685057, 9992463). Tomada por Játiva J. (2014). | 37 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 2.1. Perfiles de tomografía eléctrica levantados en el sitio. | 41 |
| Tabla 2.2. Resumen de las resistividades en los perfiles de tomografía eléctrica realizados en la zona de estudio. | 44 |
| Tabla 2.3. Correlación de tonalidad de resistividades con su asociación litológica. | 45 |
| Tabla 3.1. Estaciones meteorológicas. | 51 |
| Tabla 3.2. Precipitaciones mensuales multianuales de las estaciones: La Concordia, Puerto Ila, Chiriboga, La Libertad-Río Blanco y Cachabi Jame Bron en el período de registro completo. Fuente: INAMHI. | 54 |
| Tabla 3.3. Temperaturas mensuales multianuales de las estaciones: La Concordia, Puerto Ila, Chiriboga, La Libertad-Río Blanco y Cachabi Jame Bron en el período de registro completo. Fuente: INAMHI. | 54 |
| Tabla 3.4. Precipitaciones y temperaturas medias mensuales multianuales. Fuente INAMHI. | 55 |
| Tabla 3.5. Cálculo de la evapotranspiración real. | 64 |

| | |
|---|-----|
| Tabla 3.6. Cálculo de la escorrentía por el Método de la curva. | 68 |
| Tabla 3.7. Parámetros hidrológicos calculados para la zona de estudio. | 69 |
| Tabla 3.8. Balance hídrico para el sistema acuífero local. | 70 |
| Tabla 4.1. Cuadro resumen de inventario de puntos de agua en la subunidad hidrogeológica La Concordia. (Modificado de INAMHI, 2015)..... | 74 |
| Tabla 4.2. Resumen del inventario de pozos utilizados en la zona de estudio (Promedio)..... | 78 |
| Tabla 4.3. Parámetros hidrogeológicos tomados a partir de las pruebas Slug. (HGE, 2014)..... | 82 |
| Tabla 4.4. Características hidráulicas de las unidades hidrogeológicas. | 87 |
| Tabla 5.1. Errores del balance iónico..... | 94 |
| Tabla 7.1. Tabla de combustible recuperado por EP PETROECUADOR..... | 102 |
| Tabla 7.2. Tabla Resumen de los principales Tratamientos y Alternativas de Remediación en Aguas Subterráneas. (Modificado de EP PETROECUADOR, 2011) .. | 104 |

ÍNDICE DE ANEXOS

| | |
|---|-----|
| Anexo 1. Registros Litológicos y Ensayos granulométricos..... | 122 |
| Anexo 2. Perfiles de tomografía eléctrica. | 130 |
| Anexo 3. Registros de variables meteorológicas. | 138 |
| Anexo 4. Variación de precipitación en el tiempo, Medias mensuales. | 159 |
| Anexo 5. Condiciones del método de la curva..... | 163 |
| Anexo 6. Campañas de medición de niveles de agua..... | 166 |
| Anexo 7. Resultados de las “Pruebas Slug”. | 168 |
| Anexo 8. Resultados de análisis de los parámetros físico-químicos. | 178 |
| Anexo 9. Criterios de Factibilidad técnica, socio - ambientales, económicas y la matriz de alternativas de selección. | 180 |
| Anexo 10. Matriz de alternativas de remediación..... | 184 |

RESUMEN

El proyecto se basa en la metodología a seguir para diseñar el sistema remedial piloto en el sector PK 128+500 del poliducto Esmeraldas-Santo Domingo, con el fin de contribuir a la mejora del ambiente en el recinto El Rosario que se vio afectado tras la fuga de hidrocarburos el año 2010.

El diseño del Sistema Remedial está fundamentado en el modelo conceptual, el cual fue generado a partir del levantamiento de columnas estratigráficas, correlación de registros litológicos, análisis de perfiles de tomografía eléctrica, cálculo del balance hídrico, desarrollo del mapa piezométrico y la ejecución de secciones hidrogeológicas. Para complementar la información hidrogeológica se analizan los parámetros físicos del agua y se determina que esta es de tipo bicarbonatada cálcica.

Para la selección de las alternativas de remediación, se realizó una matriz de factibilidad técnica, socio-ambiental y económica. El análisis de la matriz de factibilidades ha permitido seleccionar como alternativa de remediación el Bombeo y tratamiento de fases líquidas, esta consiste en: el bombeo del combustible en fase libre, fase residual y fase de disueltos y el tratamiento de la fase de disueltos mediante el uso de sistemas Airstripper y de Filtros de Carbón Activado.

La propuesta del sistema remedial incluye las recomendaciones para complementar y fortalecer la información del acuífero, y las etapas técnicas que se debe seguir para diseñar el sistema remedial piloto.

ABSTRACT

This project is based on the methodology for designing the pilot remedial system in the PK 128+500 sector of the Esmeraldas-Santo Domingo pipeline, in order to contribute to the environment improving of El Rosario precinct which was affected after the 2010 oil leak.

The Remedial System design is based in a conceptual model which was generated from stratigraphic columns, lithological logs correlation, electrical tomography sections analysis, hydric balance calculations, and the execution of a groundwater map and hydrogeological sections. To complete the hydrogeological information, the water physical parameters were analyzed and it determines that the water is bicarbonate calcic.

For the remediation alternatives selection, a matrix of technical, environmental and socio-economic feasibilities was performed. The feasibilities matrix analysis has allowed us to select as remediation alternative the Pumping and treatment of liquid phases that consists of pumping the fuel in free phase, residual phase and dissolved phase and the treatment of dissolved phase by Airstripper systems use and activated carbon filters.

The proposed system includes remedial recommendations to complement and strengthen the aquifer information and the technical steps to be followed to design the pilot remedial system.

CAPÍTULO 1

GENERALIDADES

1.1 ANTECEDENTES Y JUSTIFICATIVOS

Petrocomercial es una filial de PETROECUADOR, responsable del transporte, almacenamiento y comercialización de derivados de petróleo en el territorio nacional. A través del Sistema Nacional de Poliductos se transportan los derivados de petróleo para consumo interno: gasolina extra y super, diesel 1 y 2, destilados, jet fuel, gasolina de avión (avgas) y gas (GLP). El sistema está conformado por la línea de tubería y las estaciones cabecera, de bombeo y reductora.

En el territorio ecuatoriano existen los siguientes poliductos: Shushufindi-Quito, Esmeraldas-Santo Domingo, Santo Domingo-Quito, Pascuales-Santo Domingo, La Libertad-Manta, Quito-Ambato, La Libertad-Pascuales, Tres Bocas-Pascuales, Tres Bocas-Fuel Oil y Gasoducto Tres Bocas-Fuel Oil (Andrade, 2007).

Por la ubicación de los centros de consumo los poliductos atraviesan ríos, pantanos, zonas agrícolas y ganaderas, zonas pobladas, etc., ocasionando así diversos tipos de accidentes; uno bastante común es la ruptura de tuberías y el consiguiente derrame de hidrocarburos, alcanzando grandes extensiones y contaminando agua y suelo (Rivera, 2011).

El 27 de diciembre del 2010, en el recinto El Rosario (sector La Concordia, Santo Domingo de los Tsáchilas) se produjo un derrame de combustible en el Poliducto Esmeraldas – Santo Domingo (sitio PK 128+500) ocasionado por la falla de una abrazadera empernada que se utilizó en la reparación de una perforación clandestina ocurrida hace aproximadamente 17 años (EP PETROECUADOR, 2011).

El derrame estimado en 7340 barriles, produjo un importante impacto en la población del recinto, debido a que este causó la contaminación del agua

subterránea y de cuerpos superficiales de agua (río Cucaracha) aledaños al recinto, provocando el afloramiento de combustible en varios sitios de propiedad privada.

Luego del derrame, técnicos de la EP PETROECUADOR se trasladaron al sitio para reparar la fuga en la tubería del poliducto, evaluar el área afectada y realizar actividades de recuperación del combustible derramado (HGE, 2011).

Posterior a las actividades de mitigación, HIDROGEOCOL ECUADOR CÍA. LTDA. (HGE) en cumplimiento del contrato suscrito con EP PETROECUADOR, ejecutó estudios entre el 2011 y 2015, que consistieron en levantamiento topográfico, exploración geofísica, construcción de pozos y diseño de un sistema remedial en la zona de estudio.

Por lo expuesto, resulta imprescindible continuar y fortalecer la investigación y el estudio del acuífero contaminado, debido a que fue una fuente de suministro de agua que en la actualidad no puede ser consumida.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 OBJETIVO GENERAL

Diseño de un Sistema Preliminar de Remediación basado en un modelo conceptual y numérico hidrogeológico, que permita contribuir a la mejora del ambiente en los alrededores del sitio PK 128+500 del Poliducto Esmeraldas-Santo Domingo.

1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar las características geológicas e hidrogeológicas del acuífero.
- Desarrollar un modelo conceptual y un modelo numérico hidrogeológico.
- Describir las características hidroquímicas del acuífero.
- Plantear alternativas de remediación y seleccionar las adecuadas en función de las características del acuífero y del tipo de contaminante.

- Diseñar el sistema preliminar de remediación in situ.
- Contribuir a la remediación del agua subterránea afectada por el derrame.
- Construir una base de datos en formato de Sistema de Información Geográfica (SIG), que permita fortalecer la información que se obtenga en el futuro.

1.3 ALCANCE Y LIMITACIONES

La principal limitante que presenta la información obtenida de los estudios presentados por HGE, es la mala distribución de los pozos, debido a que esta no consideró una malla regular que permita obtener información proporcional de todo el sitio. La limitación ocasionó que la información esté centralizada en ciertas áreas y que en otras no exista datos, provocando que la información esté incompleta y condicione el desarrollo del mapa piezométrico, la determinación de parámetros hidráulicos y las campañas de muestreo químico. Sin embargo, el tratamiento de la información en las zonas donde existen abundantes datos ha permitido generar una base de información muy importante que debería ser fortalecida.

Debido a que el área en la zona de estudio es pequeña (0,26 km²) se realizó el balance hídrico teniendo en cuenta la escasez de estaciones meteorológicas aledañas a la zona y la falta de estaciones hidrológicas. Por cuanto la información fue complementada con la aplicación de métodos teóricos que permitieron que el desarrollo del balance hídrico sea congruente con la realidad.

La información de los registros litológicos de los pozos de monitoreo construidos el 2011 por HGE, fue complementada con trabajo de campo y supervisión en la construcción de nueve pozos de remediación el 2014.

En consecuencia, con las limitaciones expuestas el Proyecto de Titulación propone la metodología del diseño de un sistema preliminar de remediación en la zona afectada. En primera instancia el sistema considera las recomendaciones que permitan generar mayor cantidad de datos para fortalecer la información hidrogeológica del sitio y el diseño de un sistema basado en el Bombeo y Tratamiento de agua e hidrocarburos.

También se pretende contribuir a la comunidad, ya que a través del sistema remedial se espera que en el futuro, los pobladores del recinto El Rosario tengan una mejora en su calidad de vida hoy afectada por el derrame.

1.4 METODOLOGÍA

La metodología para cumplir con los objetivos propuestos en este proyecto constó de las siguientes etapas:

- Identificación del problema.
- Definición del área de interés.
- Recopilación de información (Reyes, 2013; INAMHI, 2015; HGE, 2011; HGE, 2014; etc.)
- Trabajo de campo mediante levantamiento de columnas estratigráficas e identificación de secuencias litológicas.
- Cálculo del balance hídrico.
- Desarrollo del mapa piezométrico y secciones hidrogeológicas.
- Descripción hidroquímica del acuífero.
- Planteamiento y selección de las alternativas de remediación.
- Metodología del Diseño Preliminar Remedial.
- Informe de los resultados.

1.5 ESTUDIOS ANTERIORES

Para este trabajo se tomó como referencia estudios de Geología, Hidrogeología y Remediación relacionados con el proyecto de titulación. Los más importantes se citan a continuación:

- EPA. *Guía del Ciudadano sobre alternativas de Remediación.*

La base bibliográfica sobre las alternativas de remediación y su funcionamiento fueron tomadas de la United States Environmental Protection Agency (EPA).

- EP PETROECUADOR. (2011). *Programa de Remediación Ambiental del derrame en el punto PK 128+500 del Poliducto Esmeraldas-Santo Domingo*. Gerencia de Seguridad, Salud y Ambiente, Subgerencia de Mitigación y Remediación Ambiental, Coordinación de Mitigación y Remediación Ambiental Costa Sierra, Quito.

Este estudio se enfocó en detallar el derrame ocurrido y las actividades de mitigación que se realizaron por parte de EP PETROECUADOR para controlar la fuga y evitar mayor grado de contaminación en la zona. Las tareas de limpieza consistieron básicamente en la recolección y almacenamiento de combustible. La información fue utilizada para conocer los antecedentes del derrame.

- EP PETROECUADOR. (2011). *Informe de alternativas tecnológicas de remediación, Derrame Poliducto PK 128+500, La Concordia*. Gerencia de Seguridad, Salud y Ambiente, Coordinación de Tecnologías Ambientales, Quito.

Este estudio consistió en la descripción y planteamiento de un sinnúmero de alternativas de remediación “*in situ*” y “*ex situ*” para agua subterránea, zona no saturada y suelos contaminados.

- HIDROGEOCOL ECUADOR CÍA. LTDA. (2011). *Estudio para la determinación de la pluma de contaminación en el PK 128+500 del poliducto Esmeraldas-Quito*. Quito.

Este estudio consistió en la evaluación inicial del sitio afectado, y constó de tres fases en las que se realizaron actividades como: levantamiento topográfico, perfiles de tomografía eléctrica, perforaciones exploratorias, muestreo de agua subterránea, ensayos granulométricos, etc. La información e interpretación de los resultados fue utilizada para el desarrollo del proyecto de titulación.

- HIDROGEOCOL ECUADOR CÍA. LTDA. (2014). *Diseño y desarrollo de un Sistema Remedial in situ en el PK 128+500 Poliducto Esmeraldas-Santo Domingo*. Quito.

Este informe se basó en la reevaluación del sitio mediante nuevos perfiles de tomografía eléctrica, muestreo de aguas subterráneas, pruebas slug, etc. Con la

información recopilada se diseñó y ejecutó un sistema remedial en el que el autor de este proyecto participó en calidad de técnico en cada una de las fases y a su vez sirvió de guía para la realización del diseño del sistema remedial propuesto en este proyecto. La información de este informe sirvió como base para corroborar información de la geología del área, la determinación de parámetros hidráulicos, etc.

- INAMHI. (2015). *Introducción a la Hidrogeología del Ecuador* (2da ed.). Obtenido de http://www.serviciometeorologico.gob.ec/Publicaciones/Hidrologia/HIDROGEOLOGIA_2%20EDICION_2014.pdf

Este estudio resume a partir de aproximadamente 5000 puntos de agua, pozos y vertientes a nivel nacional, las unidades y subunidades hidrogeológicas del Ecuador y fue la base para obtener información sobre la subunidad hidrogeológica La Concordia.

- Reyes, P. (2013). *Évolution du relief le long des marges actives: Étude de la déformation Plio-Quaternaire de la Cordillère Côtière D'Équateur*. Niza: Tesis doctoral, UNIVERSITÉ DE NICE SOPHIA ANTIPOLIS.

Este trabajo de doctorado describe y resume la formación y evolución del abanico aluvial de Santo Domingo. Esta información fue la base de la descripción de la geología regional.

1.6 ASPECTOS GEOGRÁFICOS

1.6.1 LOCALIZACIÓN Y ACCESIBILIDAD

El área de estudio se encuentra en el recinto El Rosario, cantón La Concordia, provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas (Figura 1.1). El recinto El Rosario está ubicado al suroeste del cantón La Concordia, en el km 32 de la vía Santo Domingo - La Concordia; se trata de un sector rural aun no delimitado, por lo que todavía se encuentra en proceso su adscripción a una de las parroquias del cantón La Concordia, además el recinto limita al norte y al este con la zona

periférica del centro poblado de la Concordia, al sur con la parroquia rural de Valle Hermoso del cantón Santo Domingo y al oeste con la parroquia de Plan Piloto.

Es una planicie que se localiza entre las coordenadas 9992124 - 9992727 de latitud norte y 684500 – 685131 de longitud este. Abarca un área de 0.26 km² con una longitud aproximada de 0.571 km. en dirección este-oeste y un ancho promedio de 0.458 km. en dirección norte-sur.

La zona cuenta con carreteras de primer y segundo orden; la más importante es la vía Santo Domingo-Quinindé, a la altura del kilómetro 32 se puede acceder a una vía de segundo orden que conduce a la parroquia Plan Piloto, a unos 400 m. aproximadamente se encuentra la entrada al recinto.

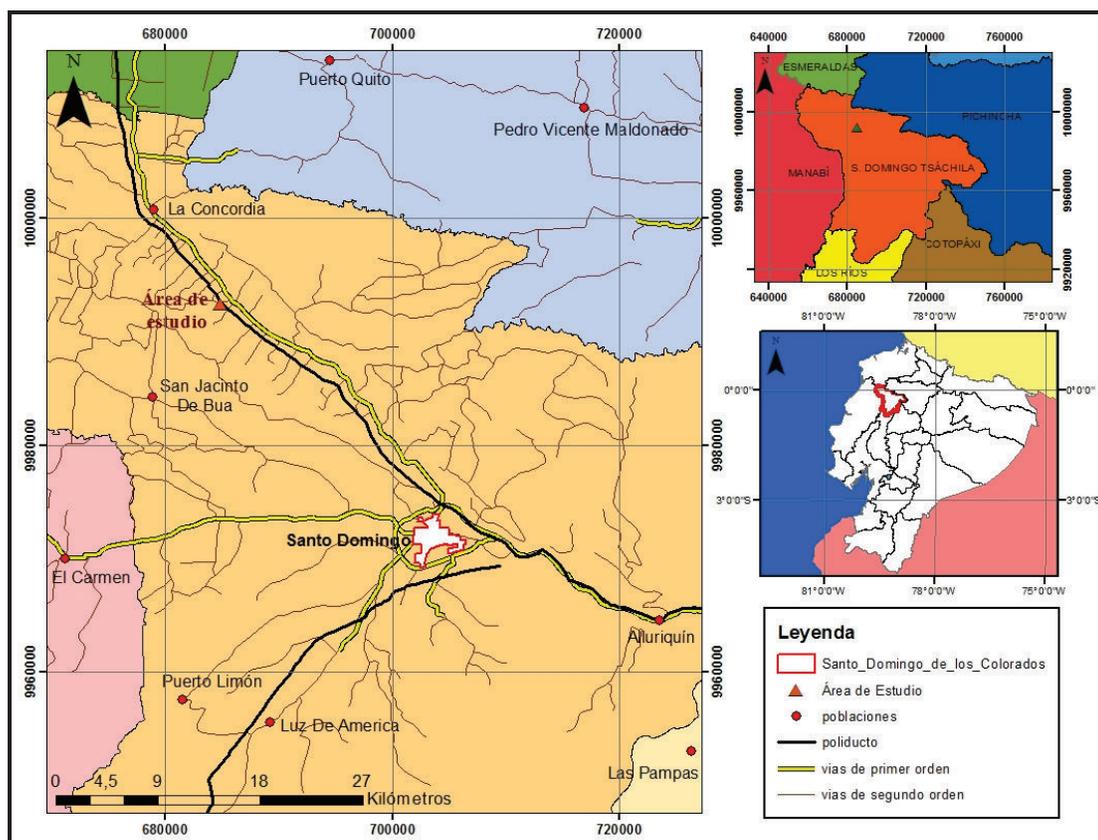


Figura 1.1. Mapa de ubicación de la zona de estudio.

1.6.2 MORFOLOGÍA

Al pie de la Cordillera Occidental, entre Quinindé y Santo Domingo al norte y Babahoyo al sur, se extiende una gran planicie de aproximadamente 80 Km de ancho en dirección oeste. Esta planicie está ubicada al norte cerca de Santo Domingo donde alcanza 600 msnm y baja suavemente hacia el noroeste (200 m. en Quinindé) y hacia el sur (20 m. en Babahoyo) donde es sustituida por una llanura aluvial entre 0 y 5 m.

La topografía característica de "glacis" presente en la planicie refleja perfectamente su origen de conos aluviales y llanuras de esparcimiento, antiguos y moderadamente disectados. Al norte de Santo Domingo tiene origen el cono aluvial más ancho (Abanico aluvial de Santo Domingo), que alcanza la altitud de 2350 m. en su punto más alto y se extiende 45 km aproximadamente hacia el oeste (Winckell et al., 1997).

En cuanto al área de influencia local, la zona de estudio presenta lomas con formas redondeadas con suaves pendientes, caracterizadas por una morfología ondulada y escarpes de erosión locales. Los sedimentos que constituyen estas lomas generalmente corresponden a las formaciones sedimentarias cuaternarias y se ubican entre los 290 y 250 msnm.

1.6.3 HIDROGRAFÍA

El río Toachi es el canal de alimentación principal del abanico aluvial de Santo Domingo que fluye a lo largo del límite norte con el abanico de Pedro Vicente Maldonado, este río tiene cambios repentinos de dirección que contrasta con la tendencia de los ríos adyacentes. La cabeza del río está bien desarrollada en la cabeza del abanico y disminuye la profundidad progresivamente hasta la confluencia con el Río Blanco. El río Baba fluye a lo largo del límite sur del abanico en contacto con las estribaciones de la Cordillera Occidental. Ríos menores fluyen sobre el abanico y están dispuestos en drenaje con patrones radiales (Figura 1.2).

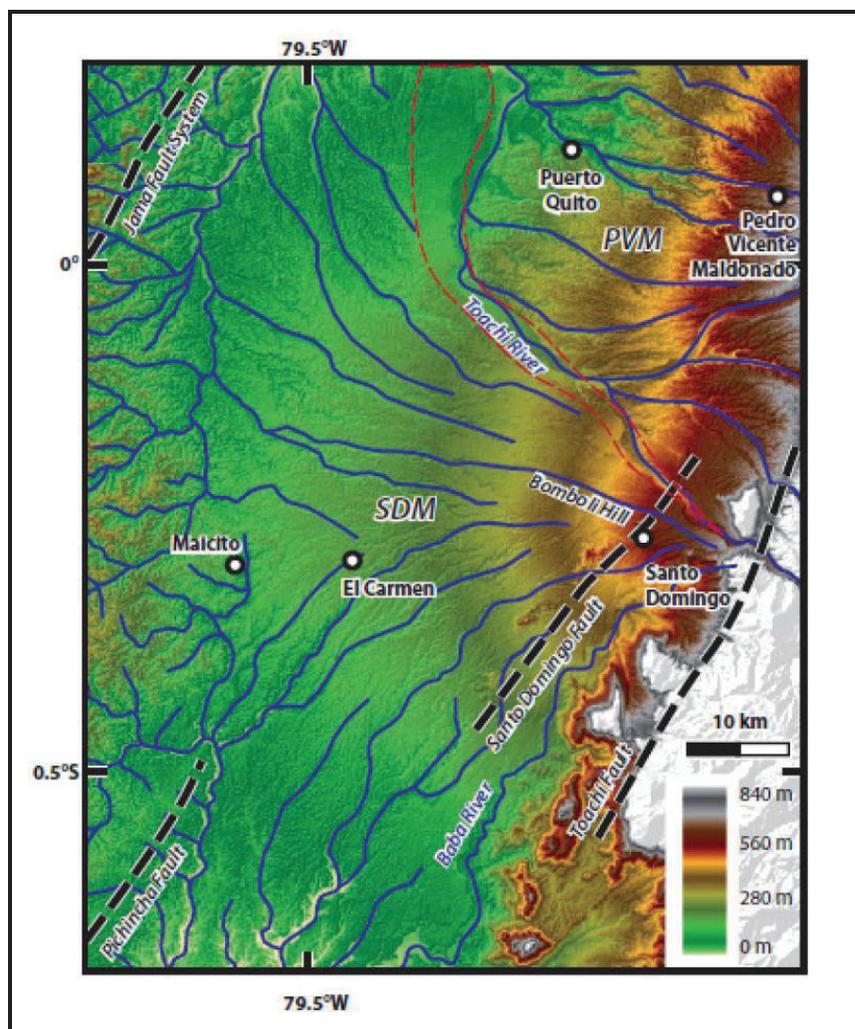


Figura 1.2. Red hidrográfica de los abanicos aluviales de Santo Domingo y Pedro Vicente Maldonado. SDM: Abanico aluvial de Santo Domingo, PVM: Abanico aluvial de Pedro Vicente Maldonado. (Reyes, 2013).

Localmente, el drenaje principal constituye el río Cucaracha, que fluye al suroeste de la zona de estudio, con dirección de SE a NW. Regionalmente se encuentra en la microcuenca del mismo nombre, subcuenca del Río Blanco, cuenca del Río Esmeraldas.

CAPÍTULO 2

MARCO GEOLÓGICO

En este capítulo se describe en forma general los miembros que componen la secuencia sedimentaria del abanico aluvial de Santo Domingo y el modelo evolutivo del mismo.

Con mayor detenimiento, se analiza y describe la litología de la zona de estudio, que se desarrolló en un ambiente geodinámico donde interactuaron procesos de tectónica, erosión y sedimentación como parte de la formación del abanico.

Con la información local recopilada, se identificaron y establecieron cuatro secuencias litológicas en el área de estudio, se definieron sus espesores y se efectuaron correlaciones, lo que permitió determinar la disposición espacial de las secuencias en la zona.

2.1 GEOLOGÍA REGIONAL

Según Reyes (2013) el gran abanico sedimentario de Santo Domingo ubicado en las estribaciones occidentales de la Cordillera Occidental está compuesto por tres conjuntos: el abanico del Río Guayllabamba, el abanico de Pedro Vicente Maldonado y el abanico de Santo Domingo, siendo este último el área principal de la estructura cónica (Figura 2.1). El desarrollo de este capítulo está dedicado al análisis del tercer conjunto (abanico de Santo Domingo) debido a que en este se localiza el área de estudio.

El abanico aluvial de Santo Domingo está localizado en la zona costera del Ecuador, en una cuenca activa de antearco (cuenca Manabí) en las estribaciones occidentales de la Cordillera Occidental, siendo esta la fuente principal de material sedimentario y volcánico para las formaciones que sobreyacen el abanico.

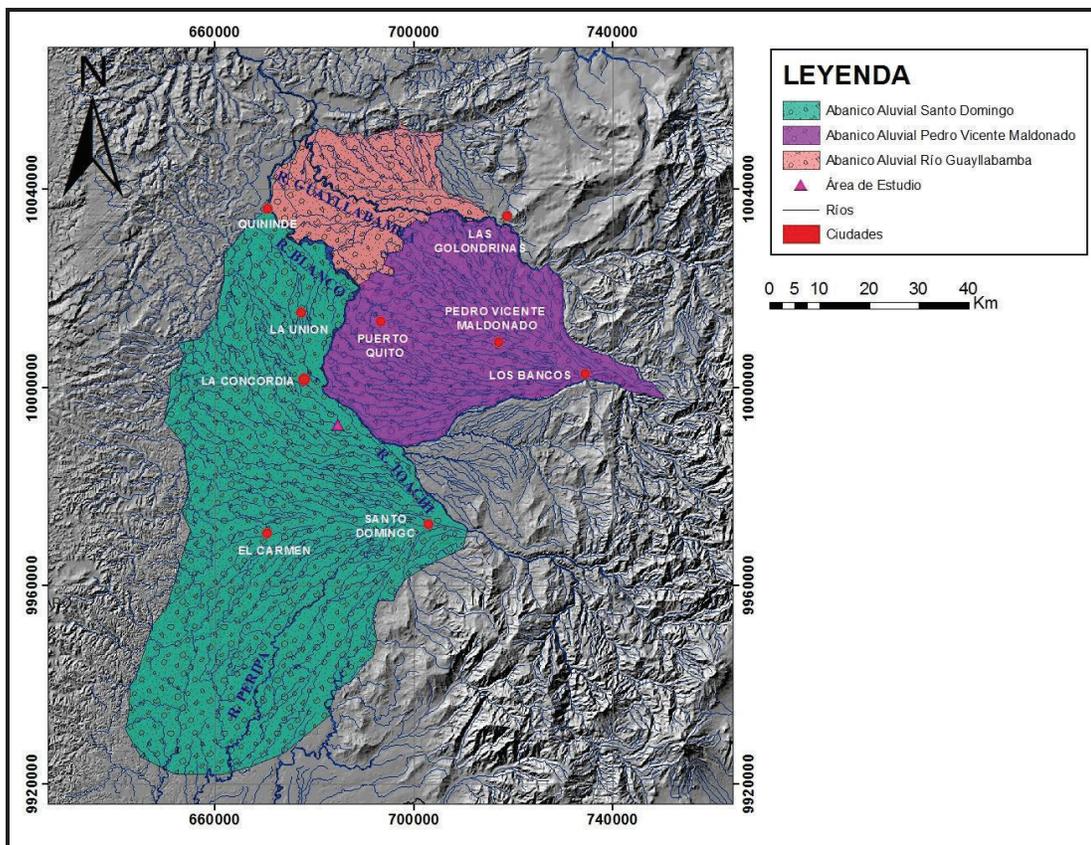


Figura 2.1. Mapa de ubicación de los tres conjuntos de abanicos que conforman el gran abanico sedimentario de Santo Domingo. (Fuente topográfica: IGM)

Las zonas de influencia del abanico drenan parte del flanco occidental de la Cordillera Occidental. Esta cordillera está constituida por bloques alóctonos oceánicos acrecionados contra el margen sudamericano durante el Cretácico Tardío (Vallejo et al., 2005). Fallas transcurrentes con tendencia N-S han dado lugar a un complicado conjunto de unidades tectono-estratigráficas que se unen a secuencias sedimentarias marinas (turbiditas) del Cretácico tardío y secuencias volcánicas y sedimentarias de arco de islas (terreno Macuchi) acrecionado en el Eoceno (Toro & Jaillard, 2005).

Durante el neógeno, la sedimentación continua en la cuenca de Manabí y en las estribaciones occidentales de la Cordillera Occidental, provocó que las formaciones estén bien preservadas, como es el caso de la formación Borbón que aflora al oeste del abanico (Deniaud, 2000). La sedimentación durante el pleistoceno relacionada a la actividad volcánica y transporte de sedimentos

provenientes de la cordillera, formó una secuencia sedimentaria (Formación Balzar y San Tadeo) que se depositó el abanico aluvial de Santo Domingo.

2.1.1 SECUENCIA ESTRATIGRÁFICA DEL ABANICO ALUVIAL DE SANTO DOMINGO

La secuencia sedimentaria del abanico aluvial de Santo Domingo se compone de dos miembros principales: el miembro basal, constituido por una secuencia volcano-sedimentaria correspondiente al Miembro superior de la Formación Borbón y el miembro superior, constituido por flujos de lodo que cubren el abanico aluvial, correspondientes a las Formaciones Balzar y San Tadeo (Reyes, 2013).

2.1.1.1 Miembro basal

El miembro basal está compuesto de una secuencia volcano-sedimentaria correspondiente al Miembro superior de la Formación Borbón.

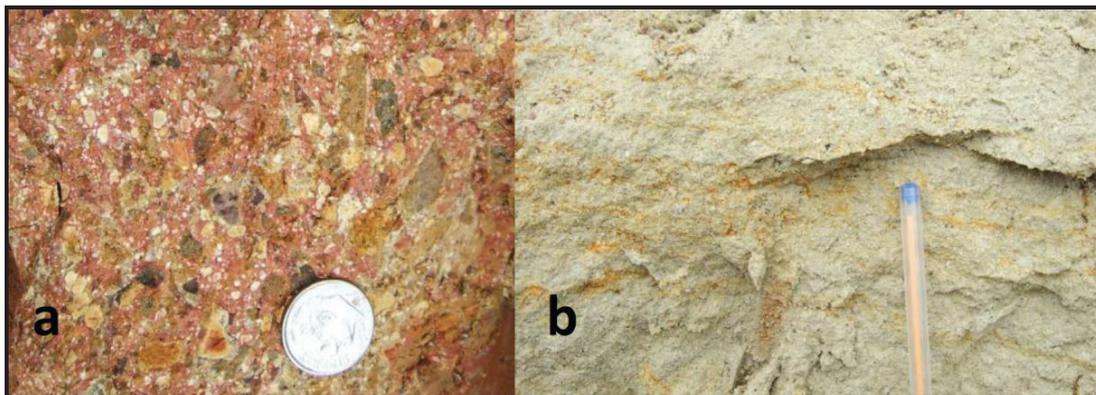
Formación Borbón (Mioceno Superior- Plioceno)

La formación alcanza su mayor potencia en la cuenca Borbón, pero aflora extensivamente a lo largo del margen oriental de la cuenca Manabí (Baldock, 1982). Litológicamente se distingue tres miembros:

- **Miembro Inferior:** Consiste de una secuencia de grano grueso a grano fino. A nivel regional se nota una leve disminución en el tamaño de grano, de arena gruesa en la zona noreste a arena fina en la zona suroeste. Entre las localidades de Jipijapa y Pedro Carbo se encuentran areniscas de grano medio a fino intercaladas con lentes de areniscas fosilíferas. El espesor varía aproximadamente: 250 m. al sur, 400 m. al centro y 300 m. al norte (Reyes, 2013).
- **Miembro Medio:** Aflora entre la Cordillera Chongón – Colonche y la ciudad de Quinindé, mientras que hacia el norte está ausente. Está conformada por litologías volcanoclásticas que van desde areniscas de grano medio a

grano grueso y conglomerados. Los conglomerados tienen clastos de andesitas, piedra pómez, meta-andesitas y meta-basaltos. Las areniscas de grano grueso muestran abundantes clastos volcánicos angulosos. Algunas secuencias muestran areniscas ricas en pómez caracterizadas por tener estratificación cruzada e intercalaciones con tefra. El espesor de este miembro disminuye de 200 m. en el E- NE, a 50 m. en el W-SW (Reyes, 2013).

- **Miembro Superior:** Está expuesto entre la Cordillera Chongón-Colonche y la ciudad de Quinindé. Es una secuencia volcano-sedimentaria compuesta por brechas volcánicas masivas de grano grueso, areniscas volcanoclásticas y conglomerados con clastos volcánicos re-trabajados e intercalaciones de capas tobáceas (Fotografía 2.1). El tamaño de los clastos de las brechas y conglomerados disminuye desde grava gruesa alrededor del cono aluvial de Santo Domingo, a grava media al oeste de Jama, y el espesor disminuye en la misma dirección de 150 a 50 m. (Benítez, 1995).



Fotografía 2.1. Fotografías de la litología característica del Miembro superior de la Formación Borbón. a) Brecha volcánica en matriz soportada. b) Toba andesítica. (Reyes, 2013).

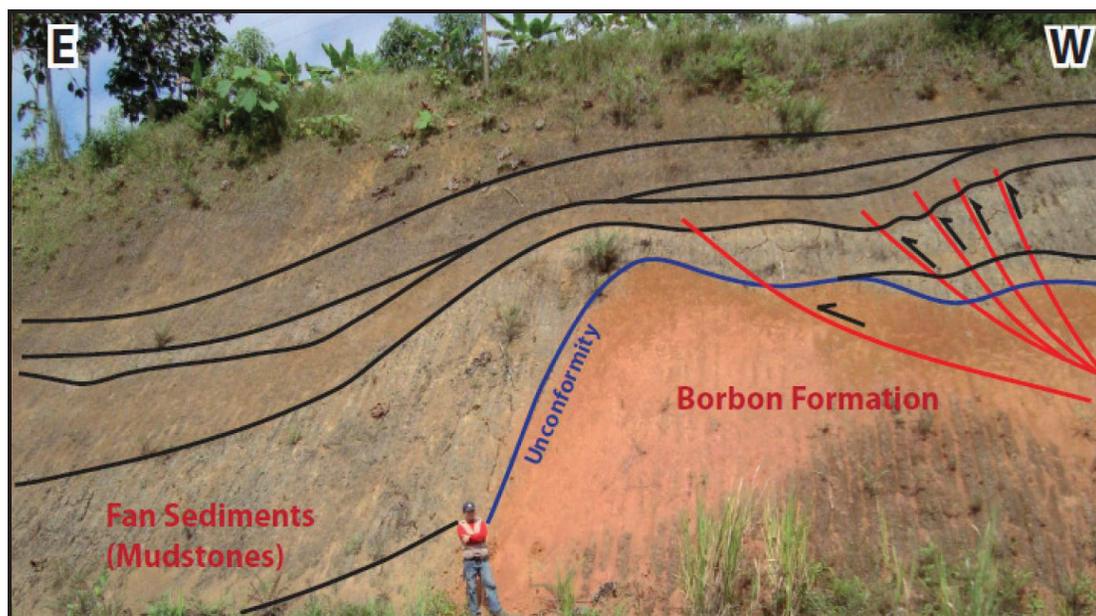
2.1.1.2 Miembro superior

El miembro superior consiste en una secuencia distribuida en toda la superficie del abanico que está en contacto discordante con el miembro basal (Fotografía

2.2). Está compuesto por dos submiembros: el submiembro basal corresponde a una secuencia de flujos de escombros depositada únicamente en el ápice del abanico y el submiembro superior corresponde a una secuencia de lodolitas y arcillolitas. Los dos submiembros corresponden a las Formaciones Balzar y San Tadeo respectivamente.

Formación Balzar (Pleistoceno)

La formación Balzar está constituida por flujos de escombros, conglomerados y brechas intercaladas con capas de areniscas, limos y arcillas, que se superponen en contacto discordante con el Mb. superior de la Formación Borbón (Fotografía 2.2). Los clastos son en su mayoría de rocas volcánicas; su forma es variable desde subangular hasta redondeada y el tamaño varía de 6 a 1 cm incluidos en una matriz arcillosa (Proaño, 2009). Las areniscas son de color gris verdoso a amarillento, mientras que las arcillas son de color café a gris. Se encuentra a lo largo del flanco oriental de la cuenca Manabí y aflora en una franja de 4 Km. de ancho. El espesor de la formación sobrepasa los 300 m. (Baldock, 1982; Reyes, 2013).



Fotografía 2.2. Deformación observada en el contacto entre el Miembro basal y superior del abanico aluvial de Santo Domingo. Nótese que la influencia tectónica promueve la agradación que suaviza la superficie pre-existente. (Reyes, 2013).

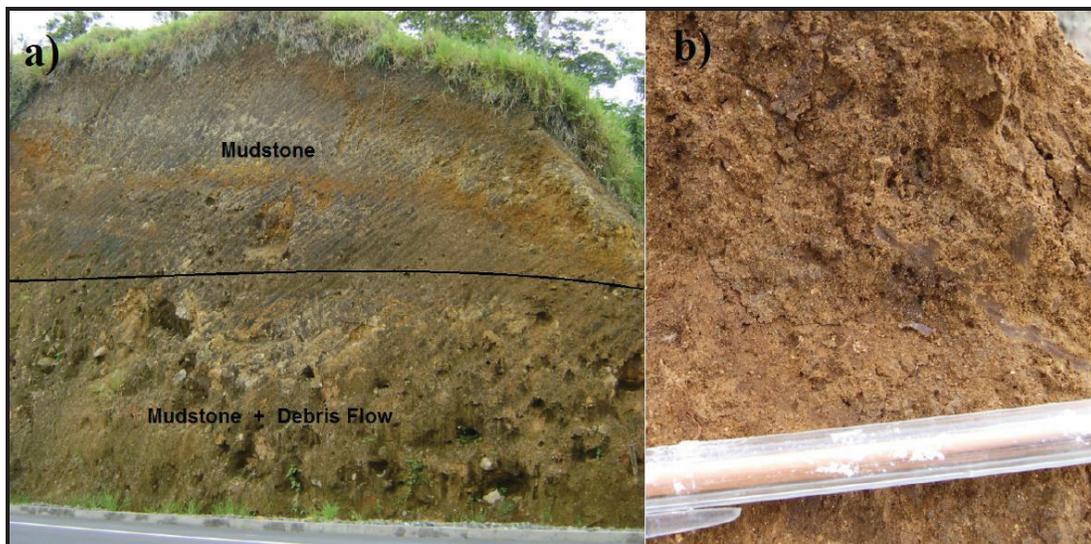
Formación San Tadeo (Pleistoceno)

La formación San Tadeo cubre parte del flanco occidental de la Cordillera Occidental y considerables áreas de la llanura costera en la parte norte del Ecuador.

Está constituida por material piroclástico, brechas volcánicas y flujos de lodo de composición andesítica, materiales que provienen posiblemente de las erupciones volcánicas del Guagua Pichincha o de otros centros de emisión cercanos. Estos incluyen lahares, flujos de escombros, avalanchas de lodo, areniscas tobáceas, tobas y brechas probablemente derivados de la actividad volcánica holocénica. La meteorización de los productos piroclásticos ha producido caolinización. Hacia la base de la formación, aumenta la proporción de la matriz y el tamaño de los clastos del material conglomerático.

En general la formación presenta estratificación horizontal y subhorizontal, y usualmente los sedimentos se encuentran formando terrazas. La potencia es de aproximadamente 100 m. y se caracteriza por presentar discordancias erosivas indicando depositación discontinua (Fotografía 2.3) (Ministerio de Transporte y Obras Públicas, 2012).

En el abanico aluvial de Santo Domingo la formación está constituida esencialmente por secuencias de lodolitas y arcillolitas (Fotografía 2.3), conglomerados y areniscas volcánicas, que lubricados con enormes cantidades de agua corrieron cuesta abajo por los cauces de los ríos, cavando superficies pre-existentes y saliendo de los cauces cubriendo el terreno circundante. En el flanco oriental de la Cordillera costera, la secuencia de lodolitas superpone a la Formación Borbón (DINAGE, 2006).



Fotografía 2.3. Fotografías ilustrativas de la litología característica del Miembro superior del abanico aluvial de Santo Domingo.
 a) Miembro superior que sobreyace a flujo de escombros cerca del ápice del abanico. b) Muestra típica de lodolita. (Reyes, 2013).

Reyes (2013) presenta en su trabajo la correlación de 10 columnas estratigráficas en el abanico aluvial de Santo Domingo (Figura 2.2), de las que se pudo obtener las siguientes conclusiones:

- El Miembro basal (Formación Borbón) aflora únicamente en las partes más bajas de la zona de pie del abanico.
- Los depósitos de flujos de escombros se encuentran en la base del ápice del abanico.
- En el ápice del abanico, el Miembro superior tiene un espesor de hasta 60 m. y se observa que el tamaño de grano aumenta hacia la base.
- En la zona de pie del abanico se expone únicamente la parte superior del Miembro superior con una disminución significativa del tamaño de grano y el espesor en relación con la secuencia en el ápice del abanico.

Las conclusiones que se obtuvo de la correlación permitieron validar un modelo de evolución del abanico aluvial, que se muestra más adelante.

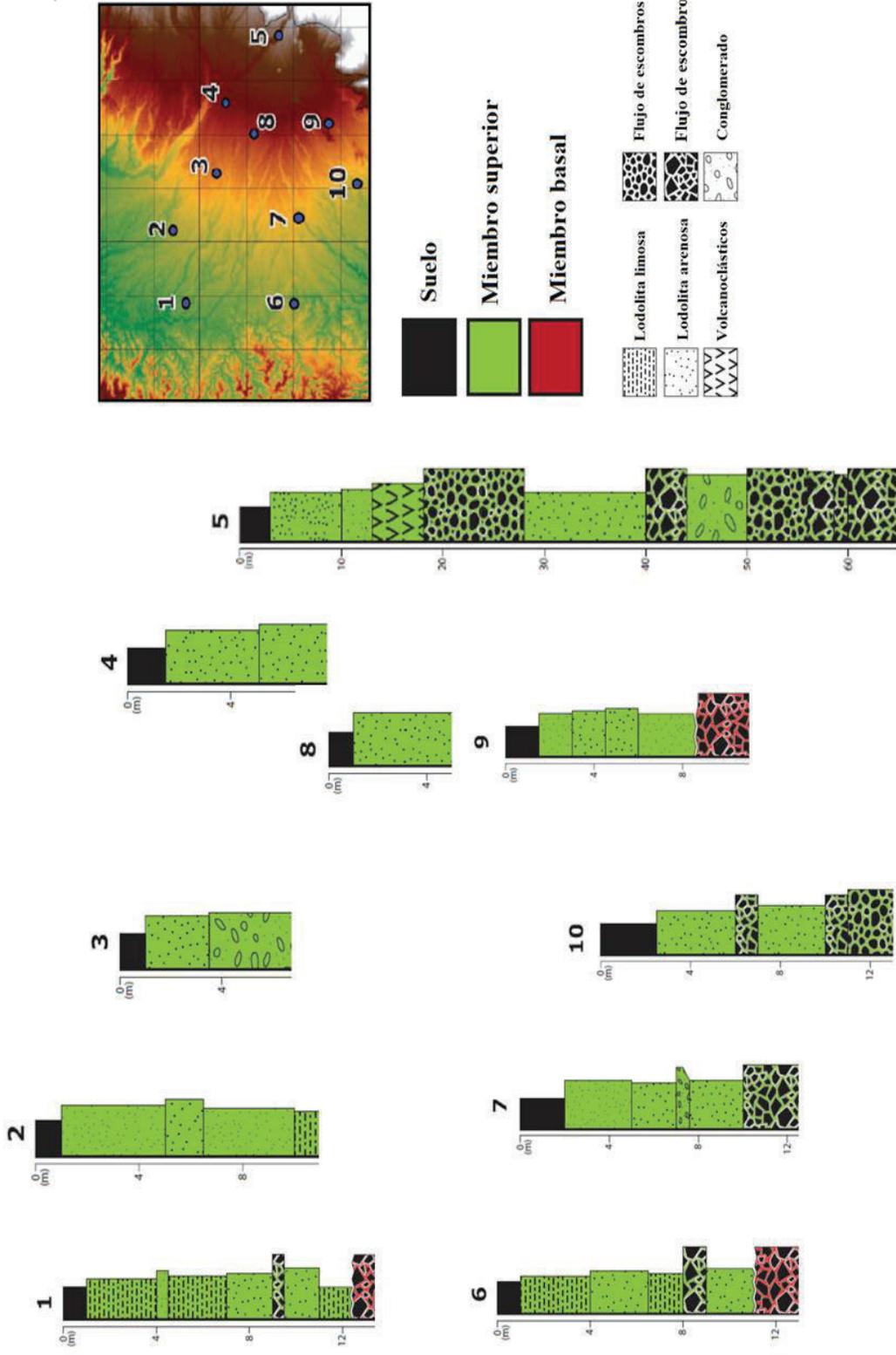


Figura 2.2. Estratigrafía del abanico aluvial de Santo Domingo. Nótese la discordancia entre el Miembro superior y el Miembro basal. Los depósitos de flujos de escombros se encuentran en la base del ápice de la secuencia. (Reyes, 2013).

Depósitos aluviales (Cuaternario)

Los aluviales corresponden en su gran mayoría a depósitos de terrazas, que se presentan en los márgenes de los principales ríos, que por tener grandes caudales arrastran considerables cantidades de materiales, los cuales se han depositado formando extensas terrazas aluviales, constituidas principalmente por cantos rodados de diverso origen y de poco espesor (Ministerio de Transporte y Obras Públicas, 2012).

Depósitos Coluviales (Cuaternario)

Constituidos por un material heterogéneo como arcillas, limos y fragmentos rocosos con diversos grados de alteración, son normalmente de espesor limitado (10 m. aproximadamente), no presentan estratificación y medianamente consolidados (Ministerio de Transporte y Obras Públicas, 2012).

Un horizonte de suelo de aproximadamente 2 m. de espesor, se desarrolla sobre la superficie del abanico aluvial de Santo Domingo. Este consiste en una compleja secuencia de paleosuelos y depósitos piroclásticos que sobreyace al miembro superior.

La Figura 2.3 muestra parte del abanico aluvial de Santo Domingo (Mapa geológico de Santo Domingo de los Tsáchilas) y las formaciones geológicas que lo conforman. Se puede observar que la Formación San Tadeo está ampliamente expuesta a nivel regional, y que la zona de estudio ocupa un área mínima con respecto a esta.

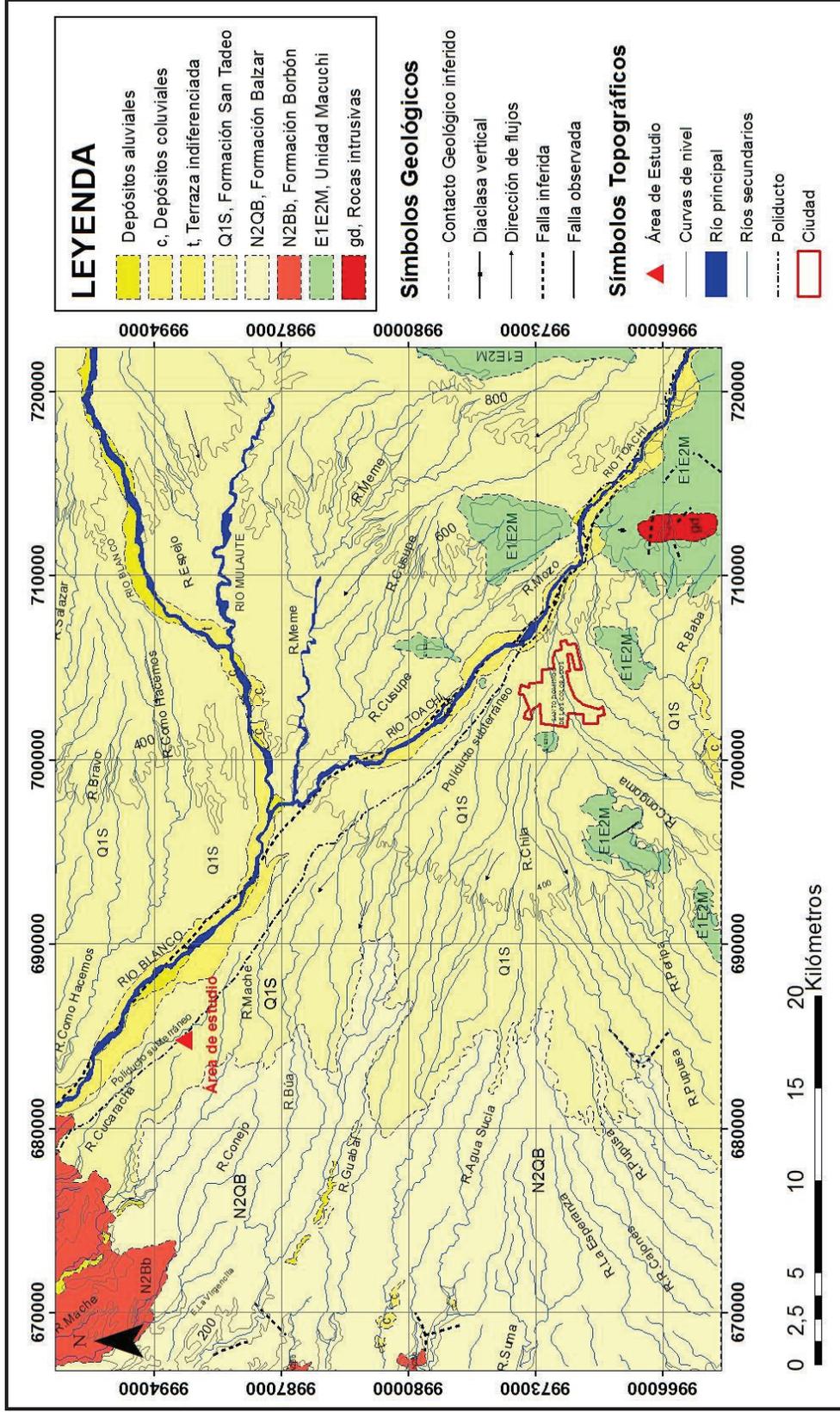


Figura 2.3. Mapa Geológico de Santo Domingo de los Tsáchilas. (Modificado de DINAGE, 2006).

2.1.2 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

El abanico aluvial de Santo Domingo se encuentra sobre las estribaciones de la Cordillera Occidental, dentro del denominado terreno Piñón-Macuchi, que constituye el basamento de las unidades litoestratigráficas antes descritas (DINAGE, 2006). Dentro de este terreno existen tres fallas con dirección NE-SW, denominadas Pichincha, Santo Domingo y Toachi, que regionalmente afectan al abanico aluvial de Santo Domingo (Figura 2.4). La falla Toachi levanta un bloque con dirección noroeste aguas arriba del cono, además la falla ha controlado la erosión del pie del cono posterior a su formación; por otro lado la falla Santo Domingo controla varias montañas alineadas y preservadas que cortan la superficie del abanico aluvial. La falla Pichincha es una falla de cabalgamiento con dirección NNE-SSW y se extiende desde los pueblos de Pichincha hasta Maicito. Ésta levanta el límite suroccidental del abanico, mientras que el bloque hundido constituye la cuenca del Río Guayas donde la Formación Borbón está cubierta por los sedimentos cuaternarios de las Formaciones Balzar y San Tadeo (Reyes, 2013).

En términos geomorfológicos el área de estudio se encuentra en el abanico distal o pie del abanico (Figura 2.4) aluvial Santo Domingo. Esta zona se caracteriza por presentar los gradientes de inclinación más bajos del sistema, una sedimentación muy fina y la ausencia de canales bien desarrollados. Los depósitos en esta zona presentan continuidad lateral con material muy fino (lodolitas limosas y arenosas), conforme a lo observado en las columnas estratigráficas de la Figura 2.2.

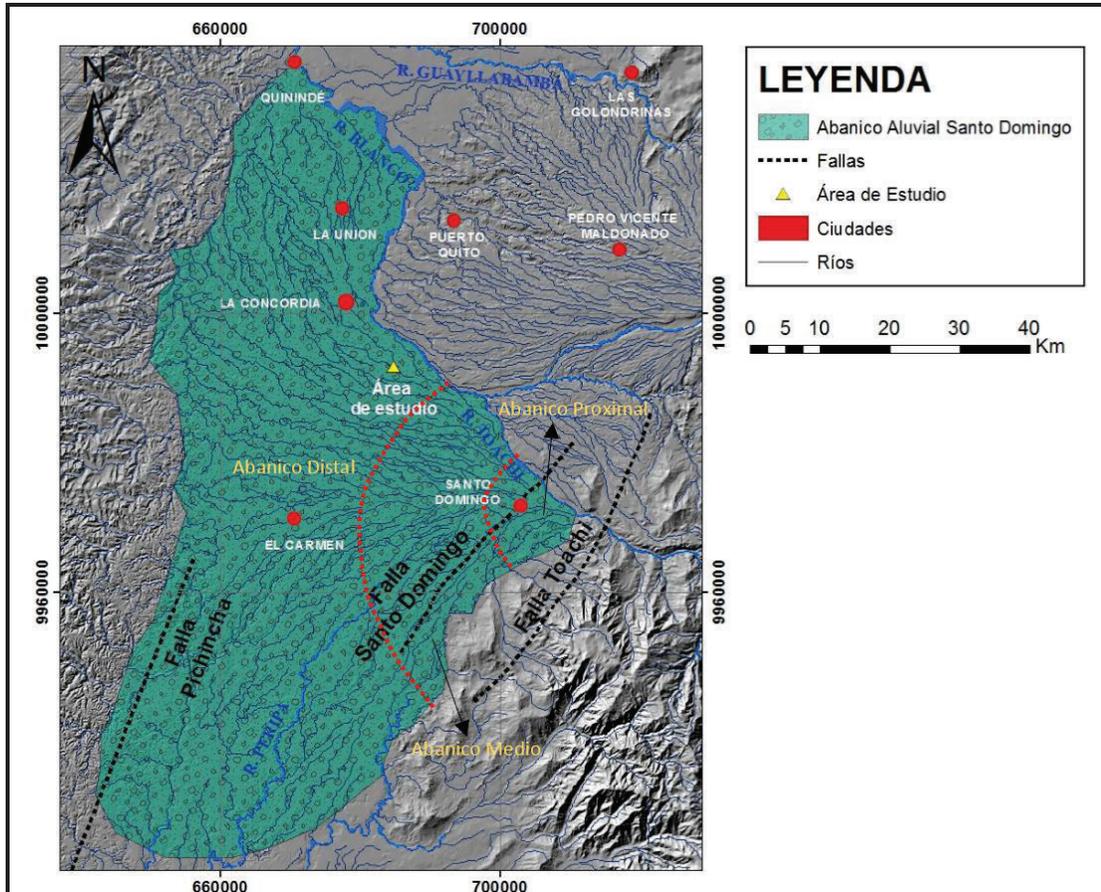


Figura 2.4. Mapa estructural del abanico aluvial de Santo Domingo.
(Fuente topográfica: IGM)

2.1.3 MODELAMIENTO DEL RELLENO SEDIMENTARIO

Los procesos de formación, la secuencia estratigráfica, litología, morfología y la deformación del abanico aluvial es el resultado de la interacción del clima, la tectónica y las condiciones de sedimentación que ocurrieron entre el abanico y las zonas de captación (Harvey, 2004).

2.1.3.1 Clima

La interacción del clima en el abanico aluvial sugiere el aumento de la precipitación inducido por las condiciones climáticas de las estribaciones, que permiten aumentar el poder energético de los ríos y por tanto la capacidad de transporte. Los valores de las precipitaciones que van de 2000 a 3000 mm/año en

el flanco occidental de la Cordillera Occidental (Pourrut, 1995) contribuyen a aumentar la capacidad de transporte de sedimentos. Además, el manto de espesa vegetación desarrollado en estas áreas contribuye a disminuir el sedimento suministrado por erosión.

2.1.3.2 Tectónica

La costa ecuatoriana y la Cordillera Occidental se han levantado y deformado durante la depositación del abanico. A lo largo de la zona de transición entre la Cordillera costera y los sedimentos del abanico, la secuencia sedimentaria que conforma el Miembro superior fue levantada aproximadamente 100 a 200 m. en relación con la superficie del abanico. El frente oriental de la Cordillera costera está limitado por la extensión noreste de la Falla Pichincha (Figura 2.4) (Reyes y Michaud, 2012), que de forma similar levantó el Miembro superior en el pie del abanico.

El prominente paso de agua tallado por el río Toachi a lo largo del bloque levantado por la falla Toachi sugiere que el ápice del abanico fue levantado durante la actividad de la falla.

2.1.3.3 Condiciones de sedimentación

En cuanto a la estratigrafía, el Miembro basal (secuencia volcano-sedimentaria) proviene de las fuentes volcánicas situadas en la cabecera de la cuenca del río Toachi. Barberi et al. (1988) reportan la reanudación de la actividad volcánica en la Cordillera Occidental hace aproximadamente 1.5 Ma, tras un período de inactividad desde el Mioceno tardío. Además una fuente extra suministró material en las partes bajas de la cuenca del Río Toachi aumentando la cantidad de sedimentos que naturalmente al ser suministrada por la erosión provocó el crecimiento del abanico aluvial.

El miembro superior es una secuencia homogénea que cubre los tres conjuntos de abanicos aluviales. El material sedimentario que suministró esta secuencia está atribuido al período de glaciación cuyos inicios se produjo a finales del

Pleistoceno (0.8 -1 Ma). En la latitud ecuatorial la línea perpetua de nieve llegó a 4000 msnm, lo que implica que gran parte de las tierras altas de la Cordillera Occidental estaban cubiertos de glaciares durante el Pleistoceno, en consecuencia los flujos de agua producidos durante la fusión de los glaciares mezclada con material volcánico formaron flujos hiperconcentrados que inundaron todas las superficies en el norte del abanico. La existencia de un flujo de escombros en el pie del abanico sugiere un crecimiento típico dominado por una depositación de flujo de escombros en la cabeza del abanico que cambió a un depósito en las zonas de inundación, acompañado por una disminución del espesor. La presencia de discordancias internas en el interior del Miembro superior puede reflejar la alternancia entre varios ciclos glaciales con la actividad volcánica.

Sedimentos redondeados de litología variable observada como lentes de grava cerca de los cauces de los ríos actuales sugiere que se ha producido un tránsito fluvial durante la inactividad volcánica o intervalos glaciares.

2.1.4 EVOLUCIÓN DEL ABANICO ALUVIAL DE SANTO DOMINGO

Según Reyes (2013) la evolución del abanico aluvial se resume en cuatro estados:

- Relleno de la secuencia basal con material volcánico masivo (procesos de flujos de escombros), alternando con material fluvial de origen volcánico o de basamento (Figura 2.5-a).
- Emplazamiento del abanico aluvial de Pedro Vicente Maldonado con un gran lóbulo de alta pendiente formado por material volcánico (procesos de flujos de escombros continúa) al norte de Santo Domingo. Simultáneamente con la depositación empieza el levantamiento de la Cordillera costera, produciendo confinamiento y agradación del abanico de Santo Domingo sobre la cordillera Costera. Reconfiguración de las cuencas de los ríos Esmeraldas y Guayas (Figura 2.5-b).

- Reanudación de la sedimentación del abanico (Miembro superior) caracterizado por la llegada de flujos de lodo desde los glaciares durante la fusión interglaciar. Este depósito cubre toda el área en las partes más bajas del abanico. Emplazamiento del abanico del Río Guayllabamba. La agradación vertical del abanico de Santo Domingo continúa sobre el relieve de la Cordillera costera. Se produce inclinación simultánea en el abanico de Santo Domingo debido a que las cordilleras costera y occidental se están levantando (Figura 2.5-c).
- Deposición de sedimentos en forma de lóbulo a lo largo del río Toachi en el lado norte del abanico de Santo Domingo. Actual configuración morfológica de la zona (Figura 2.5-d).

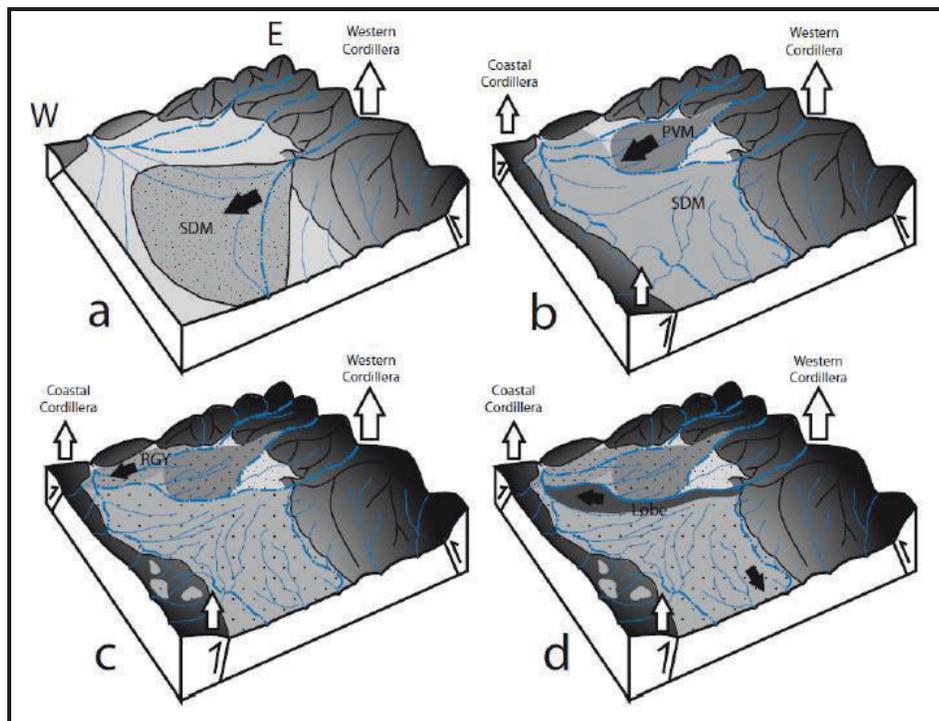


Figura 2.5. Modelo de evolución del abanico aluvial de Santo Domingo. Las flechas en blanco representan las zonas de levantamiento y las flechas negras la dirección del flujo sedimentario. a) Deposición del Miembro basal en toda el área. b) Deposición del abanico aluvial de Pedro Vicente Maldonado. Empieza el levantamiento de la Cordillera costera durante la deposición. c) Deposición del Miembro superior que cubre los abanicos durante el levantamiento de la Cordillera costera y erosión de sedimentos del abanico de Santo Domingo que se depositan en la parte baja del abanico. Deposición del abanico del Río Guayllabamba. d) Desarrollo del lóbulo a lo largo del río Toachi. (Reyes, 2013).

2.2 GEOLOGÍA LOCAL

El área de estudio está constituida por depósitos cuaternarios y recientes. La geología regional indica que estos depósitos pertenecen a la Formación San Tadeo, formación ampliamente distribuida en el abanico aluvial de Santo Domingo.

Para obtener un mejor detalle de la litología en la zona, el estudio estuvo basado en trabajo de campo con levantamiento de columnas estratigráficas, perforaciones exploratorias, análisis de perfiles de tomografía eléctrica y recopilación bibliográfica de los estudios realizados por HGE el 2011 y 2014.

Localmente las secuencias sedimentarias presentan estratificación horizontal y subhorizontal, estas fueron denominadas de la siguiente manera:

- S4: Constituida por areniscas medias a gruesas de color marrón amarillento y esporádicos lentes de conglomerados.
- S3: Constituida por arenas limosas color marrón, limos arenosos color café claro, arcillas rosáceas y limos de alta plasticidad color beige.
- S2: Constituida por limos arcillosos color marrón claro y arcillas limosas color marrón amarillento.
- S1: Constituida por limos arenosos de color café oscuro sobre los que se desarrolla el suelo que contiene la vegetación y actividad agrícola.

2.2.1 ESTRATIGRAFÍA

A continuación se describen detalladamente las cuatro secuencias presentes en la zona de estudio.

2.2.1.1 Secuencia 4

Mediante el trabajo de campo a través del levantamiento de columnas estratigráficas y perforaciones exploratorias se concluye que la secuencia S4 está constituida por areniscas medias a gruesas de color marrón amarillento y

esporádicos lentes de conglomerados que se encuentran intercalados en los escasos afloramientos donde se puede observar los dos tipos de litología.

Las areniscas de grano medio a grueso son medianamente compactas, con buen sorteo en una matriz limo-arcillosa. Mineralógicamente en muestras obtenidas en un talud de 20 m. (UTM: 685081, 9992422), se observó máficos con un 4%, 15-20% de cuarzo, 10% de moscovita, 10% de plagioclasas y biotita. Líticos volcánicos con 55-60% que corresponden a andesitas, pómez y tobas volcánicas. La Fotografía 2.4 muestra también que las areniscas tienen alto contenido de Fe, razón por cual presentan un color rojizo.



Fotografía 2.4. Arenisca de la secuencia S4 (UTM: 684680, 9992604).
Tomada por Játiva J. (2014).

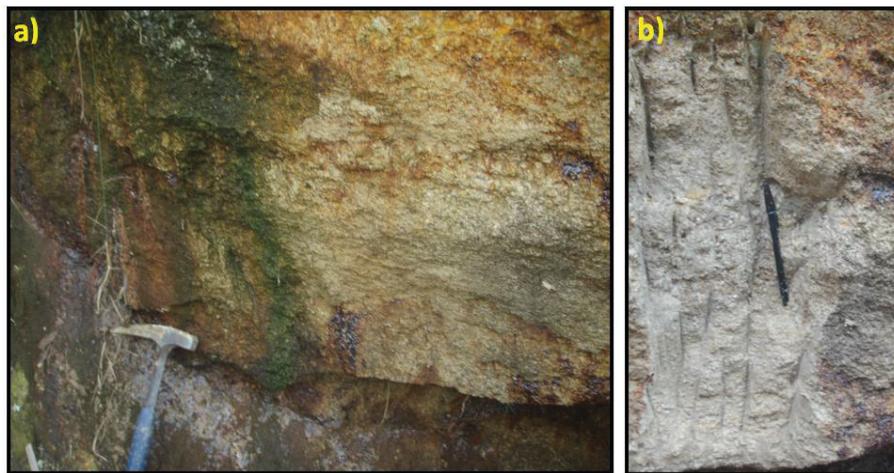
Las perforaciones exploratorias realizadas por HGE (Anexo 1, Registros Litológicos, pozo PM-1, PM-11 y PM-15), reportaron depósitos compuestos de arena limosa de color marrón amarillento con un porcentaje promedio de 65 % de arena fina, 30% de limos y arcillas y 5% de grava fina sub-redondeada. Además en el Anexo 1 (Registros Litológicos, pozo PI-1) se observa que a los 23 m de perforación el porcentaje de arena gruesa es mayor al 50%, lo que permite concluir que el tamaño de grano de la arenisca aumenta con la profundidad.

Los afloramientos donde se puede observar las areniscas se encuentran en el lecho del río Cucaracha (UTM: 684850, 9992326) (Fotografía 2.5), en este sitio las areniscas son mucho más compactas que las que afloran en el talud.



Fotografía 2.5. Afloramiento de las areniscas de la secuencia S4 en el lecho del río Cucaracha (UTM: 684850, 9992326). Tomada por Játiva J. (2014).

Las areniscas que afloran en la base del talud se diferencian de las que afloran en el lecho del río Cucaracha, básicamente en su compactación que es media y por el tamaño de grano que es más grueso.



Fotografía 2.6. Afloramiento de las areniscas de la secuencia S4 en la base del talud (UTM: 685081, 9992422). Tomada por Játiva J. (2014).

Además las areniscas que afloran en el talud a diferencia de las que afloran en el lecho del río Cucaracha, presentan tonalidades rojizas y amarillentas por la presencia óxidos de Fe (Fotografía 2.6).

Los lentes de conglomerados están compuestos por clastos subredondeados y subangulosos en una matriz areno-limosa, matriz soportada con mal sorteo; los clastos son de andesitas, pómez y cuarzo con tamaños que varían desde los 6 cm. hasta 20 cm. (Fotografía 2.7).



Fotografía 2.7. Lente de conglomerado en la secuencia S4 (UTM: 684758, 9992137). Tomada por Játiva J. (2014).

Los afloramientos del conglomerado se reducen a dos sitios, el primero en el lecho del río Cucaracha (UTM: 684758, 9992137) y el segundo en un talud de aproximadamente 20 m. de altura donde afloran las 4 secuencias (Fotografía 2.8).



Fotografía 2.8. Talud de aproximadamente 20 m. de altura en el que se puede apreciar los lentes de conglomerado (UTM: 685081, 9992422). Tomada por EP PETROECUADOR (2013).

El espesor total de la secuencia no está determinado debido a que las perforaciones no han alcanzado más de 24 m. de profundidad, sin embargo hasta la profundidad investigada la secuencia tiene un espesor aproximado de 7 m.

2.2.1.2 Secuencia 3

La secuencia está conformada por arenas limosas color marrón, limos arenosos color café claro, arcillas rosáceas y limos de alta plasticidad de color beige. A continuación se describe cada tipo de litología que conforma la secuencia.

La base de la secuencia está conformada por arenas limosas de color marrón en contacto transicional con la secuencia S4. Bajo la lupa (20X) muestran un alto contenido de líticos volcánicos, minerales máficos, cuarzo subredondeado, pómez y moscovita. El porcentaje de arena media es de 35%, arena fina 40%, 20% de limos y 5 % de arcillas.

Las arenas limosas tienen baja compactación (Fotografía 2.9) y su espesor es de 3 m. aproximadamente. Los principales afloramientos se ubican en el talud donde afloran las 4 secuencias y en la parte central de la zona de estudio (UTM: 684735, 9992335). La información obtenida en campo de las arenas limosas se correlaciona con los registros de perforaciones exploratorias realizadas por HGE (Anexo 1, Registros Litológicos, pozo PM-19), en el que se reportó depósitos compuestos de arenas limosas con un porcentaje promedio de 80% de arena fina a media y 20% de sedimentos finos.



Fotografía 2.9. Arenas limosas de la secuencia S3 (UTM: 684735, 9992335). Tomada por Játiva J. (2014).

Los limos arenosos son color café claro, están constituidos por líticos volcánicos, piedra pómez, cuarzo, moscovita y minerales máficos; tienen un 50% de limos, 40% de arena fina y 10% de arcillas. Los análisis granulométricos realizados por HGE (Anexo 1, Ensayos granulométricos, PEC-30-SR) en una muestra del pozo PM-16 a una profundidad de 5 a 5.5 m. reportó 56% de sedimentos finos y 44% de arena, dando así una litología de tipo limo arenosa, correspondiente a la parte media de la secuencia S3 por la ubicación y profundidad del ensayo granulométrico.

El principal afloramiento de esta capa se encuentran en el talud (UTM: 685081, 9992422) donde afloran las cuatro secuencias. El espesor de los limos arenosos es de 3 m. aproximadamente (Fotografía 2.10).



Fotografía 2.10. *Limos arenosos de la secuencia S3. (UTM: 685081, 9992422). Tomada por Játiva J. (2014).*

Las arcillas rosáceas tienen un alto porcentaje de arcillas (65%), 25% de limos y 10% de arena fina, están en contacto con limos de alta plasticidad de color beige correspondientes al tope de la secuencia S3. Los limos de color beige tienen un alto porcentaje de arcillas (40%), 40% de limos y 20% de arena fina y están en contacto con la secuencia S2, estos dos tipos de litología alcanzan un espesor aproximado de 2 m. y afloran únicamente en el talud (UTM: 685081, 9992422) (Fotografía 2.11).



Fotografía 2.11. *Contacto entre limos arcillosos y arcillas rosáceas de la parte superior de la secuencia S3 (UTM: 685081, 9992422). Tomada por Játiva J. (2014).*

La secuencia S3 presenta estratificación horizontal a lo largo de la zona de estudio, está distribuida de tal forma que no existe variación lateral en el tamaño de grano, sin embargo al igual que la secuencia S4 el aumento del tamaño de grano se da conforme aumenta la profundidad, esto implica que la litología de esta secuencia pasa de limos con alta plasticidad a arenas limosas en contacto transicional con la secuencia S4. El espesor total de la secuencia es de aproximadamente 8 m. en toda la zona, sin embargo hacia el sureste aumenta hasta 11 m. Hacia el tope de la secuencia subyace transicionalmente a la secuencia S2.

2.2.1.3 Secuencia 2

Está ampliamente extendida en el área de estudio y está conformada por limos arcillosos color marrón claro y arcillas limosas color marrón amarillento. La consistencia general de esta secuencia es suave y la plasticidad es media a alta, debido al alto porcentaje de arcillas presentes.

Los limos arcillosos se caracterizan por tener alto contenido de arcillas y en menor cantidad líticos volcánicos. Las perforaciones exploratorias realizadas por HGE (Anexo1, Registros Litológicos, pozo PV-1), reportaron depósitos compuestos por

limos arcillosos color marrón con un porcentaje promedio de 50 % de limos, 30% de arcilla y 20% de arena fina.

En general el color de esta capa es marrón claro (Fotografía 2.12). El principal afloramiento se encuentra en el talud donde afloran las 4 secuencias. La potencia aproximada de los limos arcillosos es de 2.5 m.



Fotografía 2.12. *Limos arcillosos presentes en la secuencia S2.*
(UTM: 685081, 9992422). Tomada por Játiva J. (2014).

Las arcillas limosas son de color marrón amarillento y se caracterizan por tener alta plasticidad debido al elevado contenido de arcillas. En general están compuestas por 60% de arcillas, 30% de limos y 10% de arena fina. Los afloramientos más importantes están ubicados en el talud y en la zona central de estudio cerca del poliducto (Fotografía 2.13).

En algunos cortes de la carretera (UTM: 685181, 9992370) y pequeños taludes expuestos en el área (UTM: 685027, 9992469) se aprecia el contacto de S1 con S2. En el corte de la carretera (UTM: 685181, 9992370), en el contacto entre las secuencias S2 y S1, se observa un pequeño estrato de 10 cm. de arenas de color gris verdoso, con buen sorteo; este estrato no está presente en todos los afloramientos.



Fotografía 2.13. Contacto entre las secuencias S1 y S2 (Limos de alta plasticidad) (UTM: 684929, 9992430). Tomada por EP PETROECUADOR (2011).

En general la secuencia S2 presenta estratificación horizontal y subhorizontal a lo largo de la zona de estudio, tiene un espesor aproximado de 7.5 m. que disminuye considerablemente hacia el oeste, afectado por la erosión. Durante el trabajo de campo se determinó que no existe variación lateral en el tamaño de grano, sin embargo a medida que aumenta la profundidad en la secuencia el tamaño de grano aumenta, al igual que se determinó en las secuencias S3 y S4. Los principales afloramientos donde se encuentra la secuencia es en el talud (UTM: 685081, 9992422), en la parte central de la zona de estudio y en un corte en la carreta (UTM: 685181, 9992370).

La base de la secuencia sobreyace transicionalmente a S3, mientras que el tope de la secuencia subyace a S1.

2.2.1.4 Secuencia 1

La secuencia S1 está constituida por limos arenosos de color café oscuro. Las perforaciones exploratorias realizadas por HGE (Anexo 1, Registros Litológicos, pozo PM-16, PI-1, PM-15, PM-1), reportaron depósitos compuestos de limos arenosos de color café oscuro con un porcentaje promedio de 30 % de arena fina, 20% de arena fina, 40% de limos y 10% arcillas.

La secuencia se caracteriza por tener consistencia suave y plasticidad baja a media debido a la presencia de un bajo porcentaje de arcillas. Sobre esta secuencia se desarrolla el suelo que constituye la base de la cobertura vegetal y actividades agrícolas (Fotografía 2.14).



Fotografía 2.14. Contacto entre la secuencia S1 y S2, tomada en la parte central de la zona de estudio. (UTM: 684929, 9992430).
Tomada por EP PETROECUADOR (2011).

La secuencia tiene un espesor promedio de 3 m.; sin embargo en la parte central de la zona de estudio el espesor de la secuencia aumenta considerablemente hasta aproximadamente 10 m., y hacia el suroeste y noroeste (en las partes más bajas de la zona) el espesor disminuye considerablemente llegando incluso a 0.5 m. (Fotografía 2.15). Está ampliamente distribuida en la parte central de la zona de estudio; la variación tanto lateral como en profundidad del tamaño de grano no es significativa.



Fotografía 2.15. Contacto entre la secuencia S1 y S2, tomada en la parte suroccidental de la zona de estudio. (UTM: 684911, 9992233).
Tomada por EP PETROECUADOR (2011).

La Figura 2.6 muestra la columna estratigráfica de la zona de estudio, esta fue elaborada a partir del trabajo de campo y los registros litológicos de HGE. Se observa las 4 secuencias con el detalle litológico y sus respectivos espesores.

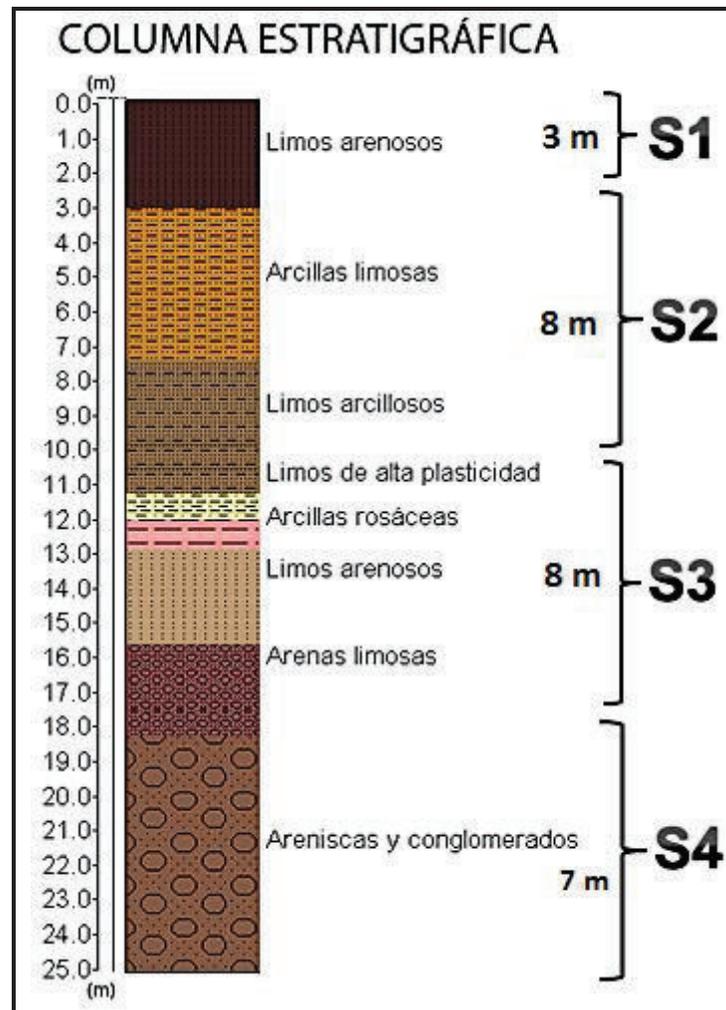


Figura 2.6. Columna Estratigráfica de la zona de estudio.
(Modificado de HGE, 2011).

2.2.2 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

En la zona de estudio no se encuentran rasgos estructurales importantes porque los depósitos son recientes y no han sido afectados por la tectónica actual, además dentro de la zona distal del abanico aluvial de Santo Domingo no existe ninguna estructura geológica regional que pudiera inducir algún tipo de deformación.

2.2.3 GEOMORFOLOGÍA

La zona de estudio está ubicada entre los 287 y 251 msnm, en general se caracteriza por presentar lomas redondeadas, morfología ondulada y escarpes por deslizamientos.

En función de la topografía que presenta el área de estudio se pueden distinguir tres unidades geomorfológicas. La unidad A correspondiente a la parte central más elevada de la zona de estudio, la unidad B correspondiente a las zonas bajas en el noreste de la zona de estudio, y la unidad C correspondiente a las zonas bajas en el sur y noroeste de la zona de estudio (Figura 2.7).

- **Unidad A:** Está ampliamente distribuida en la parte central de la zona de estudio con dirección SE-NW, se presenta como extensión de terreno de topografía plana y en ciertos sitios ondulante, a nivel local la erosión en la unidad es escasa debido a que es una zona con bajas pendientes.
- **Unidad B:** Está distribuida en las partes bajas al noreste de la zona de estudio. Se presenta como un terreno bajo y plano adyacente a uno o varios esteros; además está acompañada de escarpes de erosión de pendiente mayor a 45°, en los que se desarrollan movimientos de remoción en masa. Se trata de movimientos con desplazamiento rotacional descendente caracterizados porque la superficie de rotura es curvada y cóncava, posiblemente producto de la conjunción de factores como la gravedad, el clima, las precipitaciones, las propiedades físicas del material, etc. Este tipo de movimiento puede ser observado en el talud donde afloran las 4 secuencias (UTM: 685081, 9992422) y al este del poliducto (UTM: 685057, 9992463) (Fotografía 2.16).



Fotografía 2.16. Movimiento con desplazamiento rotacional, ubicado al este del poliducto (UTM: 685057, 9992463). Tomada por Játiva J. (2014).

- **Unidad C:** Está ampliamente distribuida en las partes bajas ubicadas al suroeste y noroeste de la zona de estudio. Se presenta como un terreno bajos y plano adyacente al río Cucaracha; además está acompañada de topografía ondulada con suave pendiente menor a 30°. También se puede observar terrazas aluviales que se presentan como escalones paralelos a la longitud del río Cucaracha producto de la erosión y depositación.

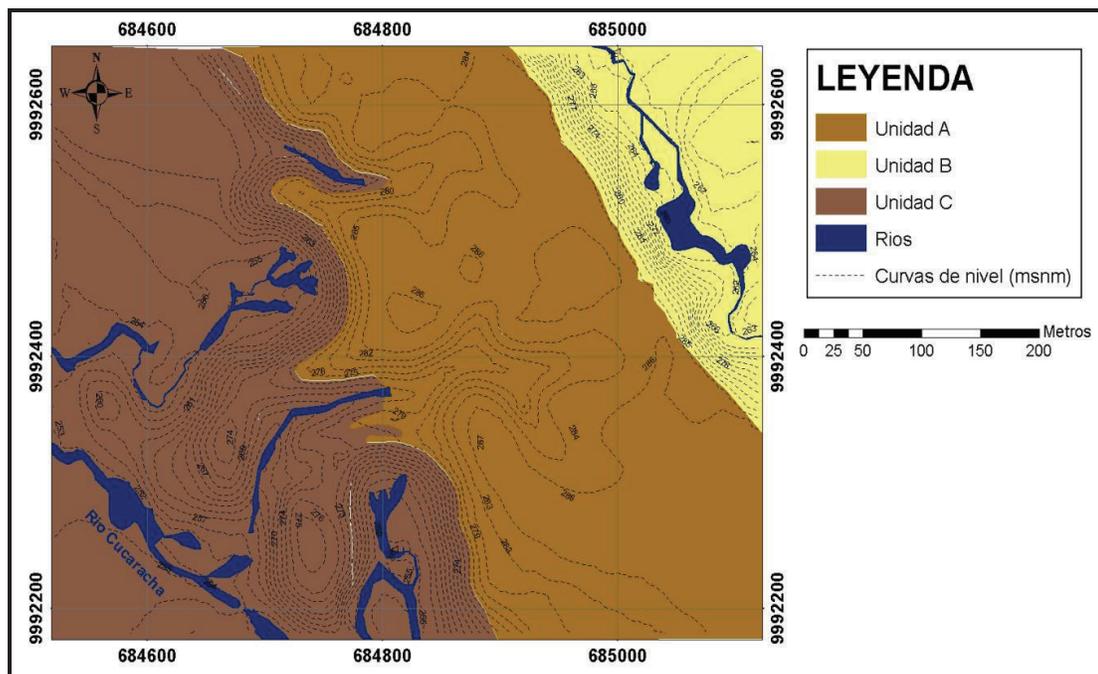


Figura 2.7. Mapa geomorfológico de la zona de estudio.

2.2.4 CORRELACIÓN LITOLÓGICA

La Figura 2.8 muestra la distribución de los pozos en la zona de estudio, fuente de la información litológica obtenida de las perforaciones, junto con la ubicación de los sitios de levantamiento de las tres columnas estratigráficas. La columna más importante se ubica en el talud con coordenadas (X=685081, Y=9992422) donde afloran las cuatro secuencias; mientras que las dos columnas restantes fueron levantadas en otros puntos donde solo se pudo observar dos secuencias en contacto; por tanto la abundante vegetación en la zona limita la presencia de afloramientos.

La Figura 2.9 muestra la correlación este-oeste de los pozos, en la que se puede observar que las secuencias presentan estratificación horizontal y subhorizontal, además de la continuidad que existe en las secuencias de un pozo a otro.

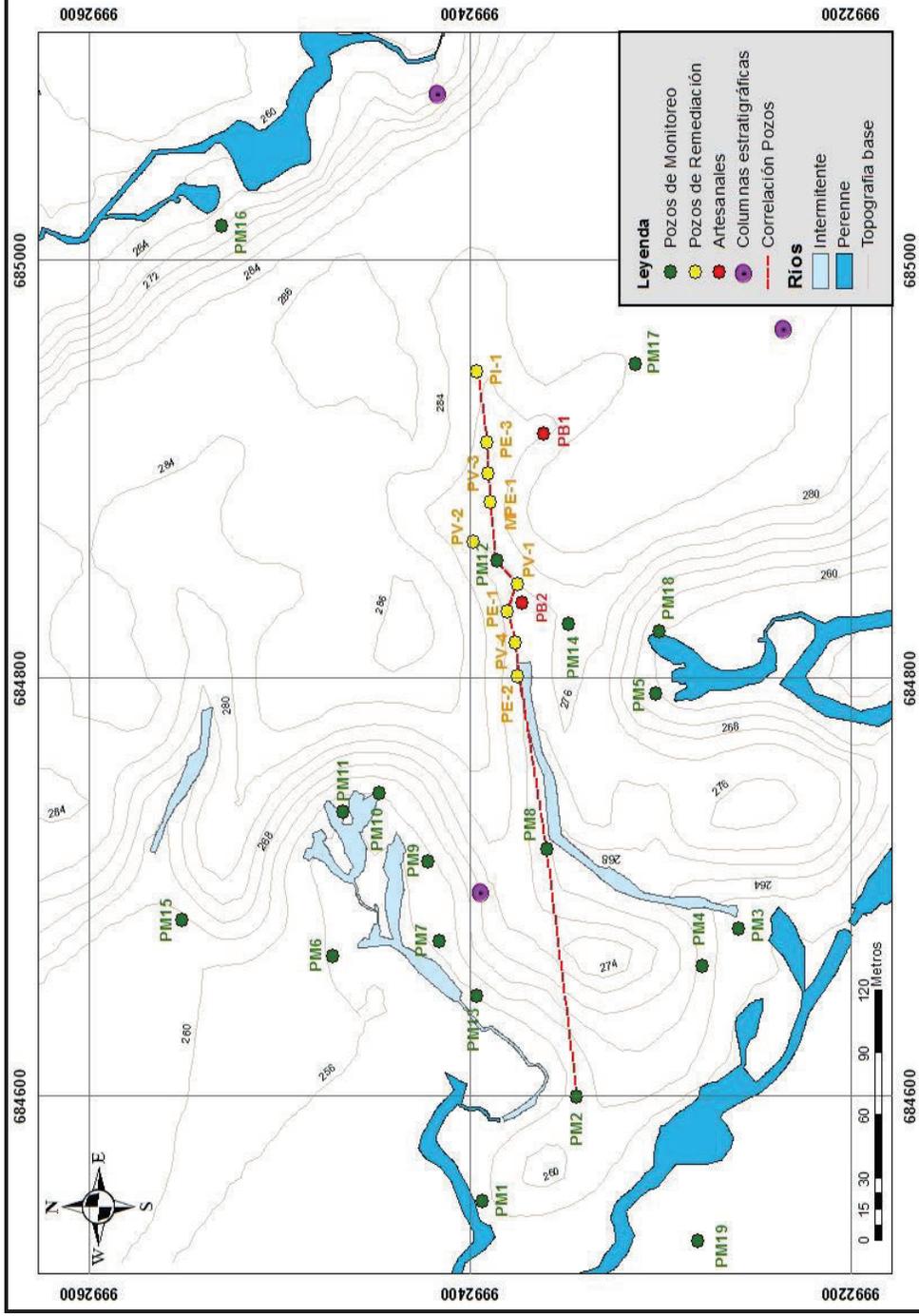


Figura 2.8. Mapa de ubicación de pozos de monitoreo, remediación y artesanales. Correlación litológica este-oeste (rojo).

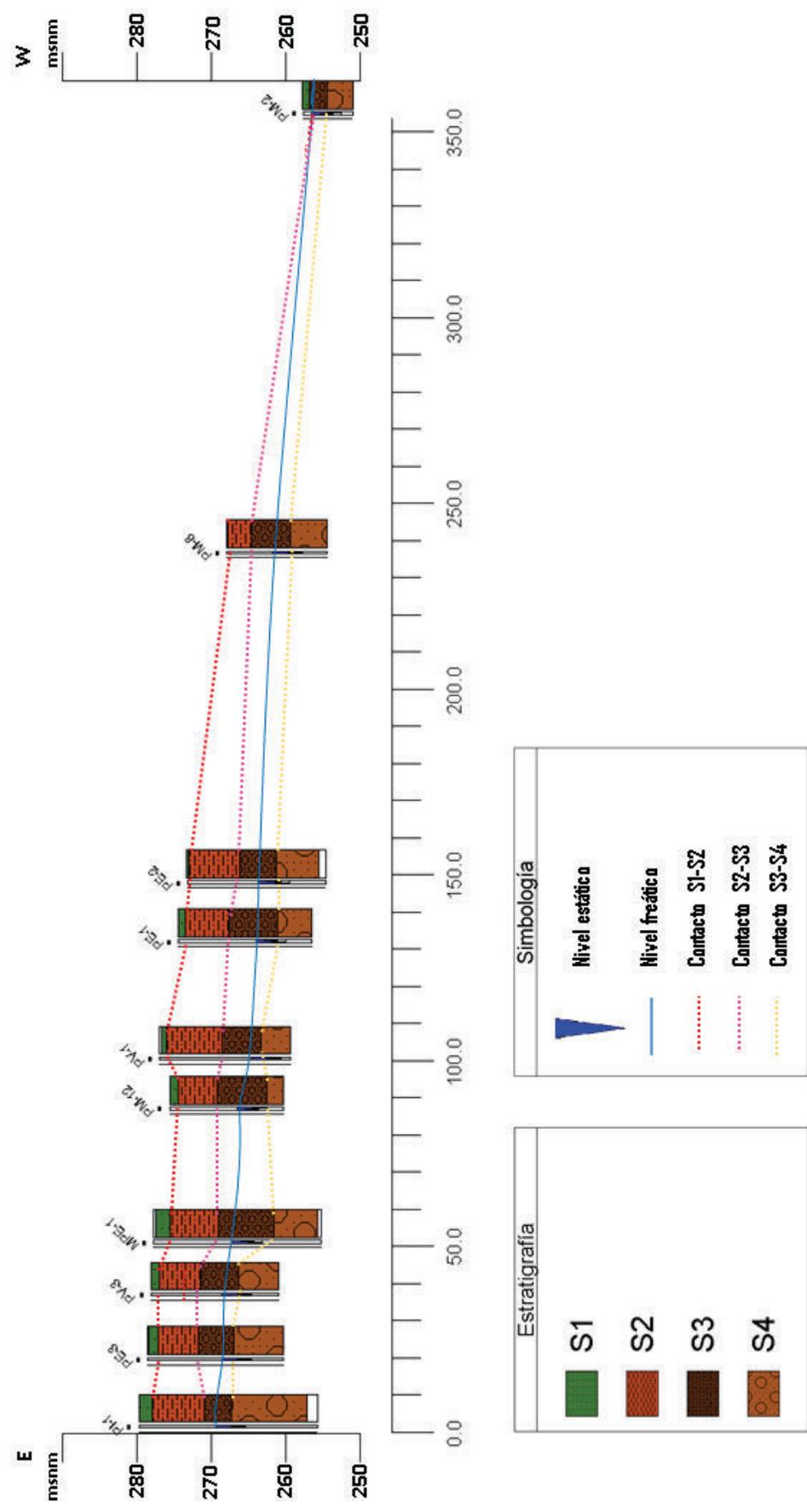


Figura 2.9. Correlación este-oeste de registros litológicos, pozos situados en la parte central de la zona de estudio. Nótese que al oeste la secuencia S2 desaparece; mientras que al este están presentes las 4 secuencias.

2.2.5 ANÁLISIS DE LOS PERFILES DE RESISTIVIDAD

Con el fin de complementar la información obtenida en campo se ejecutaron quince perfiles de tomografía eléctrica en dos campañas realizadas el 2011 y 2014 cubriendo un total de 4052 m. sobre el terreno. Las longitudes de estos perfiles fueron de 108.0 m. el más corto y de 467.5 m. el perfil más largo, alcanzando profundidades de investigación entre 18 m. hasta 79 m.

Tabla 2.1. *Perfiles de tomografía eléctrica levantados en el sitio.*

| Año de Realización | Identificación del perfil | Longitud del Perfil (m) | Separación de Electrodo (m) | Profundidad de Investigación (m) |
|---------------------------|----------------------------------|--------------------------------|------------------------------------|---|
| 2011 | L1-L1' | 459.0 | 8.5 | 79.0 |
| 2011 | L2-L2' | 297.0 | 5.5 | 51.0 |
| 2011 | L3-L3' | 297.0 | 5.5 | 63.0 |
| 2011 | L4-L4' | 162.0 | 3.0 | 37.0 |
| 2011 | L5-L5' | 351.0 | 6.5 | 76.0 |
| 2011 | L6-L6' | 162.0 | 3.0 | 54.0 |
| 2011 | L7-L7' | 146.0 | 2.7 | 40.0 |
| 2011 | L8-L8' | 162.0 | 3.0 | 41.0 |
| 2014 | L9-L9' | 108.0 | 4.0 | 18.0 |
| 2014 | L10-L10' | 216.0 | 8.0 | 37.4 |
| 2014 | L11-L11' | 467.5 | 8.5 | 79.0 |
| 2014 | L12-L12' | 216.0 | 8.0 | 37.4 |
| 2014 | L13-L13' | 440.0 | 8.0 | 75.0 |
| 2014 | L14-L14' | 385.0 | 7.0 | 65.0 |
| 2014 | L15-L15' | 220.0 | 4.0 | 37.4 |

La Tabla 2.1 resume las características de los perfiles, en cuanto a longitud, separación de electrodos y profundidad de investigación alcanzada. Los perfiles fueron definidos por HGE (8 el 2011 y 7 el 2014) de manera estratégica bajo el criterio de cubrir y obtener información de la mayor parte del sitio con el fin de evaluar contrastes de litología y resistividades. La profundidad de investigación depende de la longitud de las líneas en el terreno que corresponde aproximadamente al 20% de las mismas; mientras que la separación de los

electrodos de corriente en los perfiles depende del número de electrodos utilizados (56 o 28 según sea el objetivo de estudio).

En las Figuras 2.10 y 2.11 se observa la distribución espacial de los quince perfiles de tomografía eléctrica realizados el 2011 y 2014 respectivamente.

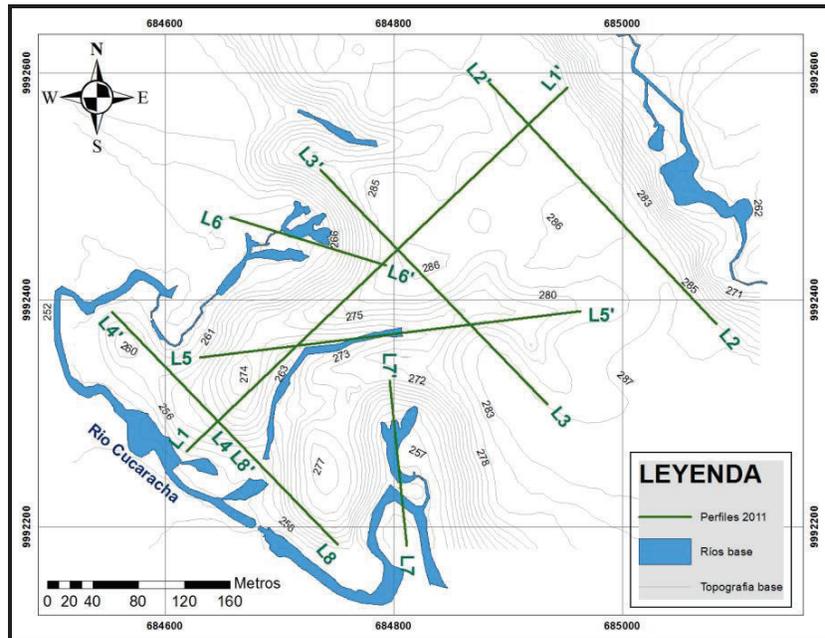


Figura 2.10. Mapa de las líneas de perfiles de tomografía eléctrica (Año 2011).

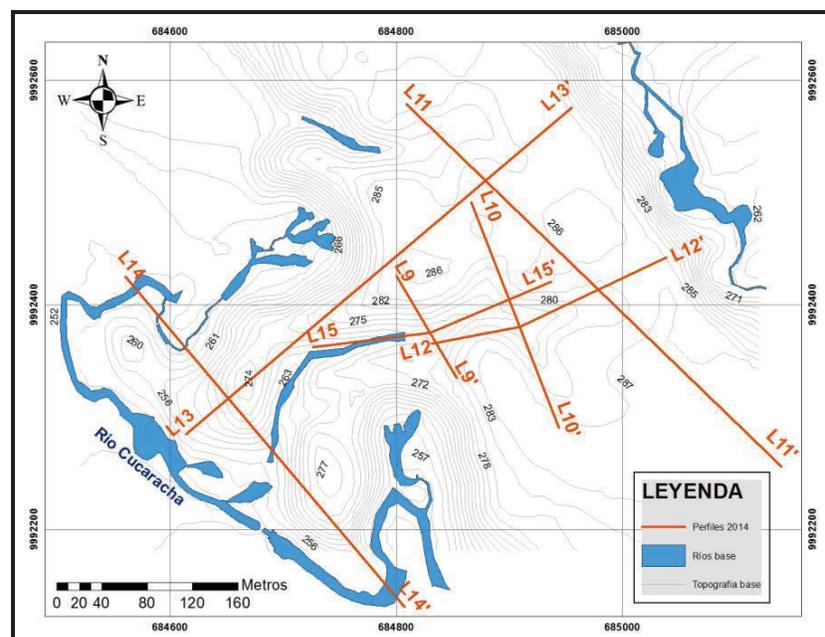


Figura 2.11. Mapa de las líneas de perfiles de tomografía eléctrica (Año 2014).

Correlación geológica – geoelectrica

Obtenidos los datos de campo, se procesó la información con el software Earthimager 2D, para lo cual se realizó una sección bidimensional de cada perfil que indica la variación de la resistividad a diferentes distancias y profundidades.

El análisis de calidad de datos de los perfiles de tomografía eléctrica presentó un Error Cuadrático Medio (ECM) <10% en todos los perfiles, excepto en L4-L4' y L6-L6' (Anexo 2, Perfiles de tomografía eléctrica). Los perfiles donde el error superó el 10% no fueron considerados en la correlación geológica-geoelectrica, ya que posiblemente estos pudieron ser alterados por la desconexión o desperfecto de algún electrodo, produciendo así secciones de tomografía eléctrica incongruentes con las condiciones reales del subsuelo.

En el Anexo 2 (Perfiles de tomografía eléctrica), se muestra el modelo inicial de las pseudosecciones de resistividad aparente y la salida de los perfiles de resistividad verdadera. La resistividad aparente corresponde a una medida ficticia debido a que es un “promedio” de resistividades bajo cada electrodo, sin necesariamente ser considerada como la media ponderada; mientras que la resistividad verdadera corresponde a la solución de una ecuación diferencial que relaciona las leyes de campo eléctrico considerando que se conoce la respuesta del terreno (imagen de resistividad aparente medida en campo), ejecuta un proceso de cálculo iterativo hasta encontrar el modelo que mejor se ajuste a la realidad.

El análisis de los perfiles de tomografía eléctrica, permitió correlacionar las secuencias litológicas con los rangos de resistividades obtenidas de los perfiles de resistividad verdadera. Para obtener la correlación, cada unidad geoelectrica generada durante el modelo fue agrupada en base al conocimiento de la litología, en consecuencia se obtuvo un total de cuatro unidades geoelectricas.

La correlación de los perfiles estuvo limitada por la campaña de ejecución de los mismos, de manera que los perfiles realizados en la campaña del 2011 no contaron con el tratamiento adecuado de los datos provocando así que el cálculo

de la resistividad verdadera no sea estandarizado, así que los rangos en las resistividades son muy variantes.

La Tabla 2.2 resume las resistividades obtenidas en los perfiles de tomografía eléctrica representadas por colores (amarillo a rojo, verde, celeste – azul, azul intenso), con la consideración de que a mayor resistividad la condición acuífera es menor; además se destaca que los perfiles realizados en la campaña del año 2014 (L9-L9' a L15-L15') tienen rangos que no varían significativamente para cada unidad geoelectrica representada por los diferentes colores; mientras que los perfiles realizados en la campaña del año 2011 (L1-L1' a L8-L18') muestran rangos de resistividad con variaciones importantes en cada unidad geoelectrica.

Tabla 2.2. Resumen de las resistividades en los perfiles de tomografía eléctrica realizados en la zona de estudio. Anaranjado: Campaña 2011, Verde: Campaña 2014. (HGE, 2011; HGE, 2014).

| Perfiles de Resistividad | Colores-Resistividades (Ohm-m) | | | | | | | |
|--------------------------|--------------------------------|-------|-------|-------|--------------|-----|--------------|------|
| | Rojo-Amarillo | | Verde | | Azul-Celeste | | Azul intenso | |
| L1-L1' | 1415 | 426 | 426 | 207 | 207 | 89 | 89 | 53 |
| L2-L2' | 1400 | 546 | 546 | 237.5 | 238 | 134 | 134 | 98 |
| L3-L3' | 2130 | 648.5 | 648.5 | 276.5 | 277 | 94 | 94 | 71 |
| L5-L5' | 1365 | 466.5 | 466.5 | 217.5 | 218 | 101 | 101 | 64 |
| L7-L7' | 1954 | 390.5 | 390.5 | 119.5 | 119 | 39 | 39 | 17.1 |
| L8-L8' | 2799 | 815 | 815 | 336 | 336 | 145 | 145 | 81 |
| L9-L9' | 500 | 213 | 213 | 117 | 117 | 60 | 60 | 45 |
| L10-L10' | 500 | 147 | 147 | 61 | 61 | 30 | 30 | 14 |
| L11-L11' | 500 | 118 | 118 | 46 | 46 | 15 | 15 | 8.9 |
| L12-L12' | 500 | 110 | 110 | 56 | 56 | 22 | 22 | 12.9 |
| L13-L13' | 500 | 187 | 187 | 93 | 93 | 45 | 45 | 30.7 |
| L14-L14' | 500 | 93.4 | 93.4 | 27 | 27 | 8 | 8 | 3.5 |
| L15-L15' | 500 | 161 | 161 | 72 | 72 | 30 | 30 | 19.6 |

En la Tabla 2.3 se observa la correlación de las unidades geoelectricas con la asociación litológica a la que corresponde. Cabe señalar que una nueva unidad geoelectrica fue descrita debido a que se la observa en los perfiles L15-L15', L14-L14', L12-L12', L11-L11' y L7-L7'; esta se caracteriza por tener una tonalidad amarillenta a naranja que se puede relacionar con la parte basal poco permeable

del acuífero, por lo que se presume tiene una litología similar a la de la secuencia S2, (Anexo 2, Perfiles de tomografía eléctrica).

Para facilitar la vista de la correlación entre los perfiles de tomografía eléctrica de las campañas del 2011 y 2014 se utilizó el programa Voxler 3.

Tabla 2.3. Correlación de tonalidad de resistividades con su asociación litológica.

| Asociación Litológica | Tonalidad | Características |
|--|------------------|--|
| Secuencia Limo-Arenosa | Amarillo a Rojo | Limos arenosos con un bajo porcentaje de arcillas |
| Secuencia de Limos de alta plasticidad y arcillas | Verde | Limos de alta plasticidad, arcillas y limos arcillosos; poco permeables, húmedas a poco húmedas |
| Secuencia de Limo arenoso-Arena limosa | Celeste-Azul | Limos arenosos, arenas limosas y bajo porcentaje de arcillas; medianamente plásticas con mayor permeabilidad, húmedas a saturadas. |
| Secuencia de Arenas Medias a Gruesas con lentes de conglomerados | Azul intenso | Transición a Arenas finas a gruesas con lentes esporádicos de conglomerados; de alta permeabilidad, saturadas |

En las Figuras 2.12 y 2.13 se observa que la correlación que existe entre los perfiles no es tan marcada, sin embargo la configuración de la zona saturada es bastante similar a la obtenida en la campaña del 2014, posiblemente la diferencia entre las correlaciones se debe al tratamiento de los datos en crudo o la época en la que se realizaron los perfiles de tomografía eléctrica, influenciados por la mayor cantidad de lluvias (campaña 2011) debido a que esta fue realizada en invierno y la campaña del 2014 se la realizó en verano.

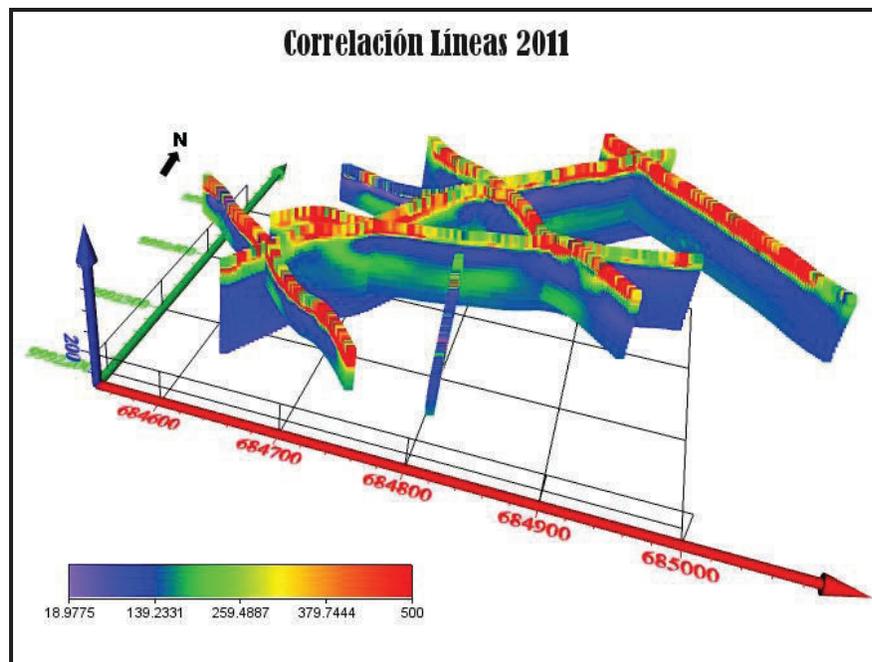


Figura 2.12. Correlación de imágenes de resistividad (2011): Vista 3D frontal.

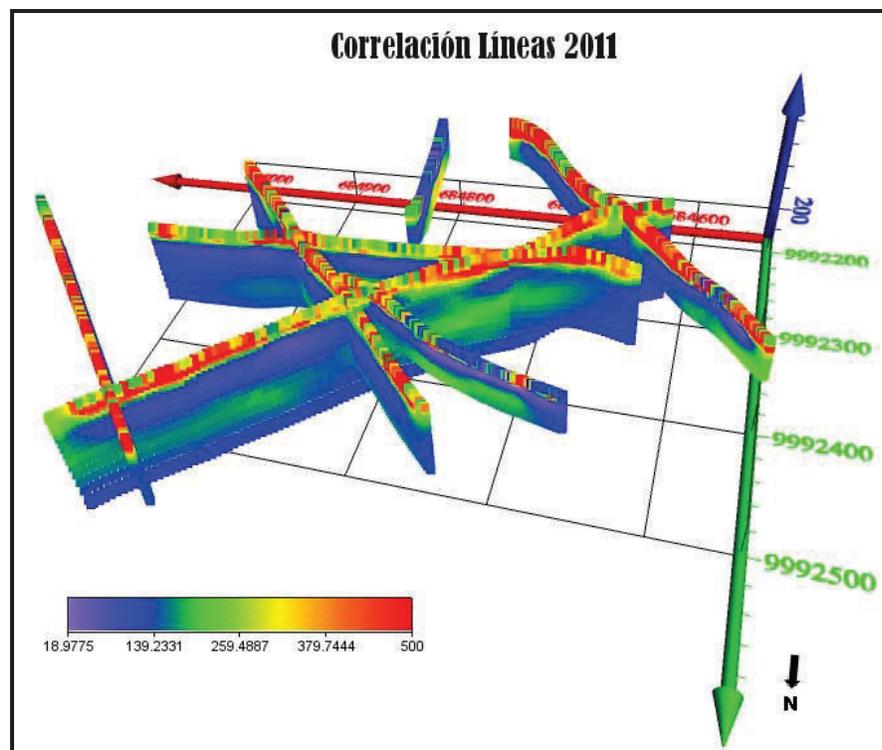


Figura 2.13. Correlación de imágenes de resistividad (2011): Vista 3D posterior izquierda.

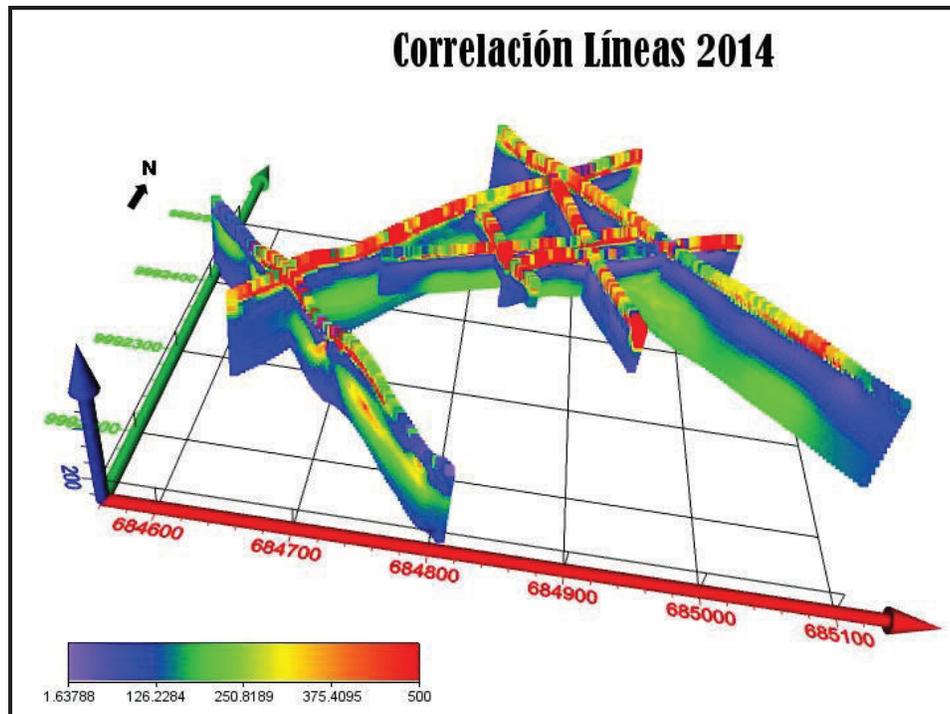


Figura 2.14. Correlación de imágenes de resistividad (2014): Vista 3D frontal.

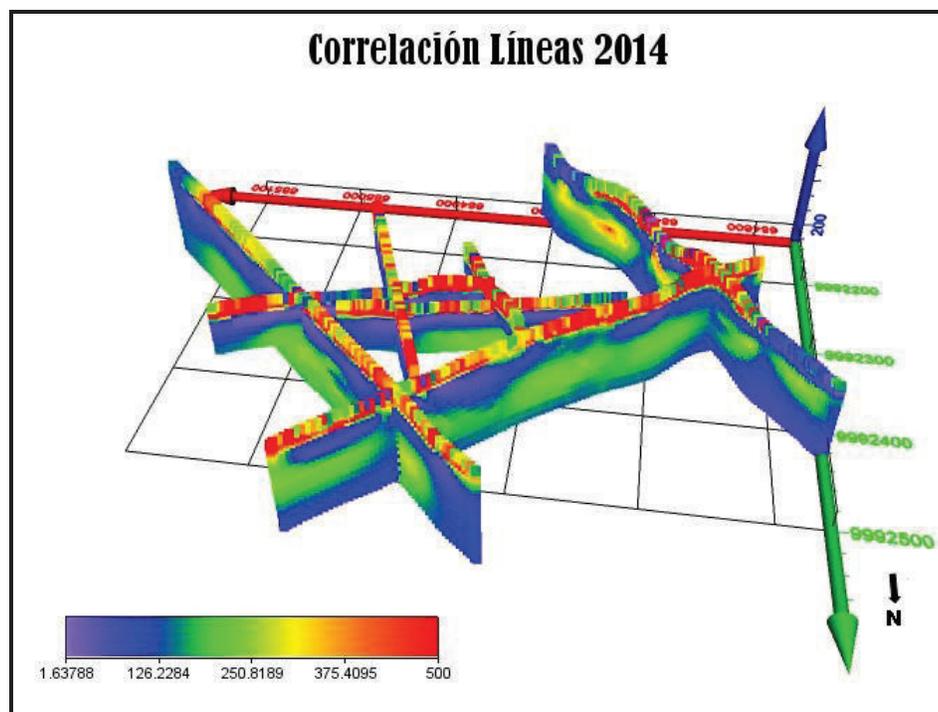


Figura 2.15. Correlación de imágenes de resistividad (2014): Vista 3D posterior izquierda.

En las Figuras 2.14 y 2.15 se observa una buena correspondencia entre todos los perfiles ejecutados en la campaña del 2014, esta permitió determinar los diferentes tipos de litología que se encuentran en el subsuelo.

Se establece también que en la parte más profunda, resistividades con gamas de color verde corresponden a litologías de mayor densidad asociadas a la parte basal del acuífero. Según los datos obtenidos de las resistividades el techo de este tipo de litología se encuentra a una profundidad que varía entre 30 y 40 m.

La correlación entre las secuencias litológicas descritas mediante el registro de pozos y el trabajo de campo, junto con las unidades geoelectricas determinadas en los perfiles de tomografía eléctrica, permitieron generar cuatro planos correspondientes al techo de conjuntos de similares tipos de litología, que a su vez definen las unidades hidrogeológicas para la construcción del modelo hidrogeológico descrito en el capítulo 4.

CAPÍTULO 3

HIDROMETEOROLOGÍA

Con el fin de realizar el balance hídrico en la zona de estudio, se estimaron los siguientes parámetros: precipitación, evapotranspiración, escorrentía superficial e infiltración, a partir de los que se estableció la distribución del agua en el sistema.

La estimación de los parámetros y el balance hídrico están relacionados con el “nivel acuífero superior”, este es un acuífero de carácter local que forma parte del acuífero regional ubicado al norte de la ciudad de Santo Domingo.

Debido a que el área de estudio es pequeña (0,26 km²), el balance hídrico presenta limitaciones como el cálculo de la escorrentía superficial y la infiltración determinados mediante métodos teóricos.

Este capítulo incluye la validación de la información registrada en las distintas estaciones meteorológicas, las condiciones climáticas de la zona, el análisis de los parámetros hidrometeorológicos y finalmente el análisis de la distribución del agua en el sistema.

El desarrollo del capítulo se realizó mediante un procedimiento técnicamente planificado, que a continuación es descrito:

- Recopilación bibliográfica.
- Análisis y validación de la información meteorológica.
- Clasificación del clima.
- Cálculo de parámetros hidrometeorológicos.
- Cálculo del balance hídrico.

3.1 ANÁLISIS Y VALIDACIÓN DE LA INFORMACIÓN

Se obtuvo información de cinco estaciones meteorológicas, de las cuales cuatro son manejadas por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) y

la restante es una estación privada (Cachabi Jame Bron) que utiliza los registros con fines de desarrollo agrícola en plantaciones de cacao.

En la Tabla 3.1 se citan los nombres de las estaciones meteorológicas, sus ubicaciones y los períodos de registro de temperatura y precipitación. Los registros de las cinco estaciones meteorológicas se muestran en el Anexo 3 (Registros de variables meteorológicas).

Cabe señalar que las estaciones meteorológicas Puerto Ila, Chiriboga y La Libertad- Río Blanco se encuentran a 45.4, 64.1 y 57.1 kilómetros de la zona de estudio, por lo que la estimación de la precipitación dentro de la zona puede presentar una incertidumbre importante.

Una limitante para realizar la interpolación y análisis de los datos de precipitación fue que no todas las estaciones tienen registrados todos sus datos en los períodos indicados en la Tabla 3.1, por cuanto se estableció que el porcentaje de datos faltantes para cada serie de datos de precipitación y temperatura no supera el 10%. En consecuencia, los datos registrados por las cinco estaciones permiten tener un período suficientemente largo para ser representativo del clima de la zona.

En el anexo 4 (Variación de precipitación en el tiempo, Medias mensuales) se observa que mediante el análisis gráfico de la precipitación media mensual para cada año en el que existen registros, se distingue el comportamiento del régimen de precipitación de todas las estaciones desde 1962 hasta 2015, y el comportamiento de la curva de variación en los datos faltantes.

Con las premisas citadas se elaboró una gráfica comparativa de la precipitación media mensual multianual de las cinco estaciones meteorológicas. En la Figura 3.1 se observa que el régimen de precipitación es similar en las cinco estaciones, sin embargo en la estación Cachabi Jame Bron se observa una anomalía en los meses de enero, febrero y marzo. La anomalía podría explicarse, debido a que al ser una estación privada, la medición de este parámetro posiblemente no fue estimada correctamente, por tanto se decidió no considerar los datos de esta estación para el desarrollo del capítulo.

Tabla 3.1. Estaciones meteorológicas.

| ESTACIÓN | CODIGO INAMHI | COTA (msnm) | X (UTM) | Y (UTM) | Datos de precipitación | | Datos Faltantes (%) | Datos de temperatura | | Datos Faltantes (%) |
|------------------------|---------------|-------------|-------------|------------|------------------------|-----------------|---------------------|----------------------|-----------------|---------------------|
| | | | | | Desde | Hasta | | Desde | Hasta | |
| La Concordia | M0025 | 379 | 680.265.781 | 9997266.32 | Marzo-1963 | Agosto-2014 | 4.7 | Marzo-1965 | Agosto-2014 | 0.3 |
| Puerto Ila | M0026 | 319 | 684.867.084 | 9947352.56 | Febrero-1963 | Octubre-2014 | 1.8 | Enero-1965 | Septiembre-2014 | 2.3 |
| Chiriboga | M116 | 1750 | 746.884.196 | 9976709.46 | Noviembre-1962 | Septiembre-2014 | 7.4 | Enero-1965 | Junio-1983 | 1.8 |
| La Libertad-Río Blanco | M1215 | 689 | 708.986.602 | 9941202.42 | Junio-2005 | Septiembre-2014 | 0.9 | ----- | ----- | ----- |
| Cachabi Jame Bron | ----- | 283 | 691.390.863 | 9990718.83 | Marzo-2008 | Marzo-2015 | 1.2 | ----- | ----- | ----- |

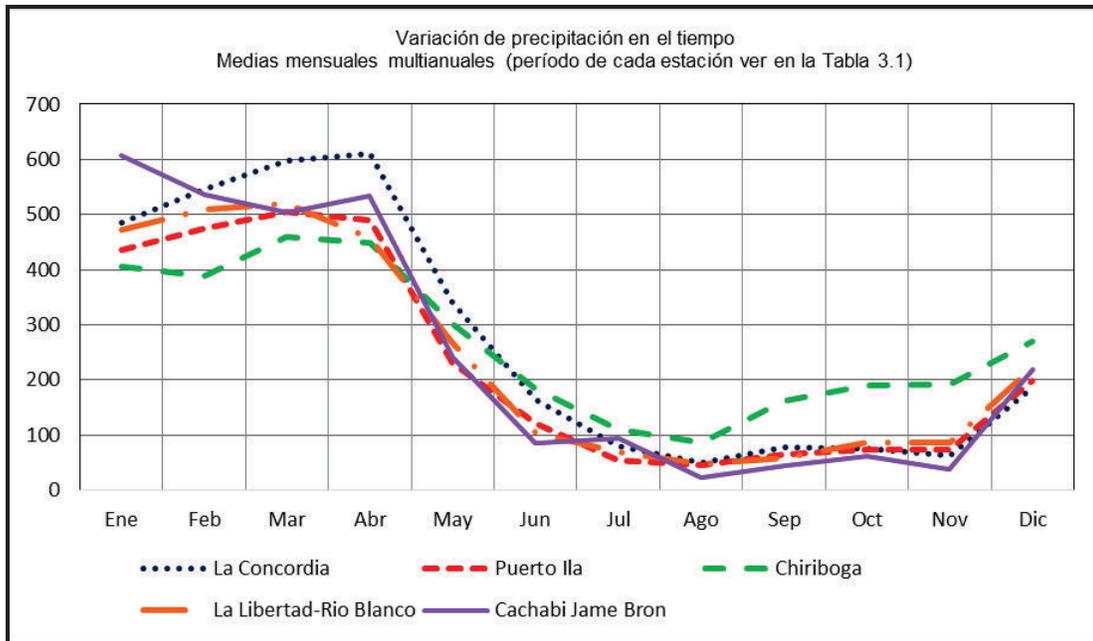


Figura 3.1. Variación de precipitación en el tiempo de las cinco estaciones meteorológicas.

En la Figura 3.2 se observa la ubicación de las cinco estaciones meteorológicas; además se destaca la precipitación media multianual (Tabla 3.2) de cada una, de acuerdo al registro completo de toda la serie de datos.

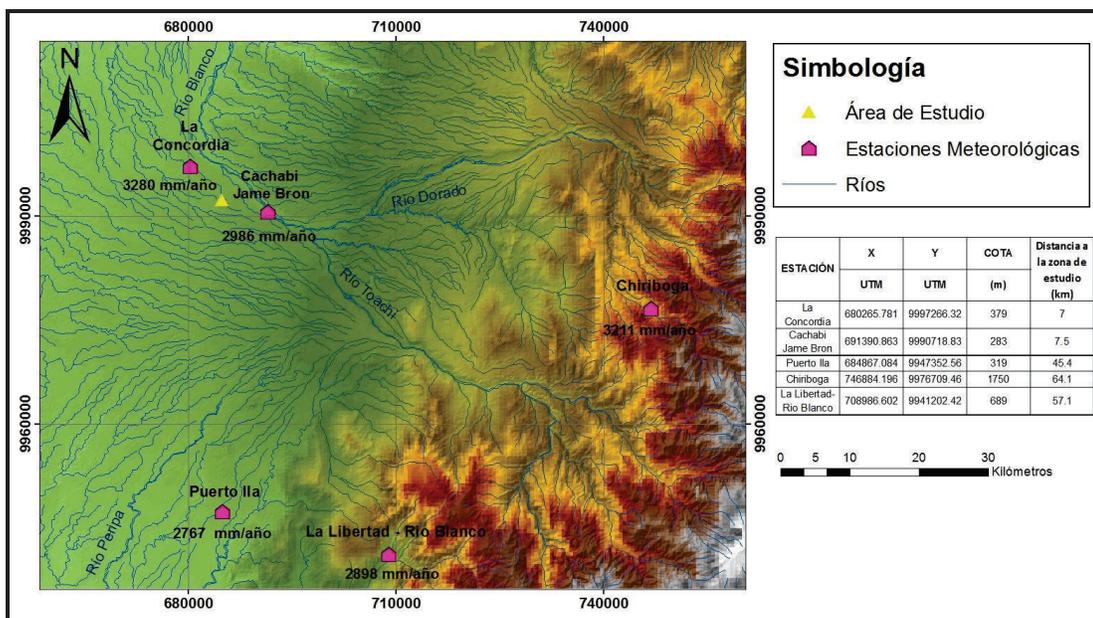


Figura 3.2. Mapa de ubicación de las estaciones meteorológicas (Fuente topográfica: IGM).

Los registros de precipitación media mensual multianual de las estaciones meteorológicas La Concordia, Puerto Ila, La Libertad-Río Blanco y Chiriboga, ubicadas al noroeste, sur, sureste y este de la zona de estudio respectivamente, fueron consideradas para el desarrollo de este capítulo mediante el cálculo de la media entre los resultados de cada estación, esto se concluye debido a que como se observa en la Figura 3.1 el régimen de precipitación es similar en las cuatro estaciones.

Con respecto a la temperatura, solo se registran datos desde 1965 hasta 2014 en las estaciones La Concordia y Puerto Ila, Chiriboga tiene datos desde 1965 hasta 1983. Las estaciones Libertad-Río Blanco y Cachabi Jame Bron no registran ningún valor.

Con el cálculo de las temperaturas multianuales se obtuvo que no existe diferencia de la temperatura media mensual multianual entre las estaciones La Concordia y Puerto Ila, mientras que en la estación Chiriboga se observa que esta varía aproximadamente 8 °C (Figura 3.3), esta condición se debe simplemente a la diferencia de altura entre las estaciones. Debido a la falta de información, para este parámetro no se trazaron curvas de variación de temperatura en la zona de estudio (Tabla 3.3).

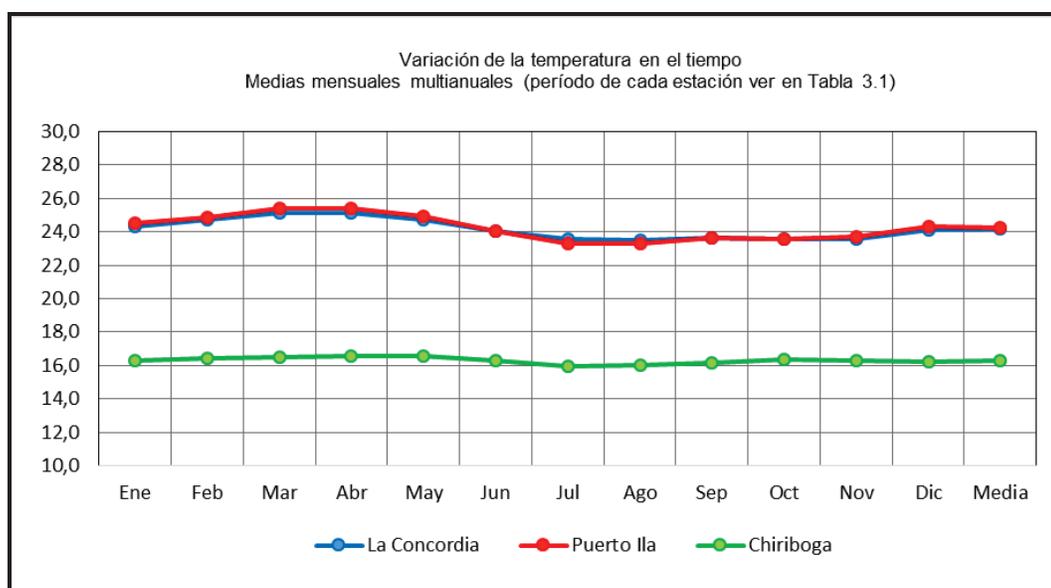


Figura 3.3. Variación de la temperatura en el tiempo de las cinco estaciones meteorológicas.

Para la temperatura se usaron los datos de temperatura media mensual multianual de las estaciones La Concordia y Puerto Ila ya que como se observa en la Figura 3.3, el comportamiento de la temperatura en las dos estaciones es muy similar.

La Tabla 3.4 muestra la media de registros mensuales multianuales de la estaciones La Concordia, Puerto Ila, Chiriboga y La Libertad-Río Blanco en el caso de la precipitación; mientras que la media de registros mensuales multianuales de la temperatura se calculó con las estaciones La Concordia y Puerto Ila.). En adelante esta tabla será la base para el cálculo del balance hídrico.

Tabla 3.4. *Precipitaciones y temperaturas medias mensuales multianuales.*
(Fuente: INAMHI).

| Mes | Precipitación (mm) | Temperatura (°C) |
|--------------|-------------------------------|-----------------------------|
| Enero | 450 | 24,4 |
| Febrero | 479,7 | 24,8 |
| Marzo | 520,3 | 25,3 |
| Abril | 501,1 | 25,3 |
| Mayo | 285,9 | 24,8 |
| Junio | 143,2 | 24 |
| Julio | 78,3 | 23,4 |
| Agosto | 57,3 | 23,4 |
| Septiembre | 91,1 | 23,6 |
| Octubre | 106,5 | 23,6 |
| Noviembre | 103,5 | 23,6 |
| Diciembre | 219,1 | 24,2 |
| MEDIA | 253 | 24,2 |
| SUMA | 3036 | ----- |

3.2 CLIMATOLOGÍA

3.2.1 CLASIFICACIÓN DEL CLIMA

Según López (1988) el clima es la síntesis del conjunto fluctuante de las condiciones atmosféricas en un área determinada, correspondiente a un período

de tiempo lo suficientemente largo para que se sea geográficamente representativa.

Pourrut (1995) afirma que entre los diferentes factores astronómicos, geográficos y meteorológicos que influyen en los regímenes hidroclimáticos del Ecuador están:

- La latitud, que define las condiciones generales de la circulación atmosférica a nivel planetario, entre la línea ecuatorial y los polos; y la longitud que regula un sistema de circulación atmosférica este-oeste.
- El relieve, la altitud y el papel de pantalla desempeñado por la Cordillera de los Andes, factores que condicionan la existencia de la diversidad de regiones naturales.
- El océano Pacífico, generador de masas de aire cuyas características habituales se ven a veces perturbadas por la influencia de corrientes oceánicas.

Según la clasificación de Pourrut (1995) el clima en la zona de estudio puede ser descrito como Tropical Megatérmico Húmedo (Figura 3.4); este se caracteriza por presentar precipitaciones anuales elevadas que superan los 3000 mm anuales, llegando hasta 6000 mm anuales en algunos lugares. La temperatura es de 25°C y se mantiene casi durante todo el año, la gran cantidad de precipitaciones permiten el crecimiento de selvas tropicales exuberantes.

Este tipo de clima está presente a lo largo de una franja cuyo ancho máximo es ligeramente inferior a 110 km, además está relacionado según la clasificación bioclimática de Cañadas (1983) a la formación bosque Húmedo Tropical, que comprende a una franja selvática que corre paralela con el bosque Seco Tropical e incluye por el noroccidente a: San Lorenzo, Lita, Borbón, San Domingo de Onzole, Quinindé, Puerto Quito, La Concordia, Puerto Limón, Santo Domingo de los Tsáchilas, El Carmen, Las Pampas, La Maná, entre otras poblaciones (Figura 3.4). Esta formación de bosque Húmedo Tropical está confinada a la misma faja altitudinal que el bosque Seco Tropical, como también en sus rangos de temperatura, pero se diferencia porque percibe una precipitación media anual entre 2000 y 4000 milímetros (Cañadas, 1983).

Predominan en estas regiones la estación lluviosa, mientras que la seca se restringe a los meses de julio a septiembre, es decir 3 meses secos, sin que exista diferencia en la temperatura media mensual entre una y otra estación. En el año, las lluvias exceden a la evapotranspiración potencial, el régimen en estas regiones es húmedo. Las temperaturas medias fluctúan alrededor de los 24°C y la humedad relativa varía entre 70 y 90% según la época y las influencias locales (Pourrut, 1995; Cañadas, 1983).

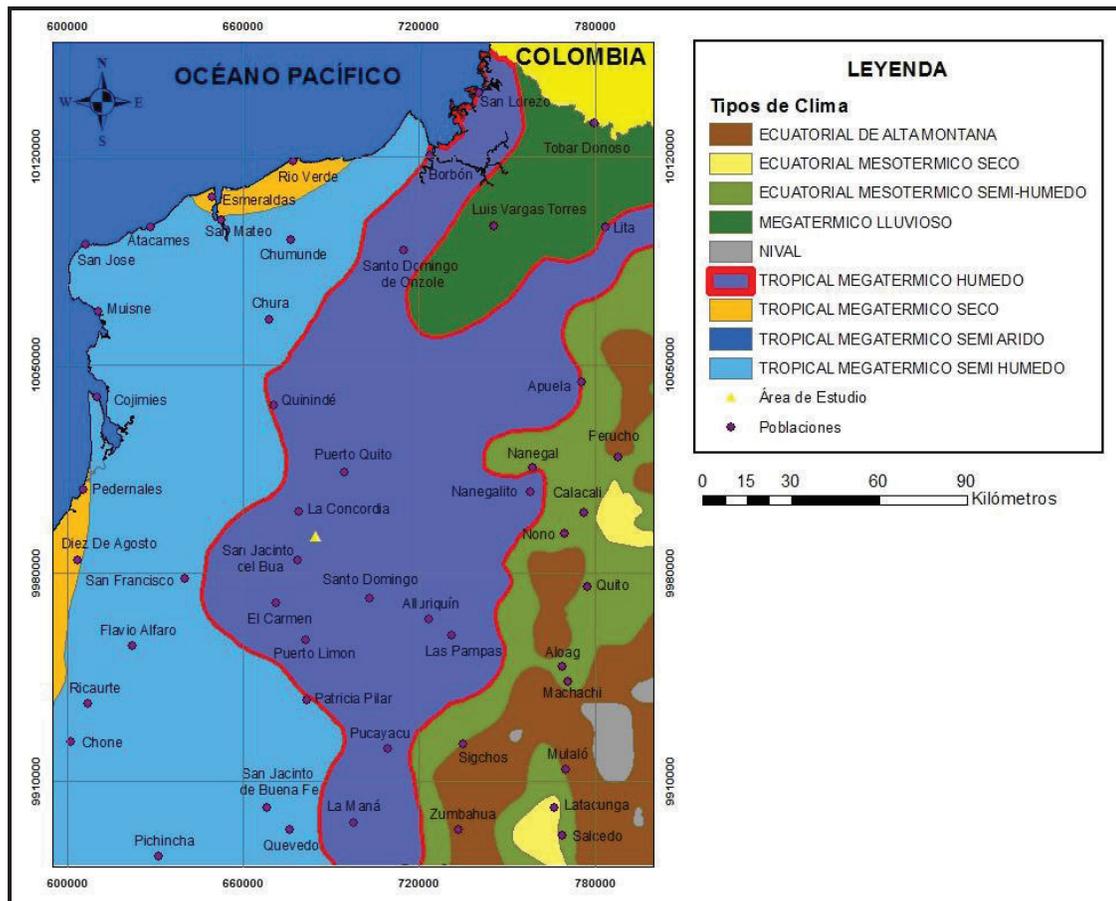


Figura 3.4. Mapa climático de la zona de estudio.

3.2.2 TEMPERATURA

En la Figura 3.5 se observa la variación de la temperatura media mensual durante el año.

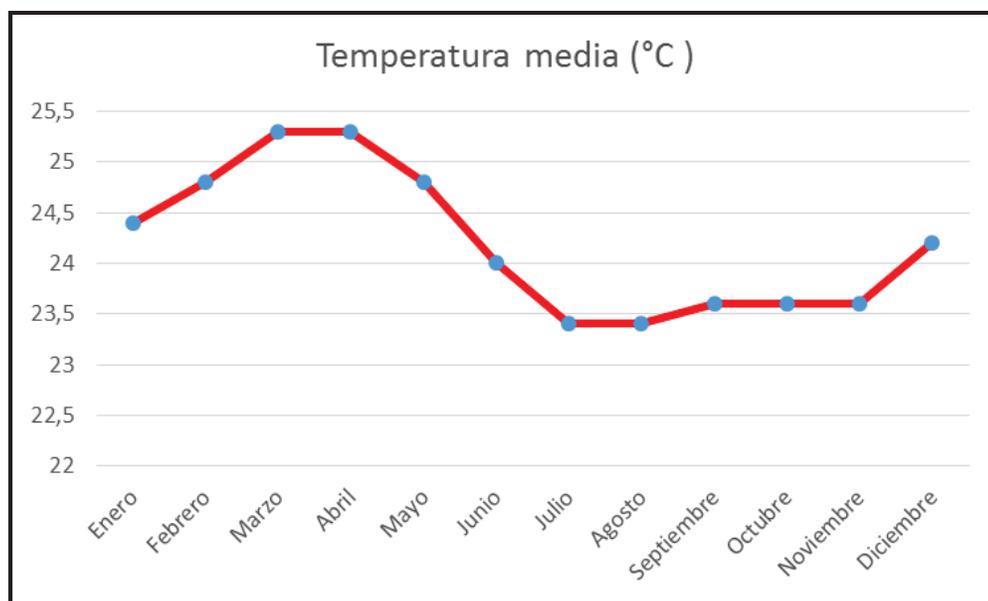


Figura 3.5. Variación de la temperatura media mensual multianual.

Se observa que la temperatura no varía significativamente en el transcurso del año; el valor máximo medio se registra en los meses de marzo y abril con 25.3 °C y el valor mínimo medio se registra en los meses de julio y agosto con 23.6°C.

3.2.3 PRECIPITACIÓN

A lo largo del año hay un período lluvioso que va desde octubre a mayo con valores que varían entre 103.5 y 520.3 mm mensuales (Tabla 3.4), y un período seco que va desde junio a septiembre con valores que varían entre 57.3 y 143.2 mm mensuales (Figura 3.6).

Según los registros de la estación meteorológica La Concordia, en los períodos con mayores precipitaciones disminuye la heliofanía hasta 45.9 horas, la velocidad del viento hasta 6.1 km/h y aumenta la humedad relativa hasta 87%; mientras que en los meses menos lluviosos, la heliofanía aumenta hasta 62.9 horas, la velocidad del viento aumenta hasta 6.6 km/h y la humedad relativa disminuye hasta 86%.

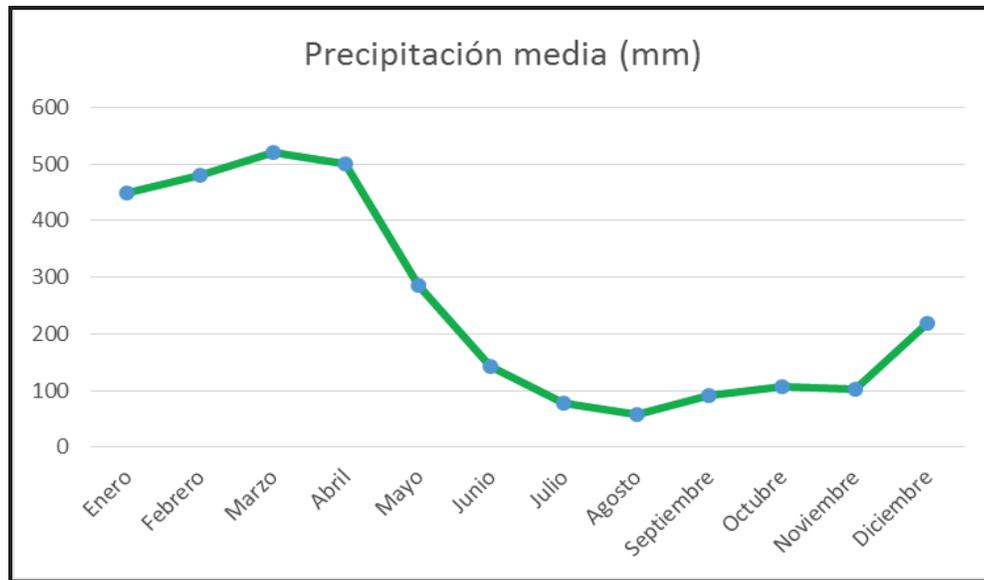


Figura 3.6. Variación de la precipitación media mensual multianual.

3.3 METEOROLOGÍA

Un acuífero se encuentra condicionado principalmente por la geología y las características de la precipitación en la zona de estudio debido a que, cuando ocurren las precipitaciones, el agua se deposita en el suelo y parte queda retenida en él hasta que se evapora, y otra parte se filtra o se escurre. Para establecer el porcentaje de agua que se infiltra y recarga el acuífero, se estudia la distribución del agua mediante el análisis de los parámetros meteorológicos: precipitación, evapotranspiración, escorrentía superficial e infiltración y con ellos determinar el balance hídrico (Delgado, 2008).

3.3.1 TEMPERATURA Y PRECIPITACIÓN MEDIA MULTIANUALES

Para determinar el balance hídrico se cuantificaron las precipitaciones y temperaturas medias multianuales obtenidas de la Tabla 3.4, asumiendo que la media calculada para la precipitación y temperatura es la que influye en la zona de estudio. En consecuencia, la precipitación media multianual fue estimada en 3035.7 mm, mientras que la temperatura media multianual fue estimada en 24.2 °C.

3.3.2 EVAPOTRANSPIRACIÓN

La evapotranspiración (ET) es la pérdida de humedad del suelo por la evaporación física y la evaporación fisiológica o transpiración de las plantas, es decir la acción combinada de los dos procesos anteriores (Quereda, 2005).

Según Santana (2008) los factores que afectan a la evapotranspiración son:

- Variables climáticas (radiación, temperatura del aire, humedad atmosférica y velocidad del viento).
- Factores de cultivo (tipo, variedad y etapa de desarrollo de cultivo)
- Manejo y condiciones ambientales

La evapotranspiración no es fácil de estimar, para determinarla se han desarrollado una gran cantidad de ecuaciones empíricas, sin embargo el método de Penman-Monteith, puesto que usa un gran número de variables meteorológicas, se recomienda ampliamente para la definición y el cálculo de la evapotranspiración de un cultivo de referencia (ET_o).

Para el método de Penman-Monteith (1990), el cultivo de referencia se define como un cultivo hipotético de pasto verde, con una altura de 0.12 m., con una resistencia superficial de 70 s/m y un albedo de 0.25 y que representa a la evapotranspiración de una superficie extensa de altura uniforme, creciendo activamente y adecuadamente regado. El método para estimar la ET_o se obtiene de la ecuación original de Penman-Monteith y las ecuaciones de la resistencia aerodinámica y superficial.

$$ET_o = \left[\frac{\Delta}{\Delta + \gamma^*} (R_n - G) \frac{10}{L} + \frac{\gamma}{\Delta + \gamma^*} \frac{90}{T + 275} u_2 (e_s - e_a) \right] \quad (3.1)$$

ET_o = evapotranspiración del cultivo de referencia (mm/día)

γ^* = constante psicométrica modificada utilizada en el método de Penman-Monteith (mbar/C)

$e_s - e_a$ = déficit de presión de vapor (mb)

e_s = presión de vapor a saturación a la temperatura promedio del aire (mb)

e_a = presión de vapor tomada a la temperatura a punto de rocío (mb)

L = calor latente de vaporización (cal/gr)

Δ = pendiente de la curva de presión de la saturación de vapor a una temperatura específica (mbar/°C)

γ = constante psicométrica

R_n = energía de radiación neta (cal/(cm² día))

T = temperatura promedio (°C)

G = flujo termal del suelo (cal/cm²)

La ecuación utiliza datos climáticos de radiación solar, temperatura y humedad del aire, y velocidad del viento. Para garantizar la precisión del cálculo, los datos climáticos deben ser medidos sobre la superficie extensa de pasto verde, cubriendo completamente el suelo y sin limitaciones de agua. La ecuación de Penman-Monteith es una representación clara, precisa y simple de los factores físicos y fisiológicos que gobiernan el proceso de evapotranspiración.

Para determinar la Evapotranspiración mediante el método de Penman-Monteith se utilizó el programa CROPWAT 8.0 de la FAO, este programa se usa esencialmente para el cálculo de los requerimientos de agua de los cultivos y de sus requerimientos de riego en base a datos climáticos (Santana, 2008).

Para la obtención de la Evapotranspiración (ET_o) se ingresaron valores de temperatura, humedad y velocidad del viento, estas variables fueron calculadas a partir de la media entre los registros de las estaciones meteorológicas La Concordia y Puerto Ila (Anexo 3, Registros de variables meteorológicas); mientras que la insolación (horas de sol) fue estimada en 12 horas máximas de sol por la ubicación de la estación en la latitud 0°. También es importante ingresar información de la estación donde fueron medidas las diferentes variables meteorológicas.

Al ingresar los datos mencionados el programa calcula automáticamente la radiación solar y la evapotranspiración potencial para cada mes (Figura 3.7).

| Country | | Ecuador | Station | | La Concordia, P. Ila | |
|----------------|-------------|-----------|------------|-------------|------------------------|----------------|
| Altitude | | 349 m. | Latitude | | 0.00 °N | |
| | | | Longitude | | 79.00 °E | |
| Month | Avg Temp | Humidity | Wind | Sun | Rad | ETo |
| | °C | % | m/s | hours | MJ/m ² /day | mm/month |
| January | 24.4 | 88 | 4.5 | 12.0 | 27.2 | 140.29 |
| February | 24.8 | 88 | 4.6 | 12.0 | 28.0 | 132.25 |
| March | 25.3 | 87 | 4.5 | 12.0 | 28.4 | 153.25 |
| April | 25.3 | 88 | 4.5 | 12.0 | 27.5 | 142.45 |
| May | 24.9 | 88 | 4.2 | 12.0 | 26.1 | 138.48 |
| June | 24.1 | 89 | 4.4 | 12.0 | 25.1 | 123.33 |
| July | 23.5 | 88 | 4.4 | 12.0 | 25.5 | 128.14 |
| August | 23.4 | 87 | 4.4 | 12.0 | 26.8 | 135.90 |
| September | 23.6 | 87 | 4.3 | 12.0 | 27.9 | 138.10 |
| October | 23.6 | 87 | 4.5 | 12.0 | 28.0 | 142.61 |
| November | 23.7 | 87 | 4.4 | 12.0 | 27.2 | 134.96 |
| December | 24.2 | 87 | 4.3 | 12.0 | 26.7 | 139.56 |
| Average | 24.2 | 88 | 4.4 | 12.0 | 27.0 | 1649.31 |

Figura 3.7. Cálculo de la Evapotranspiración mediante el método de Penman-Monteith de la FAO en CROPWAT 8.0.

Evapotranspiración Real

Según Orsolini et al. (2000) para el cálculo de la evapotranspiración real se deben considerar las siguientes especificidades:

- a) Si las precipitaciones del mes (P) son superiores a la evapotranspiración potencial, entonces:
 - La evapotranspiración real (ETR) es igual a la evapotranspiración potencial.
 - El excedente de las precipitaciones (ΔR) sobre la evapotranspiración potencial es almacenado en la humedad del suelo, cuyas reservas de agua utilizable por las plantas (R) aumentan hasta que el suelo completa la capacidad de campo.
 - La parte del “excedente” (Exc) que rebasa eventualmente la reserva acumulada, está disponible para la alimentación del escurrimiento superficial y de las capas profundas según una distribución que puede presuponerse.
- b) Si las precipitaciones del mes son inferiores a la evapotranspiración potencial; la evapotranspiración real es la suma de las precipitaciones del

mes y de toda o parte de la reserva de agua del suelo; ésta se supone movilizada de la siguiente manera:

- Si la reserva anterior de humedad del suelo es bastante fuerte para colmar la insuficiencia de las precipitaciones, la evapotranspiración real es todavía igual a la evapotranspiración potencial corregida; la reserva del suelo es entonces deducida de la diferencia entre la evapotranspiración potencial y las precipitaciones del mes considerado.
- Si la reserva de humedad del suelo es insuficiente para satisfacer la evapotranspiración potencial, la evapotranspiración real es inferior a aquella y es igual a la suma de las precipitaciones del mes y de las reservas disponibles.

Déficit agrícola: El déficit agrícola es la cantidad de agua suplementaria que habría podido ser utilizada por las plantas (y el suelo) si las disponibilidades en agua hubieran podido ser artificialmente completadas por un sistema de riego. Este parámetro se obtiene de la diferencia entre la evapotranspiración potencial y la evapotranspiración real. El déficit no se acumula para el mes siguiente, su relevancia es sólo agronómica.

Comparando los valores de la evapotranspiración potencial de cada mes (Figura 3.7) y la precipitación media mensual, se calculó la evapotranspiración real mensual (Tabla 3.5).

El método para calcular la evapotranspiración real se ajusta a las condiciones climáticas de cada punto, sin embargo su limitación se encuentra en la generalización que permite utilizar un valor de la reserva máxima de agua del suelo previamente fijado; por lo tanto, cuando en un mes se produzcan más entradas que salidas, el agua se almacenará en el suelo; mientras que cuando las salidas sean mayores que las entradas, la reserva del suelo reducirá.

Para el cálculo de la evapotranspiración se asumió la reserva máxima requerida por el suelo a partir del estudio realizado por (Ortiz, 2014) sobre el balance hídrico en tres híbridos de palma aceitera en La Concordia, este permitió conocer rangos de la reserva máxima en la zona.

Tabla 3.5. Cálculo de la evapotranspiración real.

| Parámetro | May | Jun | Jul | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic | Ene | Feb | Mar | Abr | Anual |
|---|--------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|
| ETP | 138,48 | 123,33 | 128,14 | 135,9 | 138,1 | 142,61 | 134,96 | 139,56 | 140,29 | 132,25 | 153,25 | 142,45 | 1649,32 |
| P | 285,9 | 143,2 | 78,3 | 57,3 | 91,1 | 106,5 | 103,5 | 219,1 | 450 | 479,7 | 520,3 | 501,1 | 3036 |
| P-ETP | 147,42 | 19,87 | -49,84 | -78,6 | -47 | -36,11 | -31,46 | 79,54 | 309,71 | 347,45 | 367,05 | 358,65 | 1386,68 |
| Delta R | 147,42 | 19,87 | -49,84 | -78,6 | -47 | -36,11 | -31,46 | 79,54 | 309,71 | 347,45 | 367,05 | 358,65 | |
| R | 271,01 | 271,01 | 221,17 | 142,57 | 95,57 | 59,46 | 28 | 107,54 | 271,01 | 271,01 | 271,01 | 271,01 | |
| ETR | 138,48 | 123,33 | 128,14 | 135,9 | 138,1 | 142,61 | 134,96 | 139,56 | 140,29 | 132,25 | 153,25 | 142,45 | 1649,32 |
| Def | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Exc | 147,42 | 19,87 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 146,24 | 347,45 | 367,05 | 358,65 | 1386,68 |
| ETP: Evapotranspiración Potencial corregida (mm) | | | | | | | | | | | | | |
| P: Precipitación multianual media mensual | | | | | | | | | | | | | |
| R: Reserva máxima disponible, remanente de agua existente en el suelo | | | | | | | | | | | | | |
| ETR: Evapotranspiración Real (mm) | | | | | | | | | | | | | |
| Def.: Déficit de agua | | | | | | | | | | | | | |
| Exc: Exceso de Agua | | | | | | | | | | | | | |

Además se asumió que el año hidrológico empezó en mayo, debido a que al haber cinco meses (julio-noviembre) con precipitaciones menores a la evapotranspiración, es decir secos, y tomado como base el año calendario el excedente del mes de diciembre no se hubiese tomado en cuenta si se asumía que el año hidrológico empezaba en enero.

De la Tabla 3.5 se obtuvo 1649.32 mm de evapotranspiración real, lo que corresponde al 54.3% de la precipitación media mensual, por lo tanto el restante 45.7% estuvo distribuido entre la escorrentía y la percolación.

3.3.3 ESCORRENTÍA SUPERFICIAL

La escorrentía superficial tiene carácter residual de los restantes procesos hidrológicos; está sujeta a una gran cantidad de variables no controladas, por lo que, realmente, la escorrentía superficial carece de una ley fundamental que rijan su comportamiento, así que en su análisis y evaluación es necesario recurrir, en la mayor parte de los casos, a la teoría de sistemas y a la estadística. Los datos de partida se obtienen en las denominadas estaciones de aforos en donde se realizan mediciones de caudales y/o por métodos empíricos (Díaz et al., 2005).

Debido a que en la zona de estudio no existen estaciones hidrológicas cercanas, se procedió al cálculo de la escorrentía mediante un método empírico llamado "*Método de la Curva*".

Método de la Curva

Es un método empírico elaborado por el Servicio de Conservación de Suelos de Estados Unidos. El método está basado en el cálculo de la escorrentía producida por una determinada precipitación en función del parámetro "Número de la curva", que a su vez depende de las condiciones de infiltración de la zona; este parámetro se calcula a partir de una serie de tablas y gráficos, obtenidos en parcelas experimentales con diversidad de condiciones de suelo, vegetación y condiciones de infiltración (González del Tánago, 2006). Este asume una proporcionalidad entre escorrentía y retención de agua en la cuenca, proponiendo la siguiente expresión:

$$\frac{P-Q}{S} = \frac{Q}{P} \quad (3.2)$$

Q: Escorrentía producida (mm).

P: Precipitación (mm).

S: Capacidad de retención de agua máxima (mm).

$$S(mm) = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (3.3)$$

CN: Número de curva de escorrentía

Finalmente conocida la cantidad de lluvia precipitada y la capacidad de retención del agua, la escorrentía generada puede obtenerse de forma gráfica (Figura 3.5) o mediante la siguiente expresión matemática:

$$Q(mm) = \frac{(P - 0.25)^2}{(P + 0.8S)} \quad \text{si } P \geq 0.2S \quad (3.4)$$

$$Q(mm) = 0 \quad \text{si } P < 0.2S$$

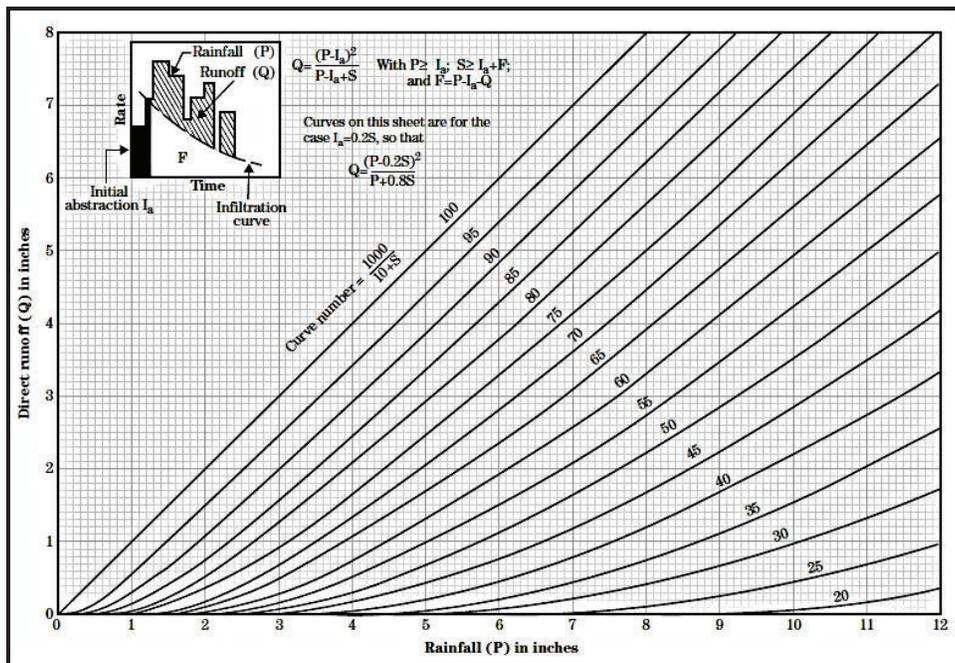


Figura 3.8. Valores de Q (en mm o pulgadas) en función de la cantidad de lluvia precipitada (en mm o pulgadas) y el N° de la curva CN característico de la zona. (United States Department of Agriculture, 2004).

El valor del número de curva (CN) de entrada en la ecuación o en el gráfico se obtiene mediante tablas, las condiciones del terreno contempladas para su obtención son las siguientes:

- Uso de la tierra y cobertura vegetal; implica directamente el nivel de protección del suelo por la cobertura vegetal frente al impacto de las gotas de lluvia.
- Existencia de obras o medidas de conservación; dado un determinado uso de la tierra, la realización o no de prácticas de conservación normalmente es determinante del volumen de escorrentía generado por la lluvia.
- Condiciones hidrológicas para la infiltración; reúne cinco clases (muy pobre, pobre, regular, buena, muy buena) según la tasa de infiltración y el uso de la tierra.
- Permeabilidad del suelo; el suelo es ubicado en una de cuatro clases (A, B, C, D) de permeabilidad de acuerdo a su profundidad y textura.

Estos valores varían entre 1 y 100, siendo mayor cuanto peor sea su situación (Ibáñez et al., 2011); analizando estas condiciones (Anexo 5, Condiciones del Método de la Curva) se estima el número de curva para determinar la escorrentía.

Luego de considerar las condiciones presentes en la zona de estudio, se obtuvo el siguiente resultado: el uso de la tierra y cobertura vegetal corresponde a Pastizales (Pastos naturales) debido a las características generales de la zona; las condiciones hidrológicas para la infiltración es buena, debido a que la cubierta vegetal supera el 75% de la superficie del terreno, y finalmente la permeabilidad del suelo pertenece al grupo A, debido a la textura limo arenosa del suelo superficial (Anexo 5, Condiciones del Método de la Curva). Con estas consideraciones el número de curva fue estimado en 51.

En la Tabla 3.6 se observa el cálculo de la escorrentía a través del método de la curva, tomando en cuenta los siguientes criterios:

- Debido a que este método está orientado para eventos de precipitación y no para una media de precipitación, se analizó la precipitación de cada mes, asumiendo que esto puede hacer que la escorrentía sea sobredimensionada.

- El valor de la capacidad de retención de agua máxima (S) calculado a partir de la ecuación 3.4 fue considerado uniforme en todo el área de estudio.
- Los valores obtenidos de escorrentía fueron calculados a partir de los valores de precipitación media mensual, es decir que al valor de precipitación mensual no se ha restado el valor calculado de evapotranspiración.

Tabla 3.6. Cálculo de la escorrentía por el Método de la curva.

| Mes | Precipitación (mm) | N° de Curva | S (mm) | 0.2 S (mm) | Escorrentía (mm) |
|---|--------------------|-------------|--------|------------|------------------|
| Enero | 450 | 51 | 244,04 | 48,81 | 249,45 |
| Febrero | 479,7 | 51 | 244,04 | 48,81 | 275,09 |
| Marzo | 520,3 | 51 | 244,04 | 48,81 | 310,68 |
| Abril | 501,1 | 51 | 244,04 | 48,81 | 293,78 |
| Mayo | 285,9 | 51 | 244,04 | 48,81 | 116,83 |
| Junio | 143,2 | 51 | 244,04 | 48,81 | 26,33 |
| Julio | 78,3 | 51 | 244,04 | 48,81 | 3,18 |
| Agosto | 57,3 | 51 | 244,04 | 48,81 | 0,29 |
| Septiembre | 91,1 | 51 | 244,04 | 48,81 | 6,25 |
| Octubre | 106,5 | 51 | 244,04 | 48,81 | 11,03 |
| Noviembre | 103,5 | 51 | 244,04 | 48,81 | 10,01 |
| Diciembre | 219,1 | 51 | 244,04 | 48,81 | 69,99 |
| Anual | 3036 | | | | 1372,92 |
| S(mm): Capacidad de retención de agua máxima | | | | | |
| 0.2S, Factor calculado para la ecuación (3.4) | | | | | |

Como se observó este es un método práctico, cuyo uso se ha estandarizado en lugares donde no hay datos de aforos para el cálculo de escorrentía, pero en sus resultados tiende a sobreestimar el volumen de escorrentía al ser muy sensible al parámetro “número de curva”; las tablas empíricas para asignar el número de curva a cada situación no han sido suficientemente contrastadas fuera de Estados Unidos, donde la historia de uso de suelo puede tener una gran influencia sobre la formación de escorrentía (González del Tánago, 2006). Sin embargo, últimamente el método ha sido altamente utilizado en todo el mundo ya que se adapta muy bien en las zonas en que se ha aplicado, razón por la cual a nivel local se asume

que fue correctamente utilizado y mostró una idea bastante congruente con la realidad.

3.4 BALANCE HÍDRICO

El balance hídrico se basa en la aplicación del principio de conservación de masas, también conocido como ecuación de la continuidad.

En general, las entradas en la ecuación del balance hídrico comprenden la precipitación; mientras que las salidas incluyen la evapotranspiración, la escorrentía y la infiltración.

La expresión general del balance hídrico es la siguiente:

$$P = R + ETR + I \quad (3.5)$$

P= Precipitación (mm)

R= Escorrentía superficial (mm)

ETR= Evapotranspiración Real (mm)

I= Infiltración (mm)

Para realizar el balance hídrico de la zona de estudio, se calculó el volumen de agua que se infiltra a partir del volumen calculado de escorrentía a través del método de la curva (Tabla 3.7).

Tabla 3.7. Parámetros hidrológicos calculados para la zona de estudio.

| | Precipitación media multianual | Escorrentía Superficial multianual | Evapotranspiración Real multianual | Infiltración multianual |
|-----------|---|---|---|------------------------------------|
| mm | 3036 | 1372,92 | 1649,32 | 13,76 |
| % | 100 | 45,2 | 54,3 | 0,5 |

Los resultados obtenidos en la Tabla 3.7 fueron asumidos como una aproximación a los valores reales que se hubiese podido generar con mayor información de la zona, debido a que tanto la evapotranspiración como la escorrentía fueron obtenidas a través de métodos empíricos con las limitaciones que esto implica, por tanto el valor obtenido de infiltración es aproximado.

Para determinar el caudal de recarga directa que produce el sistema acuífero local, se utilizó el porcentaje de infiltración presentado en la Tabla 3.7 y el área de la zona de estudio mencionada en la introducción del capítulo (0.26 km²).

La Tabla 3.8 muestra los valores de recarga que produce el sistema mediante el cálculo del balance hídrico.

Tabla 3.8. Balance hídrico para el sistema acuífero local.

| | |
|---------------------------------------|-------------------------------|
| Porcentaje de infiltración (%) | 0,5 |
| Área (km²) | 0,26 |
| Infiltración neta (mm) | 13,76 |
| Precipitación media anual (mm) | 3036 |
| Recarga | 3 577.6 (m ³ /año) |
| | 9.8 (m ³ /día) |
| | 9 801.6 (l/día) |
| | 0.11 (l/s) |

Los caudales de descarga tanto en el río Cucaracha y varios esteros en la zona de estudio, junto con varios pozos artesanales ubicados en la zona no fueron tomados en cuenta debido a que los caudales de descarga de estos pozos no son representativos ni están operativos desde el 2010, esto implica que la cota de agua de los pozos es representativa del acuífero.

CAPÍTULO 4

HIDROGEOLOGÍA

Para estudiar las características hidrogeológicas del acuífero en estudio, se adoptó el siguiente procedimiento:

- Recopilación bibliográfica.
- Ubicación y límites del acuífero regional.
- Diseño del mapa piezométrico.
- Descripción de unidades hidrogeológicas.
- Cálculo de la velocidad del agua.
- Modelo conceptual.

Los estudios realizados por parte de HGE y EP PETROECUADOR, reportaron que en la zona existe un total de cincuenta y tres pozos, cuarenta y cinco de estos fueron construidos por HGE el 2011 y 2014, mientras que los restantes ocho pozos fueron construidos por la comunidad en los últimos 20 años. El total de los pozos está distribuido de la siguiente manera:

- Diecinueve de monitoreo.
- Diecisiete de exploración.
- Nueve de remediación.
- Ocho artesanales.

Para el desarrollo de este capítulo se utilizó únicamente la información de treinta pozos repartidos de la siguiente manera: diecinueve de monitoreo, nueve de remediación y dos artesanales.

Los restantes veinte y tres pozos (diecisiete de exploración y seis artesanales) no fueron considerados ya que durante el inventario de puntos de agua se identificó que por su deterioro fueron clausurados definitivamente o no tenían las condiciones para la medición del nivel estático.

Para validar la información descrita en los informes presentados se verificó y actualizó la información de los pozos mediante campañas de monitoreo realizadas en invierno y verano (Anexo 6), además se realizó la supervisión y asistencia en la construcción de los pozos de remediación en el 2014.

4.1 UBICACIÓN Y LÍMITES DEL ACUÍFERO

En 1983 el INAMHI y la DGGM, a partir de la compilación de aproximadamente 5000 puntos de agua inventariados, formuló y definió las “Unidades Hidrogeológicas del Ecuador”, estas se dividen en dos: Unidades Hidrogeológicas Región Sierra y Región Costa.

Las Unidades Hidrogeológicas Región Costa se dividen en nueve subunidades: Cabo San Lorenzo, Esmeraldas, Chone-Calceta, Portoviejo, Guayas, Machala, Santa Elena, Cojimés y La Concordia.

La Subunidad La Concordia está ubicada en las provincias de Pichincha, Santo Domingo de los Tsáchilas, Esmeraldas y Manabí. Geomorfológicamente se caracteriza por un relieve relativamente plano al este y fuertes pendientes hacia el oeste, correspondiente a una llanura de pie de monte de la zona costera. La altitud del terreno varía entre los 1600 y 100 msnm, correspondiendo la parte más alta a los sectores de Mindo y la parte más baja a Quinindé. La subunidad tiene forma irregular trapezoidal con una superficie de aproximadamente 5 386 km². El sistema hidrográfico de la subunidad se concentra en dos grandes cursos fluviales: los ríos Guayllabamba y Blanco (Figura 4.1) (INAMHI, 2015).

El basamento cretácico de la subunidad está representado por la Formación Macuchi; mientras que la cobertura sedimentaria es el resultado de la depositación de rocas de origen marino (Formación Borbón y Onzole) durante el terciario superior. Sobre esta secuencia terciaria se depositaron sedimentos de origen continental durante el pleistoceno (Formación San Tadeo y Balzar), relacionados a la actividad volcánica y transporte de sedimentos provenientes de la de la Cordillera Occidental (Figura 4.1).

Los depósitos cuaternarios que conforman las terrazas de los ríos Guayllabamba y Blanco, y los depósitos aluviales localizados en el centro de la subunidad, dan lugar a acuíferos provenientes de la Formación San Tadeo, estos pueden ser confinados y libres con permeabilidad alta a media ($10^2 - 10^{-1}$ m/día). Las formaciones terciarias están caracterizadas por tener permeabilidad media a baja ($10^{-1} - 10^{-3}$ m/día), por lo que no representan acuíferos de interés económico (INAMHI, 2015). En la Figura 4.1 se observa las formaciones geológicas que conforman la subunidad hidrogeológica La Concordia.

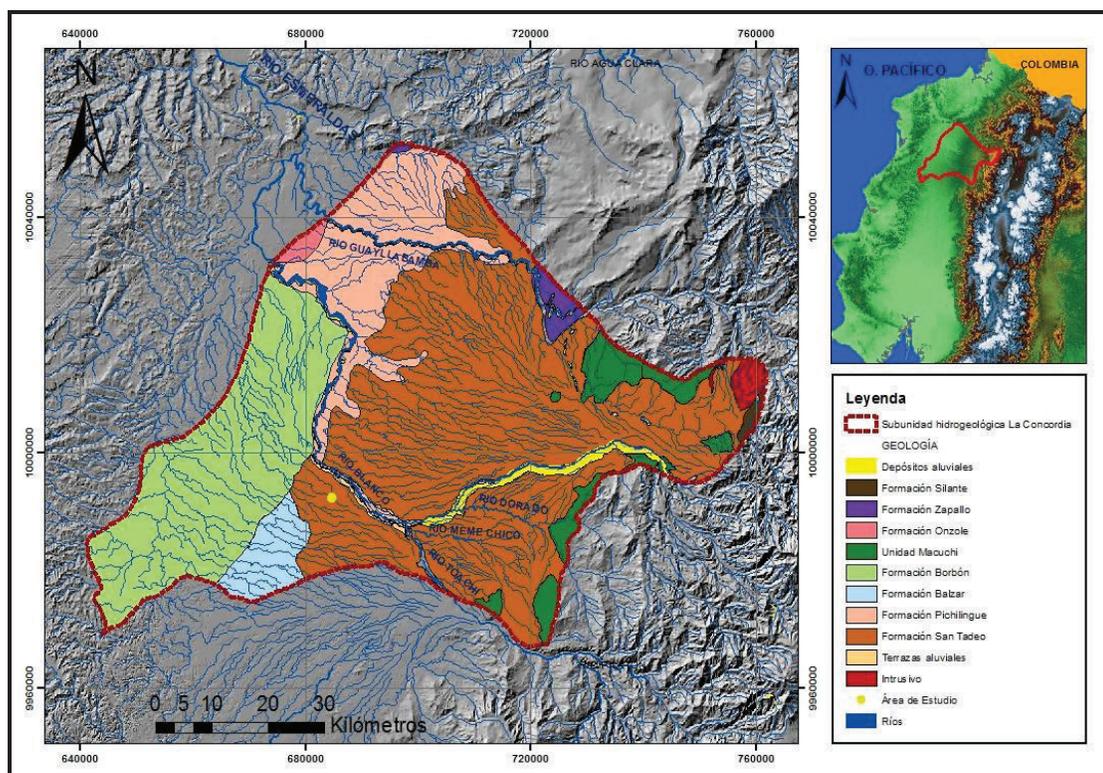


Figura 4.1. Mapa de la subunidad hidrogeológica La Concordia.
(Modificado de INAMHI-DGGM, 1983).

El acuífero regional en estudio se ubica al norte de la ciudad de Santo Domingo y está limitado al este por la margen izquierda del río Toachi, al oeste por las Formaciones Balzar y Borbón, al norte por la margen izquierda del río Blanco y al sur por la divisoria de aguas de las cuencas de los ríos Esmeraldas y Guayas, donde precisamente coincide el límite entre las subunidades hidrogeológicas La Concordia y Guayas. Su extensión es de aproximadamente 279 km² (Figura 4.2).

Geomorfológicamente corresponde en parte, al norte del abanico medio y distal del abanico aluvial de Santo Domingo (Figura 4.2), se caracteriza por presentar un relieve relativamente horizontal hacia el oeste (planicie costera conformada por terrazas y depósitos aluviales) y una zona de montaña hacia el este con relieves que varían entre los 600 y 200 msnm. La red hidrográfica del acuífero está formada por un gran número de ríos y esteros, los ríos Toachi y Blanco constituyen el sistema hidrográfico más importante.

La alimentación de este acuífero está constituida por la infiltración de las aguas meteóricas que se generan en las partes altas de los flancos occidentales de la Cordillera Occidental, así como por efecto de la acción natural de recarga de los principales drenajes (Río Toachi).

La circulación del agua y la dirección del flujo subterráneo se ven favorecidos por la topografía y la dirección sureste -noroeste del acuífero; esta zona a pesar de ser un acuífero libre y de gran extensión se la puede considerar como área de recarga en los acuíferos locales ubicados en las partes bajas del abanico aluvial (Figura 4.2).

Hidrogeológicamente el acuífero está conformado por sedimentos clásticos consolidados y no consolidados de edad cuaternaria, estos se caracterizan por poseer porosidad primaria con permeabilidad media (10^{-1} m/día). Litológicamente los sedimentos corresponden a productos laharíticos, material piroclástico y flujos de lodo. A partir del resumen del inventario de 151 pozos de captación de agua subterránea en la subunidad hidrogeológica La Concordia (Figura 4.2), se determinó que el nivel estático promedio en los pozos varía de 8 a 10 m (Tabla 4.1) (INAMHI, 2015; Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos de América, 1998).

Tabla 4.1. Cuadro resumen de inventario de puntos de agua en la subunidad hidrogeológica La Concordia. Modificado de INAMHI (2015).

| Valores | Nivel Estático (m) | Ph | T(°C) |
|---------|--------------------|-----|-------|
| Medio | 8.1 | 6.0 | 23.3 |
| Máximo | 21.2 | 6.5 | 26.1 |
| Mínimo | 0.1 | 5.5 | 15 |

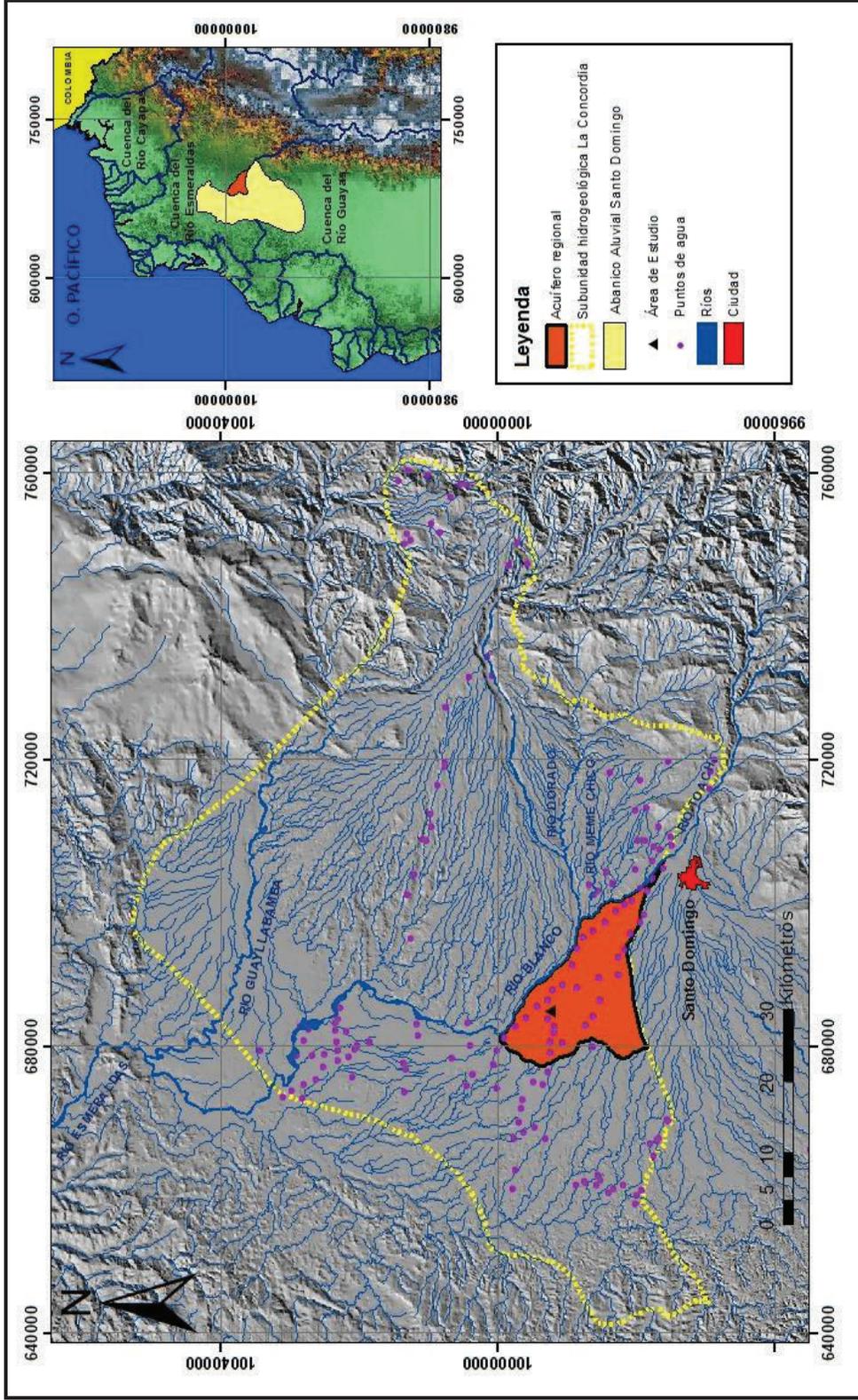


Figura 4.2. Mapa de ubicación del acuífero regional al norte de Santo Domingo.

4.2 ACUÍFERO LOCAL

El área de estudio (0.26 km²), corresponde a menos del 0,1 % del acuífero regional, por esta razón el tamaño de la zona se convirtió en una limitante ya que se obtuvo datos únicamente del acuífero local y no suficiente información que permita caracterizar adecuadamente el acuífero regional.

Con base en la geología local descrita en el segundo capítulo, se pudo definir dos zonas: la zona vadosa conformada por las secuencias S1 y S2, y la zona saturada conformada por las secuencias S3 y S4. La zona vadosa está constituida por limos arenosos, arcillas limosas y limos arcillosos, tiene un espesor promedio de 10 m. La zona saturada está constituida por limos arenosos, arenas limosas, areniscas y esporádicos lentes de conglomerados, su espesor no está definido debido a que las perforaciones no permitieron identificar su base, sin embargo el espesor de esta zona fue calculado mediante los perfiles de tomografía eléctrica, en los que se estima que el espesor promedio es de aproximadamente 20 m.

De acuerdo a las características litológicas descritas en la zona y debido a que el acuífero está en contacto con los cuerpos de agua superficiales ubicados en las partes bajas de la zona de estudio, se determinó que se trata de un acuífero libre.

La zona de recarga está conformada exclusivamente por la recarga regional ubicada al sureste de la zona de estudio en la cota 287 msnm y en menor porcentaje por la infiltración directa procedente de las precipitaciones; Las zonas de descarga se encuentran en dirección oeste, suroeste y noroeste (río Cucaracha y cuerpos de agua superficiales).

4.2.1 DISEÑO DEL MAPA PIEZOMÉTRICO

Para construir el mapa piezométrico se utilizó la información de treinta pozos, además se consideraron cuatro puntos que representan la cota de los principales cuerpos superficiales de agua, con el fin de reconocer su relación hidráulica con el acuífero.

La Tabla 4.2 muestra el resumen del inventario de pozos, este consta de coordenadas, profundidad, zona de filtros, nivel estático, carga hidráulica y geología de cada pozo/punto.

Para determinar la carga hidráulica en cada pozo y construir las líneas equipotenciales que definen la superficie piezométrica, se restó la cota topográfica del pozo menos el nivel estático medido en campo.

El trazado de las líneas equipotenciales se realizó mediante la interpolación de la carga hidráulica, seleccionando los pozos cuyas cribas (filtros) estén en el mismo nivel acuífero. La interpolación se efectuó mediante el método de triangulación.

Luego de trazar las líneas equipotenciales a una escala adecuada (cada 2 m.), que permita definir la superficie piezométrica, se trazaron las líneas de flujo a 90° de las líneas equipotenciales para determinar la dirección del flujo subterráneo.

En la Figura 4.3 se observa que los pozos están distribuidos aleatoriamente y se concentran en la parte central de la zona. En consecuencia, la escasez de datos y la mala distribución de los pozos provocaron que las líneas equipotenciales se concentren en la parte central y que la información obtenida en el mapa piezométrico esté incompleta hacia el norte de la zona, siendo indispensable la construcción de pozos en una malla regular que permita complementar la información generada.

En el mapa piezométrico se observa que las líneas equipotenciales tienen forma cóncava en la parte central y se caracterizan por tener la mayor carga hidráulica (Pozo PM-17) hacia el sureste, esto se debe a la recarga en esa dirección del acuífero regional. Esta zona es de suma importancia porque permite que la dirección del flujo subterráneo se distribuya tanto hacia el noreste como hacia el suroeste. Hacia el noreste se observa que las líneas equipotenciales son paralelas y que la carga hidráulica disminuye hacia el estero en esa dirección. Hacia el oeste se observa que las líneas equipotenciales son paralelas y la carga hidráulica disminuye en dirección del río Cucaracha. Esta zona se caracteriza por tener la menor carga hidráulica (Pozo PM-1).

Tabla 4.2. Resumen del inventario de pozos utilizados en la zona de estudio (Promedio).

| POZO/PUNTO | Profundidad (m) | Filtros | | Cota (msnm) | Nivel estático (m) | Carga Hidráulica (msnm) | Geología |
|------------|-----------------|-----------|-----------|-------------|--------------------|-------------------------|---|
| | | Desde (m) | Hasta (m) | | | | |
| PE-1 | 18.0 | 11.7 | 17.5 | 274.4 | 10.0 | 264.4 | S1:0.0-0.7(m); S2:0.7-7.2(m); S3:7.2-13.7(m); S4:13.7-? |
| PE-2 | 18.6 | 11.1 | 18.1 | 273.1 | 9.0 | 264.1 | S1:0.0-0.7(m); S2:0.7-6.8(m); S3:6.8-13.5(m); S4:13.5-? |
| PE-3 | 18.2 | 14.6 | 17.2 | 278.6 | 9.5 | 269.1 | S1:0.0-2.9(m); S2:2.9-10.9(m); S3:10.9-17.8(m); S4:17.8-? |
| MPE-1 | 22.6 | 11.0 | 19.6 | 277.7 | 10.3 | 267.4 | S1:0.0-2.3(m); S2:2.3-9.8(m); S3:9.8-16.4(m); S4:16.4-? |
| PI-1 | 24.1 | 17.3 | 23.1 | 279.7 | 9.3 | 270.4 | S1:0.0-4.1(m); S2:4.1-11.6(m); S3:11.6-19.0(m); S4:19.0-? |
| PV-1 | 17.7 | 10.5 | 17.1 | 277.0 | 12.9 | 264.1 | S1:0.0-1.8(m); S2:1.8-9.1(m); S3:9.1-15.8(m); S4:15.8-? |
| PV-2 | 17.0 | 9.1 | 15.4 | 276.1 | 9.6 | 266.5 | S1:0.0-2.1(m); S2:2.1-9.6(m); S3:9.6-16.8(m); S4:16.8-? |
| PV-3 | 17.2 | 12.4 | 16.7 | 278.1 | 9.6 | 268.5 | S1:0.0-2.3(m); S2:2.3-10.1(m); S3:10.1-17.2(m); S4:17.2-? |
| PV-4 | 15.8 | 12.4 | 15.4 | 275.3 | 10.5 | 264.8 | S1:0.0-0.9(m); S2:0.9-7.8(m); S3:7.8-? |
| PM 1 | 4.4 | 1.2 | 4.2 | 255.0 | 2.9 | 252.1 | S1:0.0-0.3(m); S4:0.3-? |
| PM 2 | 6.9 | 4.7 | 6.6 | 257.6 | 4.5 | 253.1 | S1:0.0-0.3(m); S4:0.3-? |
| PM 3 | 5.3 | 2.1 | 5.1 | 258.0 | 2.2 | 255.8 | S1:0.0-0.4(m); S4:0.4-? |
| PM 4 | 10.5 | 6.5 | 10.4 | 262.5 | 7.1 | 255.4 | S1:0.0-0.4(m); S3:0.4-2.3(m); S4:2.3-? |
| PM 5 | 6.0 | 2.8 | 5.8 | 261.8 | 3.4 | 258.4 | S1:0.0-0.5(m); S3:0.5-2.1(m); S4:2.1-? |
| PM 8 | 13.4 | 6.4 | 13.2 | 267.9 | 6.8 | 261.1 | S1:0.0-0.3(m); S2:0.3-0.9(m); S3:0.9-7.1(m); S4:7.1-? |
| PM 6 | 4.3 | 1.1 | 4.1 | 255.6 | 1.2 | 254.4 | S1:0.0-0.4(m); S4:0.4-? |

Tabla 4.2. Resumen del inventario de pozos utilizados en la zona de estudio (Promedio). (Continuación).

| POZO | Profundidad (m) | Filtros | | Cota (msnm) | Nivel estático (m) | Carga Hidráulica (msnm) | Geología |
|-------|-----------------|-----------|-----------|-------------|--------------------|-------------------------|---|
| | | Desde (m) | Hasta (m) | | | | |
| PM 7 | 5.6 | 2.5 | 5.4 | 255.4 | 1.2 | 254.2 | S1:0.0-0.4(m); S4:0.4-? |
| PM 9 | 6.0 | 2.8 | 5.7 | 258.7 | 2.1 | 256.6 | S1:0.0-0.5(m); S4:0.5-? |
| PM 10 | 6.0 | 2.8 | 5.7 | 260.4 | 3.1 | 257.3 | S1:0.0-0.3(m); S3:0.3-0.9(m); S4:0.9-? |
| PM11 | 5.9 | 2.8 | 5.6 | 257.9 | 0.8 | 257.1 | S1:0.0-0.4(m); S4:0.4-? |
| PM12 | 15.8 | 7.3 | 15.2 | 275.6 | 9.2 | 266.4 | S1:0.0-1.2(m); S2:1.2-9.1(m); S3:9.1-15.6(m); S4:15.6-? |
| PM18 | 7.1 | 2.8 | 6.7 | 260.8 | 0.7 | 260.1 | S1:0.0-0.4(m); S4:0.4-? |
| PM19 | 8.9 | 5.6 | 8.5 | 261.0 | 6.9 | 254.1 | S1:0.0-0.4(m); S3:0.4-1.2(m); S4:1.2-? |
| PM13 | 7.0 | 2.8 | 6.6 | 257.6 | 3.8 | 253.8 | S1:0.0-0.4(m); S4:0.4-? |
| PM14 | 17.1 | 9.9 | 16.8 | 277.5 | 16.1 | 261.4 | S1:0.0-2.2(m); S2:2.2-9.4(m); S3:9.4-16.9(m); S4:16.9-? |
| PM15 | 8.2 | 4.7 | 7.6 | 262.7 | 5.7 | 257.0 | S1:0.0-0.4(m); S3:0.4-2.2(m); S4:2.2-? |
| PM16 | 7.6 | 2.1 | 7.5 | 265.4 | 3.3 | 262.1 | S1:0.0-0.3(m); S3:0.3-0.8(m); S4:3.8-? |
| PM17 | 14.0 | 10.9 | 13.8 | 284.4 | 10.9 | 273.5 | S1:0.0-6.1(m); S2:6.1-12.2(m); S3:12.2-? |
| PB1 | 13.9 | ----- | ----- | 280.7 | 12.7 | 268.0 | ----- |
| PB2 | 15.2 | ----- | ----- | 274.7 | 10.2 | 264.5 | ----- |
| A | | | | 260 | | | |
| B | | | | 258 | | | |
| C | | | | 253 | | | |
| D | | | | 252 | | | |

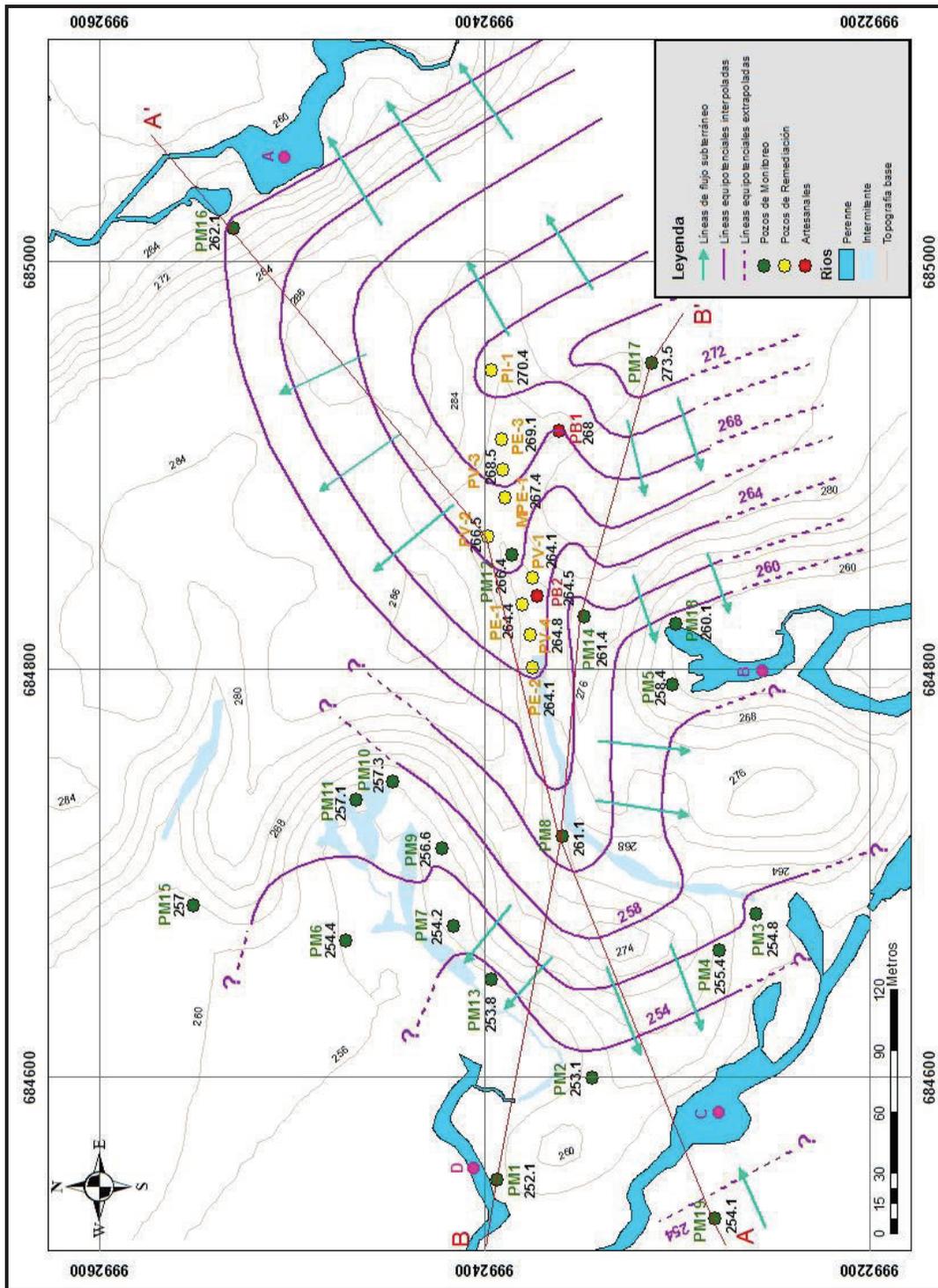


Figura 4.3. Mapa piezométrico de la zona de estudio.

En la zona donde se concentran los pozos de remediación se observa que las líneas equipotenciales muestran una curvatura influenciada posiblemente por el bombeo de fases líquidas que se realizó en esa zona.

A unos metros de la margen izquierda del río Cucaracha, en el pozo PM-19, se observa que pese a tener solo un dato de carga hidráulica, esta disminuye con dirección hacia el río. Sin embargo el contar con un solo dato permite trazar líneas equipotenciales inferidas.

La dirección del flujo de agua subterránea de la zona en estudio se caracteriza por marcar diferentes direcciones de flujo en la parte occidental como en la parte oriental las líneas equipotenciales marcan diferentes direcciones, sin embargo en la zona central existe una recarga lateral regional para el área que viene del mismo acuífero y que en conjunto dan una dirección de flujo general de dirección SE hacia el NW (Figura 4.3).

4.2.2 UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS

En la zona de estudio se han reconocido tres unidades hidrogeológicas. Cada unidad fue definida de acuerdo a la litología, resistividades y características hidráulicas.

La litología y los rangos de resistividades fueron descritas en el segundo capítulo. Las características hidráulicas se determinaron a partir de "*Pruebas Slug*", para lo cual fue necesario conocer algunas condiciones como: la distribución espacial de los pozos, profundidad, zona de filtros y las características del diseño de los pozos de monitoreo.

Las "*Pruebas Slug*" consisten en un rápido cambio en la posición del nivel estático en el sondeo a ensayar. Se miden las recuperaciones de nivel para diferentes tiempos hasta llegar nuevamente a las condiciones estáticas iniciales, con lo cual se puede estimar la conductividad hidráulica horizontal del material en torno al sondeo. La homogeneidad y espesor constante del acuífero son hipótesis que se adoptan para el entorno del sondeo ensayado (HGE, 2014).

Para identificar la conductividad hidráulica (K) del acuífero local, se realizaron medidas puntuales en los pozos de monitoreo PM-1, PM-3, PM-5, PM-7, PM-8, PM-10, PM-15, PM-16, PM-17 y PM-19; los pozos fueron elegidos según la capacidad de recuperación observada mientras se realizó la campaña de toma de niveles. Las “*Pruebas Slug*” fueron realizadas por HGE, información que fue tomada en cuenta para la determinación de la conductividad hidráulica.

La Tabla 4.3 muestra los parámetros hidrogeológicos resultantes de las “*Pruebas Slug*”, estos fueron determinados a través del programa computacional AquiferTest de Schlumberger Water Services mediante el método de Bouwer & Rice que se aplica para la estimación de la conductividad hidráulica (K) en acuíferos libres. Los resultados de las “*Pruebas Slug*” se encuentran en el Anexo 7 (Pruebas Slug).

Tabla 4.3. *Parámetros hidrogeológicos tomados a partir de las “Pruebas Slug”.*
(HGE, 2014).

| Pozo | Espesor estimado del acuífero en el pozo (m) | Conductividad hidráulica | Litología de acuífero |
|-------|--|--------------------------|-----------------------|
| | | K (m/día) | |
| PM-1 | 3 | 6.94×10^{-1} | Arena Limosa |
| PM-3 | 2 | 3.40×10^{-2} | Arena Limosa |
| PM-5 | 1.5 | 3.11×10^{-1} | Arena limosa |
| PM-7 | 1.5 | 2.14×10^{-2} | Arena Limosa |
| PM-8 | 8.5 | 1.01×10^{-1} | Arena Limosa |
| PM-10 | 2.5 | 1.07×10^{-1} | Arena Limosa |
| PM-15 | 3.5 | 2.77×10^{-1} | Arena Limosa |
| PM-16 | 1.5 | 4.06×10^{-2} | Arena Limosa |
| PM-17 | 9.5 | 4.17×10^{-3} | Limo arcilloso |
| PM-19 | 3.5 | 1.9×10^{-1} | Arena Limosa |

Los resultados de las “*Pruebas Slug*” fueron comparados con datos bibliográficos para corroborar su validez y definirlos en cada unidad hidrogeológica. Las unidades hidrogeológicas se han descrito considerando la unidad más superficial hasta la unidad más profunda que constituiría el basamento del acuífero.

Unidad A

Litológicamente esta unidad corresponde a la zona no saturada y al suelo donde se desarrolla la vegetación y la actividad agrícola. Está constituida por limos arenosos de color café oscuro, limos arcillosos color marrón claro y arcillas

limosas color marrón amarillento (Secuencias 1 y 2). De acuerdo a los registros litológicos de perforación y en base a los perfiles de tomografía eléctrica, se determinó que el espesor promedio de esta unidad es de 10 m., sin embargo en la parte central la secuencia S1 aumenta considerablemente de espesor (16 m.).

La permeabilidad determinada a partir del tipo de litología en registros bibliográficos fue estimada $1 \cdot 10^{-3}$ (m/día) (Freeze y Cherry, 1979). En la Tabla 4.3 se observa que la permeabilidad en el pozo PM-17 es del orden $1 \cdot 10^{-3}$ y que corresponde al establecido por la bibliografía.

Unidad B

Esta unidad está poco expuesta en la zona. Litológicamente corresponde a la zona saturada. Está constituida por limos arenosos color café, arenas limosas, areniscas de grano medio a grueso color marrón amarillento y esporádicos lentes de conglomerados (Secuencias 3 y 4). Debido a que las perforaciones realizadas en la zona no determinaron la base de esta unidad, el espesor de la misma fue determinado a partir de los perfiles de tomografía eléctrica y se estima varía entre 18 y 22 m.

La permeabilidad determinada a partir del tipo de litología en registros bibliográficos fue estimada en $1 \cdot 10^{-1}$ (m/día) (Freeze y Cherry, 1979). En la Tabla 4.3 se observa que la permeabilidad en todos los pozos excepto PM-17 varía de 10^{-2} a 10^{-1} (m/día). y que el promedio es de $1.9 \cdot 10^{-1}$ y que corresponde al establecido por la bibliografía; por lo tanto se decidió trabajar con este valor para el cálculo de la velocidad del agua.

Unidad C

Debido a que la unidad no está expuesta en el sitio, el techo fue determinado mediante el análisis de los perfiles de tomografía eléctrica, y se estima se encuentra a una profundidad que varía de 30 a 40 m. Los rangos de resistividad, indican la existencia de sedimentos con granulometría muy fina (rangos de resistividad altos), constituidas posiblemente por arcillolitas y limos arcillosos muy similares a los descritas en la secuencia 2.

Como no existen pruebas de campo en esta unidad, la permeabilidad fue determinada a partir del tipo de litología que se presume constituye esta unidad y se estima en 10^{-5} (m/día) (Freeze y Cherry, 1979).

4.2.3 SECCIONES HIDROGEOLÓGICAS

En la Tabla 4.2 se observa que en cada pozo se describe la litología con el fin de elaborar dos secciones hidrogeológicas propuestas en la Figura 4.3. Las secciones hidrogeológicas permitieron reconocer las zonas de recarga y descarga e indicar las relaciones hidráulicas entre los ríos y el acuífero.

En la Figura 4.4 se observa que la sección tiene una dirección SW-NE, esta permite conocer el comportamiento del agua subterránea de oeste a este. Se puede destacar que las líneas equipotenciales en la zona de recarga permiten generar líneas de flujo con dirección hacia el SW y hacia el NE, convirtiéndose la parte central en punto crítico donde el agua subterránea viaja en dos direcciones.

En la Figura 4.5 se observa que la dirección de la sección es SE-W, esta permite conocer el comportamiento del agua subterránea en el suroeste de la zona de estudio. La sección incluye los pozos donde existe la mayor y menor carga hidráulica (PM-17 y PM-1 respectivamente). Se puede destacar que las líneas equipotenciales en la zona de recarga permiten generar líneas de flujo con dirección hacia el oeste.

En cuanto a la relación hidráulica que existe entre el río y el acuífero, se puede observar que la relación está controlada por las líneas equipotenciales, el nivel del agua en el río y la dirección del flujo de agua subterránea. De esta manera se concluye que en las zonas de descarga existe un sistema de tipo efluente, es decir el acuífero aporta caudal al río Cucaracha hacia el oeste y suroeste y a un cuerpo de agua superficial ubicado al noreste de la zona de estudio (Figura 4.4 y 4.5).

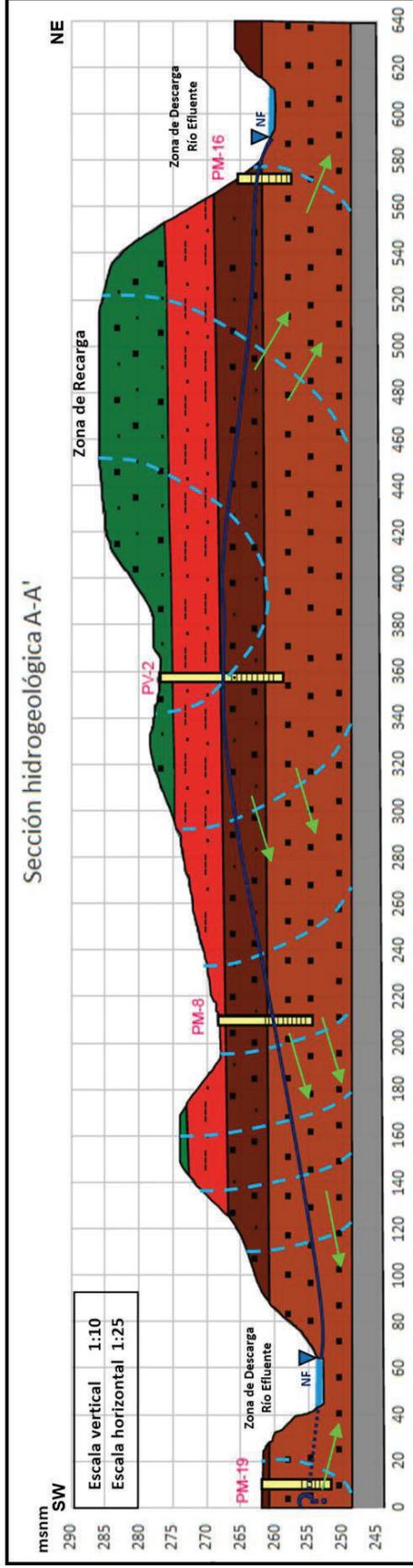


Figura 4.4. Sección hidrogeológica A-A'.

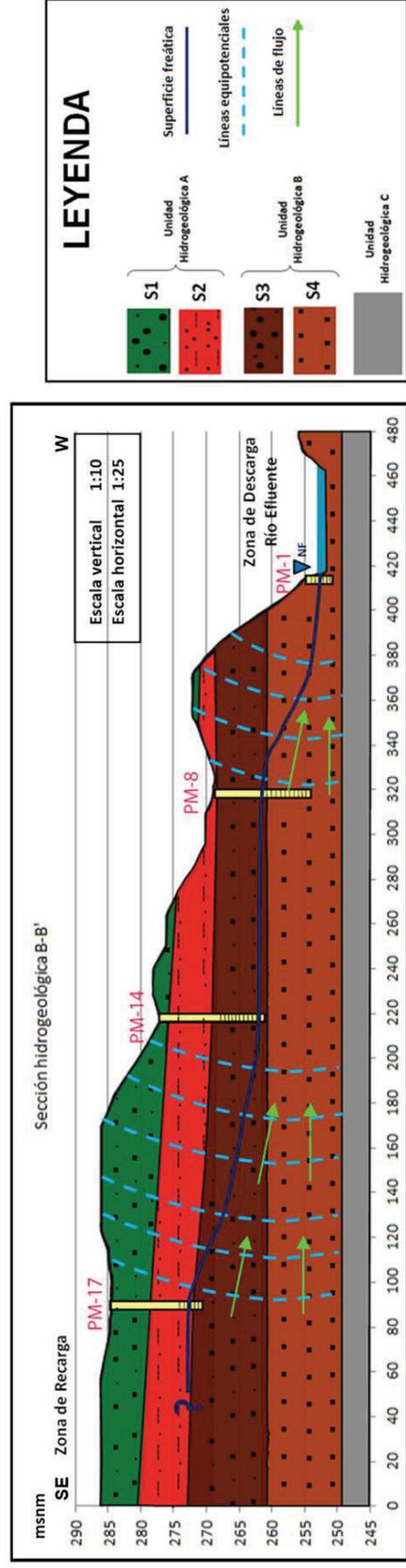


Figura 4.5. Sección hidrogeológica B-B'.

4.2.4 VELOCIDAD MEDIA DEL FLUJO DE AGUA SUBTERRÁNEA

La ley de Darcy proporciona una estimación de la velocidad del agua subterránea (descarga específica), esta corresponde al caudal que circula a través del medio poroso permeable dividido por el área total expuesta o perpendicular al escurrimiento (Feitosa et al., 2008).

$$\dots\dots\dots q = \frac{Q}{A} \dots\dots\dots(4.1)$$

Donde,

q = flujo (L/T)

A = Área de la muestra (L²)

Q = caudal (L³/T)

De la ecuación 4.1 se reemplaza el área por el cálculo del gradiente hidráulico y se obtiene la ecuación 4.2.

$$q = K \frac{\Delta h}{\Delta L} \quad (4.2)$$

K = conductividad hidráulica (L/T)

Δh = diferencia de carga hidráulica (h_1-h_2) (L)

ΔL = longitud entre dos piezómetros

La velocidad real del agua a través de los poros del acuífero es la que corresponde al paso del agua por un área de escurrimiento dada por la porosidad del material, esta se calcula a partir de la ecuación 4.3

$$\dots\dots\dots Vr = \frac{q}{n_{ef}} \dots\dots\dots(4.3)$$

Donde,

Vr = *velocidad real*

n_{ef} = *porosidad efectiva* (L³/L³)

Para calcular la velocidad del flujo en la Unidad hidrogeológica B se utilizaron los valores que se presentan en la Tabla 4.4.

Tabla 4.4. Características hidráulicas de las unidades hidrogeológicas.

| Características Hidráulicas | | |
|-----------------------------|-----------------------|--------------------|
| Unidad Hidrogeológica | Permeabilidad (m/día) | Porosidad efectiva |
| A | $1 \cdot 10^{-3}$ | 0.1 |
| B | $1.9 \cdot 10^{-1}$ | 0.3 |
| C | $1 \cdot 10^{-5}$ | ----- |

Finalmente se aplicó la ecuación 4.3 considerando que al existir diferentes direcciones del flujo de agua, el gradiente hidráulico promedio en la zona es aproximadamente 0.05. La velocidad media del flujo fue estimada en 12.1 m/año.

$$Q = K \frac{\Delta h}{\Delta L} * A \dots\dots\dots(4.4)$$

Para calcular el caudal de descarga de la unidad hidrogeológica B para el río Cucaracha y al cuerpo superficial ubicado al noreste se debe aplicar la ecuación 4.4, considerando que la cota del río corresponde al punto A y D que se muestra en la Tabla 4.2, además que el área fue estimada mediante el levantamiento topográfico.

Tabla 4.5. Cálculo del caudal de descarga a los ríos.

| Ríos | Área (m ²) | Distancia al río (m) | Caudal de descarga (lt/s) |
|--------------------|------------------------|----------------------|---------------------------|
| Río Cucaracha | 384 | 217.5 | 0.016 |
| Cuerpo superficial | 122 | 408.5 | 0.04 |

En la Tabla 4.5 se muestra el caudal de descarga a los ríos presentes en la zona de estudio.

4.3 MODELO CONCEPTUAL

El modelo conceptual se planteó a partir del análisis conjunto de la información geológica, geofísica e hidrogeológica, todos ellos parámetros indicadores del comportamiento del flujo subterráneo, fundamentales para que el modelo resultante sea congruente con la pretendida simulación de la naturaleza.

4.3.1 ÁREAS DE RECARGA Y DESCARGA

A la zona de recarga se la dividió en dos: la zona de recarga directa o infiltración directa debido a las infiltraciones procedentes de las precipitaciones y la zona de recarga regional.

La recarga directa calculada en el capítulo 3 (balance hídrico), fue estimada en 13.76 mm/año; mientras que el área de recarga regional está ubicada al sureste de la zona de estudio en la cota 287 msnm y se establece como una carga constante procedente del acuífero regional al que pertenece.

Las zonas de descarga se encuentran hacia el noreste, suroeste y noroeste, constituyen los límites del acuífero y se caracterizan por encontrarse en contacto con cuerpos de agua superficial (rio Cucaracha y esteros) en sistemas efluentes.

En la Figura 4.6 se observa el modelo conceptual hidrogeológico de la zona de estudio.

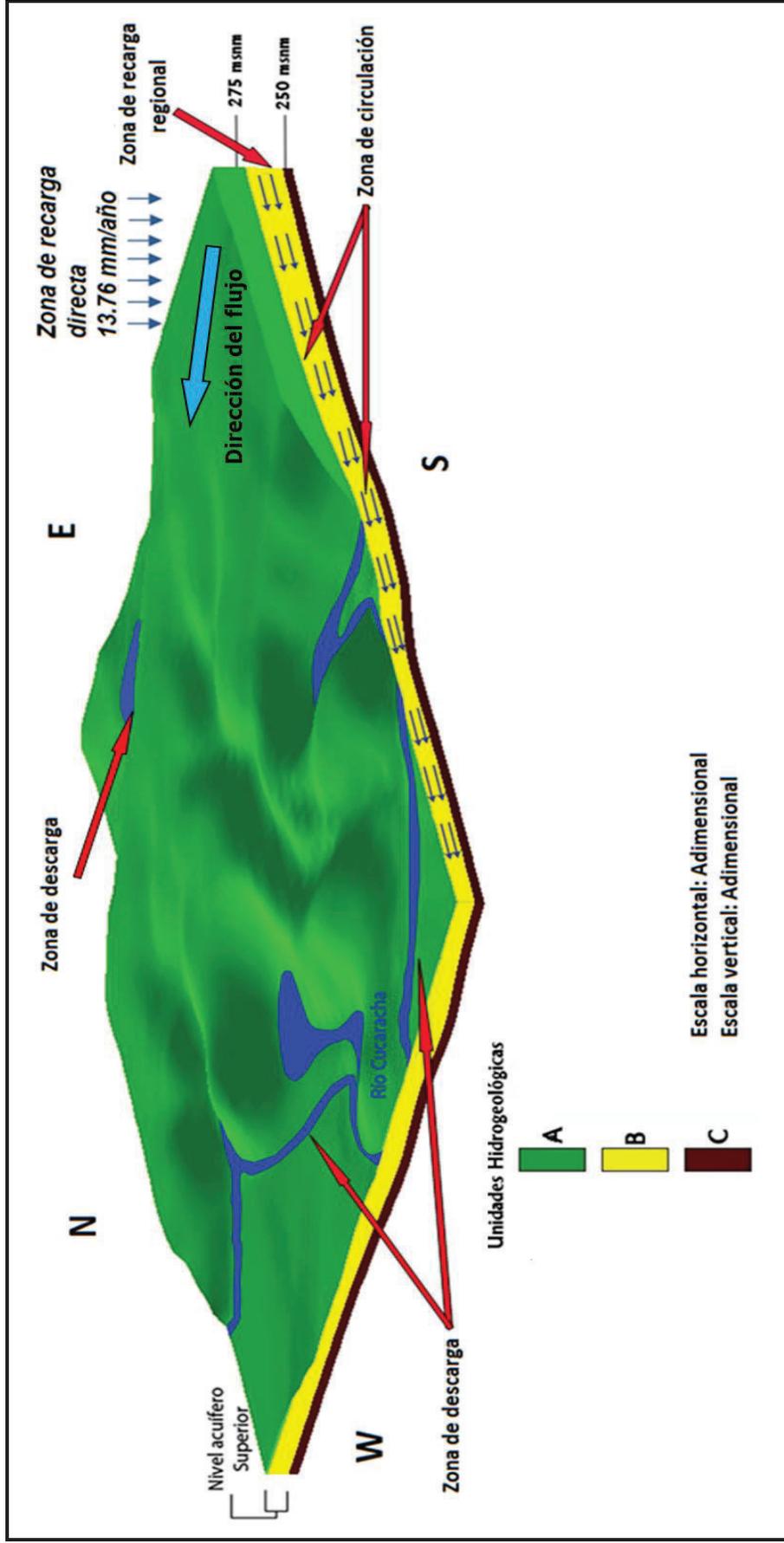


Figura 4.6. Modelo conceptual hidrogeológico.

CAPÍTULO 5

HIDROQUÍMICA

En este capítulo se presenta la descripción hidroquímica del acuífero, para lo cual se aplicó el siguiente procedimiento:

- Levantamiento bibliográfico.
- Análisis de parámetros físicos.
- Análisis de parámetros químicos.
- Descripción hidroquímica del acuífero mediante el análisis de los parámetros químicos representados en el diagrama de Piper.

5.1 BASE DE DATOS DE PARÁMETROS FÍSICOS Y QUÍMICOS

La base de la información para el desarrollo de este capítulo son los análisis efectuados por HGE en tres campañas de monitoreo físico-químico, la primera en el año 2011, la segunda el 2014 y la tercera el 2015. El proceso estuvo a cargo del Laboratorio GRUNTEC y personal de HGE.

Las campañas realizadas en 2011 y 2014 se basaron en la determinación de la concentración de hidrocarburos disueltos en el acuífero, por lo tanto los resultados de los parámetros químicos no fueron considerados en este capítulo. La campaña del 2011 consistió en el muestreo de pozos de forma aleatoria, en consecuencia esta no fue considerada en el desarrollo del proyecto de titulación.

La campaña realizada el 2015 fue exclusivamente para el proyecto de titulación y consistió en el análisis de iones mayores (Ca, Mg, K, Na, HCO_3^- , Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-}).

La base de datos resultante se expone en el Anexo 8 (Parámetros Físico-Químicos) y consta de tres tablas. Las Tablas 1 y 2 resumen la medición de parámetros físicos y químicos de la campaña realizada el 2015, y la Tabla 3 resume la medición de parámetros físicos de la campaña realizada el 2014.

5.2 ANÁLISIS DE PARÁMETROS FÍSICOS

Los parámetros físicos fueron medidos en campo mediante un medidor multiparámetros portátil en la campaña realizada el 2014. Los resultados revelaron la siguiente información:

- En promedio el agua del acuífero tiene un pH de 6.4, es decir el agua es ácida y varía a débilmente básica hacia el oeste de la zona cerca del río Cucaracha (pozo PM-1). La causa de la acidez en el agua puede explicarse por la presencia de CO_2 , el cual está disuelto en el agua y proviene de la oxidación de materia orgánica presente en las dos secuencias que conforman la zona vadosa. En la Figura 5.1 se observa la variación del pH en los pozos de monitoreo.

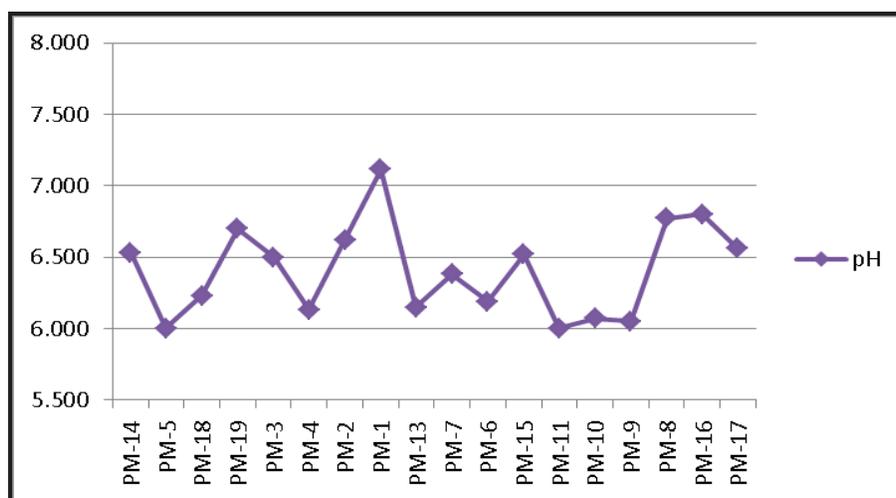


Figura 5.1. Variación del pH en los pozos de monitoreo.

- La temperatura promedio del acuífero es de 24.9°C y no tiene variaciones significativas, excepto en los pozos PM-18, PM-13 y PM-17 donde la temperatura desciende a 24°C . El descenso de la temperatura en estos pozos podría explicarse porque posiblemente el medidor multiparámetros no fue calibrado correctamente durante el muestreo. La Figura 5.2 muestra la variación de la temperatura a lo largo de la zona de estudio.

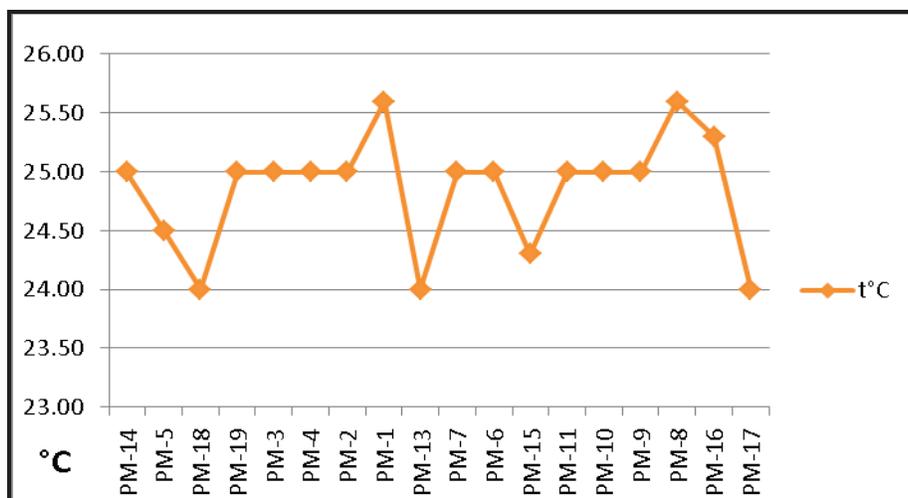


Figura 5.2. Variación de la temperatura en los pozos de monitoreo.

- En promedio la conductividad eléctrica del agua es 0.26 ms/cm, valores muy bajos que indican que el agua ha tenido un recorrido corto en el acuífero, debido a que no existen valores significativos de sólidos totales disueltos.
- El agua presenta leve turbidez con valor promedio de 8.96 (UNT), este valor podría justificarse por la presencia de sedimentos depositados en el fondo del pozo o por el abatimiento al momento de realizar el muestreo.
- En promedio el agua del acuífero tiene 1.2 mg/l de oxígeno disuelto, sin embargo el valor no puede ser establecido como normal o no ya que para realizarlo se debe comparar la concentración de saturación a la temperatura a la que fue medido y con la altura sobre el nivel del mar (presión atmosférica).

5.3 ANÁLISIS DE PARÁMETROS QUÍMICOS

El muestreo de iones mayores fue realizado en los pozos PM-16, PM-2, PM-3 y PM-17, en la campaña del 2015. Los pozos mencionados fueron elegidos para el muestreo por las siguientes razones:

- Los pozos se encontraban en muy buen estado y no presentaron concentraciones de hidrocarburos.
- La distribución espacial entre los pozos permitió obtener información de diferentes sitios del acuífero, considerando que por el tamaño de la zona las variaciones entre pozos cercanos no son significativas. No obstante el análisis únicamente de cuatro muestras no permitió concluir con certeza el tipo de agua del acuífero.

5.3.1 BALANCE IÓNICO

Para la descripción hidroquímica del agua, primero se realizó el balance iónico, necesario para verificar la calidad de los datos y si el error del análisis es menor al 10% considerarlos para su interpretación.

El balance iónico consiste en verificar que la suma de las concentraciones de aniones expresados en mili equivalentes es igual o aproximadamente igual a la suma de las concentraciones de los cationes expresados en la misma unidad (Feitosa, 2008), así que la relación entre cargas positivas y negativas debería ser igual:

$$\sum X^+ = \sum Y^- \quad (5.1)$$

Para determinar este supuesto después de un análisis químico, se determina el Error del Balance de Cargas (% CBE) mediante la siguiente ecuación:

$$\% \text{ CBE} = \frac{\sum z \cdot mc - \sum z \cdot ma}{\sum z \cdot mc + \sum z \cdot ma} * 100 \quad (5.2)$$

Donde,

z= carga, mc= molalidad del catión y ma= molalidad del anión

Aplicando la ecuación 5.2 se determinó el porcentaje de error en los análisis químicos de las X muestras, obteniendo Y muestras con un error menor que el 10%, con las que se analizaron correlaciones y tipos de aguas.

La Tabla 5.2 presenta los errores en los balances iónicos de las muestras analizadas. El error de balance de cargas en ningún caso sobrepasa el 10%, por lo tanto los resultados de los análisis de laboratorio fueron considerados para la interpretación del tipo de agua.

Tabla 5.1. Errores del balance iónico.

| Nombre del pozo | ΣX^- | ΣX^+ | %CBE |
|------------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------------|
| PM-16 | 1.163194 | 1.31578 | 6.15 |
| PM-3 | 0.498239 | 0.593848 | 8.75 |
| PM-17 | 1.00626 | 1.218061 | 9.52 |
| PM-02 | 0.508576 | 0.58732 | 7.18 |

5.3.2 DESCRIPCIÓN DEL TIPO AGUA

Los resultados de los análisis se presentan en un diagrama triangular (Diagrama de Piper) que permite visualizar los datos en campos de aguas predominantes. Para realizar el Diagrama de Piper se utilizó la herramienta informática Diagrammes Version 6.48.

En la Figura 5.3 se representan cuatro análisis de las muestras de los pozos de monitoreo PM-16, PM-2, PM-3 y PM-17; y se observa que las aguas predominantes son de tipo bicarbonatadas cálcicas

Además es importante mencionar que este tipo de composición, es frecuente en aguas con recorridos cortos y poco profundos, que se asume es el caso de la zona de estudio.

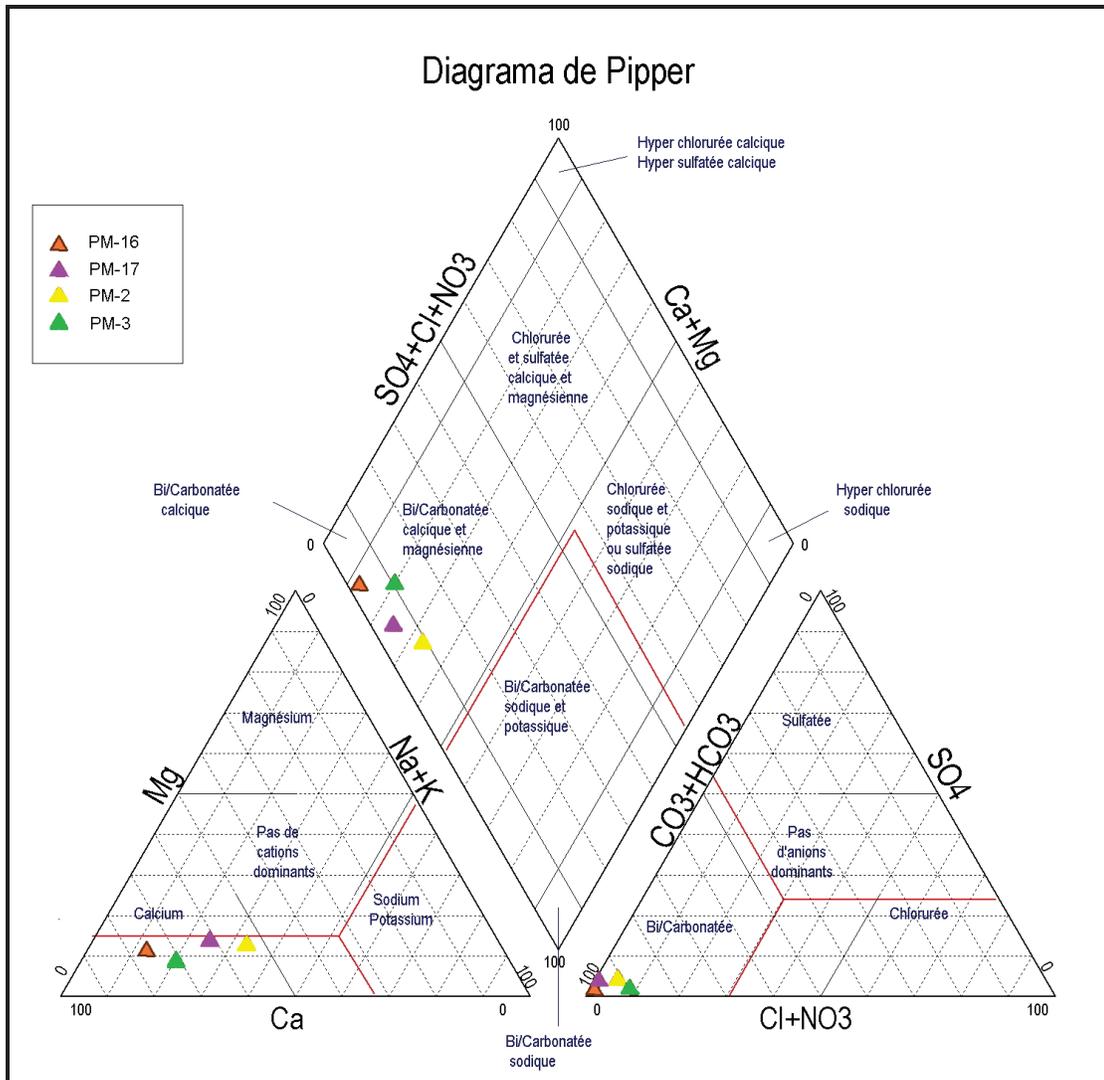


Figura 5.3. Diagrama de Piper representando los análisis en los pozos de monitoreo.

Cabe recalcar que el contar con solo cuatro muestras no permite concluir el tipo de agua, considerando que todas tienen una composición similar, por lo que se recomienda realizar una nueva campaña de muestreo químico que permita corroborar la información sobre el tipo de agua.

CAPÍTULO 6

MODELACIÓN

Un modelo hidrogeológico es la representación gráfica (modelo conceptual) expresada de forma cuantitativa a través de ecuaciones diferenciales que gobiernan el flujo del agua subterránea.

Para representar las condiciones del flujo subterráneo, se generó un modelo de simulación hidrogeológica utilizando el programa Visual Modflow Flex, este es un potente paquete de software que proporciona las herramientas para la construcción tridimensional de modelos conceptuales y numéricos de aguas subterráneas utilizando objetos de datos de SIG (Sistemas de Información Geográfica).

Para la construcción del modelo numérico se cumplió con la siguiente metodología:

- Ingreso del modelo conceptual del que se obtuvo la geometría y espesores de las unidades hidrogeológicas.
- Selección y geometría de la grilla del modelo, generado a partir de la cantidad de información y el nivel de detalle existente.
- Ingreso de parámetros hidráulicos para cada unidad hidrogeológica.
- Ingreso de condiciones de frontera y cargas hidráulicas.
- Interpretación de los resultados obtenidos.

6.1 INGRESO DEL MODELO CONCEPTUAL

Se ingresaron cuatro planos generados a partir del modelo conceptual, estos se relacionan con los topes de las unidades hidrogeológicas de la siguiente manera: El primero corresponde a la topografía, el segundo al techo de la Unidad B, el tercero al techo de la Unidad C y el cuarto a la base de la Unidad C (Figura 6.1).

La distribución espacial de los planos permitió construir un modelo de bloques, al que se le asignó propiedades hidráulicas en las tres unidades definidas por los planos (Figura 6.2).

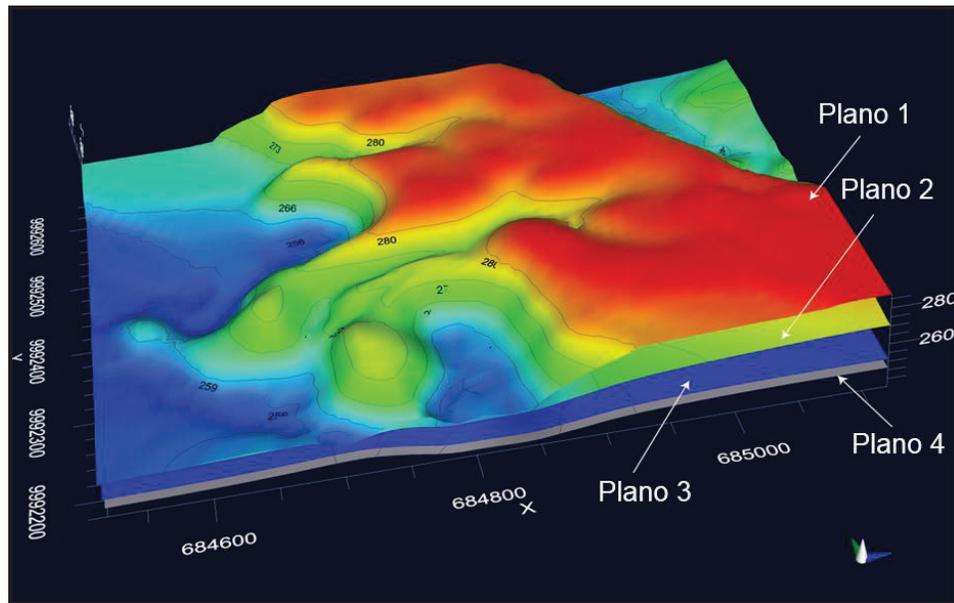


Figura 6.1. Ingreso del Modelo Conceptual en Visual Modflow Flex.

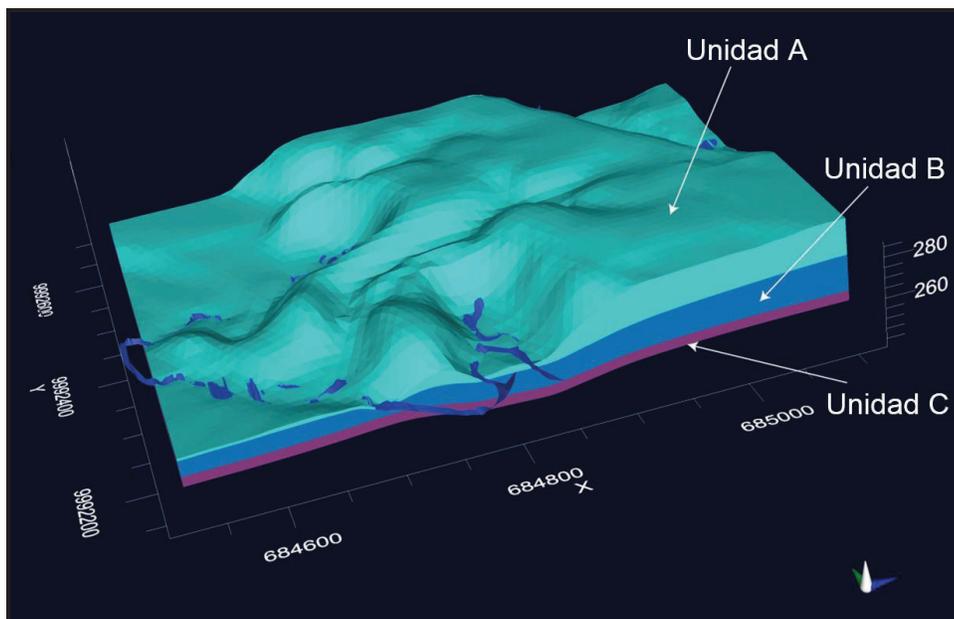


Figura 6.2. Modelo de bloque delimitando las tres unidades hidrogeológicas.

6.2 SELECCIÓN Y GEOMETRÍA DE LA GRILLA

Para delimitar la geometría de la grilla, fue necesario ingresar el área a modelar a través de un polígono (Figura 6.3), con las siguientes características:

- El área a modelar fue 0.26 km².
- El dominio del modelo se ubica entre las coordenadas:
(Xmin, Ymin) = (684523.364, 9992185.994)
(Xmax, Ymax) = (685118.15, 9992629.579)
- La longitud en la dirección este-oeste (eje X) es 594 m., mientras que en dirección norte-sur (eje Y) es 444 m.

La distribución de la grilla fue elegida con el objetivo de abarcar con mayor detalle el área central donde existe mayor cantidad de datos.

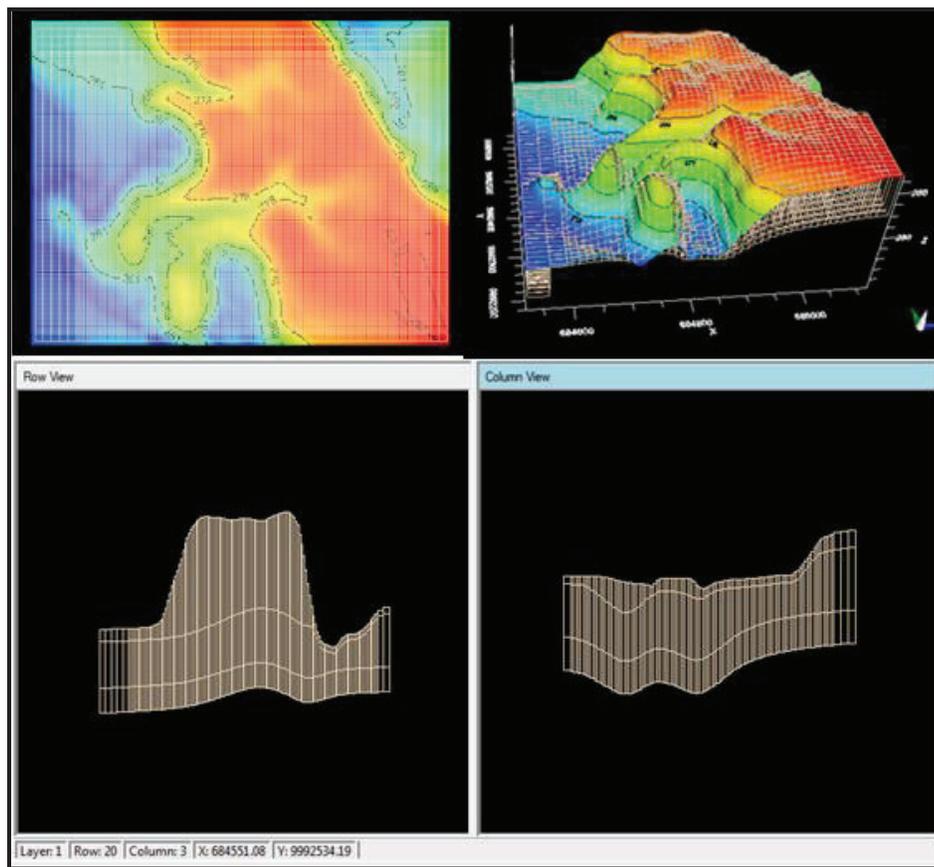


Figura 6.3. Delimitación del área a modelar.

6.3 INGRESO DE PARÁMETROS HIDRÁULICOS

Para el modelo de flujo se utilizó la conductividad hidráulica atribuida en cada unidad hidrogeológica (Tabla 4.4). De esta manera las conductividades se resumieron en un promedio general de 0.19 m/día para la unidad B (acuífero); $1 \cdot 10^{-3}$ m/día para la unidad A y $1 \cdot 10^{-5}$ m/día para la unidad C.

La Figura 6.4 muestra las conductividades hidráulicas utilizadas para la generación del modelo numérico.

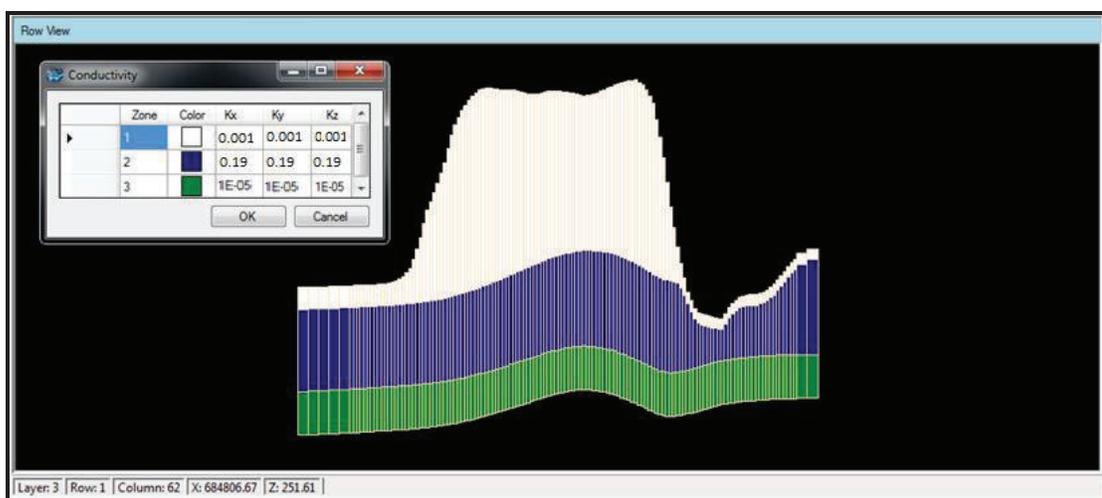


Figura 6.4. Parámetros hidráulicos.

6.4 CARGA HIDRÁULICA DE POZOS

Para la generación y calibración del modelo, se ingresó la información de los treinta pozos a través de una tabla de datos de observación de cargas hidráulicas (Tabla 4.2), que se utiliza para introducir los valores observados en determinadas fechas, para el punto de observación seleccionado.

La mala distribución de los pozos provocó que exista escasez de los datos en distintas zonas, dando como resultado que el programa genere un modelo poco congruente con la realidad.

6.5 SOLUCIÓN DEL MODELO

La solución del modelo matemático consiste en resolver la ecuación de flujo de agua subterránea para cada celda definida en la grilla.

El resultado del modelo constituyó un mapa de líneas equipotenciales (Figura 6.5), que se vio influenciado por limitaciones como: la falta de una malla regular de pozos de monitoreo ya que estos al concentrarse esencialmente en la zona central producen que las líneas equipotenciales estén influenciadas por las ubicación de los pozos.

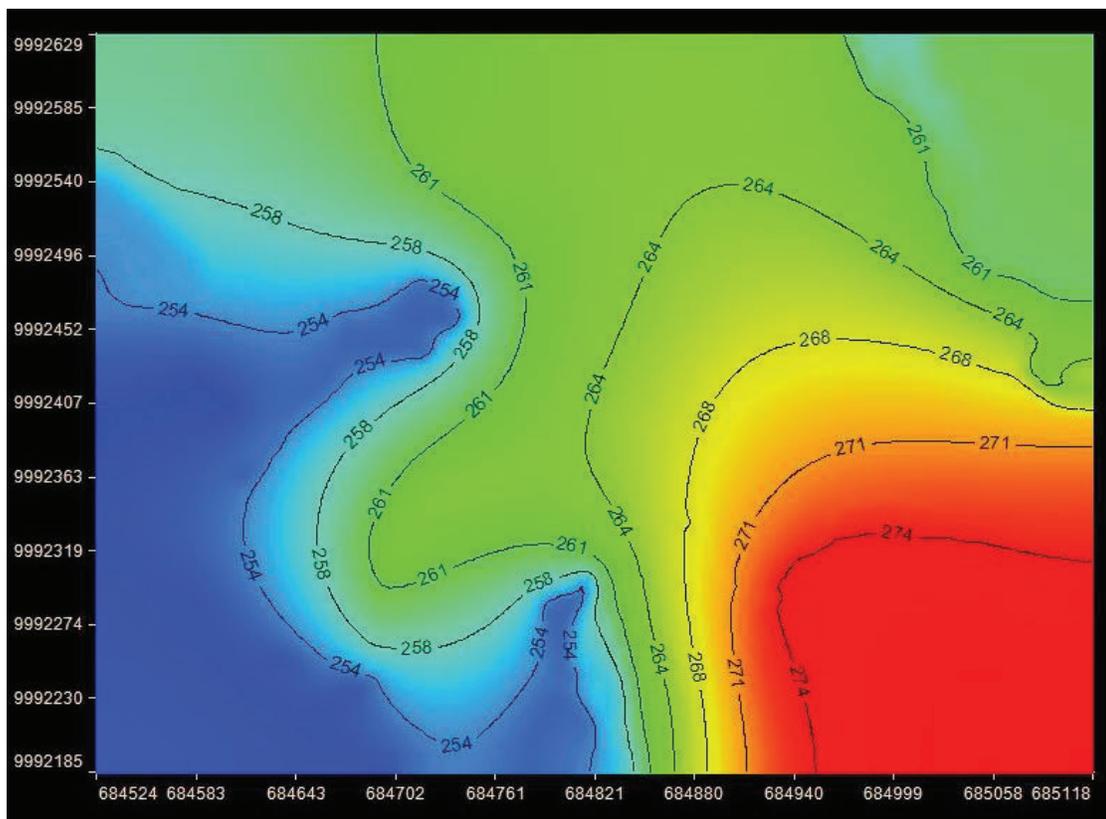


Figura 6.5. Mapa de líneas equipotenciales modeladas.

Se concluye entonces, que la escasez de datos permitió generar un modelo poco congruente con la realidad que necesita de mayor información para generar un modelo numérico sólido y que sea reproducible.

CAPÍTULO 7

ALTERNATIVAS DE REMEDIACIÓN Y DISEÑO DEL SISTEMA

En este capítulo se describe la alternativa de remediación seleccionada como base de la metodología a seguir para el diseño del sistema remedial preliminar.

Para el desarrollo de este capítulo se propuso la siguiente metodología:

- Descripción de los trabajos previos de mitigación.
- Características de la carga contaminante.
- Análisis y selección de las alternativas de remediación.
- Esquema del sistema remedial.
- Alcance y tiempo de ejecución del sistema remedial.

Este capítulo reúne toda la información obtenida previamente, ya que está orientado a la descripción de la metodología que se debe seguir para el diseño del sistema remedial, considerando que por la falta de información este no puede ser aplicado a menos que se complemente la información con las recomendaciones que el diseño propone.

Para el desarrollo del capítulo fue necesario conocer las actividades de mitigación que se han realizado previamente y las características del contaminante, con el fin de proponer las alternativas de remediación de acuerdo a esas condiciones.

7.1 TRABAJOS PREVIOS DE MITIGACIÓN

Según los reportes de EP PETROECUADOR el evento ocurrido en 2010, provocó la fuga de aproximadamente 7340 barriles (308280 galones) de combustible y de acuerdo a los datos recopilados hasta el primer semestre del 2015 se ha recolectado un volumen aproximado de 12926.08 galones (4.2 % del volumen total) (Tabla 7.1).

Tabla 7.1. Tabla de combustible recuperado por EP PETROECUADOR.

| Año | Volumen recuperado (galones) |
|------------|-------------------------------------|
| 2011 | 8993.26 |
| 2012 | 2073.3 |
| 2013 | 241.5 |
| 2014 | 152.02 |
| 2015 | 1466 |

Es preciso mencionar que pese a que la cifra de barriles derramados ha sido publicada oficialmente, autoridades y supervisores de EP PETROECUADOR están conscientes que dicha cantidad no necesariamente fue derramada, es decir debido a la rápida mitigación en el sitio y el origen de nuevos derrames en zonas aledañas, la cantidad publicada para esta zona podría incluir el derrame en varios sitios de fuga cercanos al PK 128+500, por lo tanto no existe la certeza que ese sea el volumen derramado.

Desde el 2011, EP PETROECUADOR ha realizado una serie de actividades para la mitigación de la zona afectada, estas consistieron en:

- Recolección de combustible en afloramientos reportados en el Río Cucaracha y esteros menores.
- Desbroce y recolección de desechos sólidos.
- Establecimiento de “puntos de control” y zanjas de recuperación.
- Succión, recuperación y desalojo de combustible.

Además cabe mencionar que el primer semestre del año 2015, HGE ejecutó el diseño de un sistema remedial con la participación del autor de este proyecto de titulación.

7.2 CARACTERÍSTICAS DE LA CARGA CONTAMINANTE

Según Andrade (2007) en el poliducto Esmeraldas-Quito, el tramo Esmeraldas-Santo Domingo que atraviesa la zona de estudio, es el encargado de transportar

diesel 2, diesel 1, gasolina extra y gasolina super, por tanto la mezcla de estos hidrocarburos es la carga contaminante a tratar y fue denominada Líquido Ligeró en Fase No Acuosa (LLFNA).

Los LLFNA se caracterizan por presentar una baja solubilidad en agua y al ser menos densos que esta, se quedan flotando sobre el nivel freático del acuífero, mientras que las fases volátiles ocupan parte de la zona vadosa y pueden incorporarse al flujo subterráneo. La fase libre circula en la parte superior del acuífero, mientras que la fase de disueltos forma una pluma en la parte superior de la zona saturada (Figura 7.1).

Cuando ocurre un derrame de LLFNA, éste comienza a migrar hacia el acuífero bajo la acción de la gravedad, a medida que el LLFNA avanza, va quedando retenido dentro de los poros y fracturas del suelo debido a las fuerzas capilares, lo que significa que una fracción del LLFNA queda atrapado como LLFNA residual, mientras el LLFNA no atrapado y móvil puede continuar migrando.

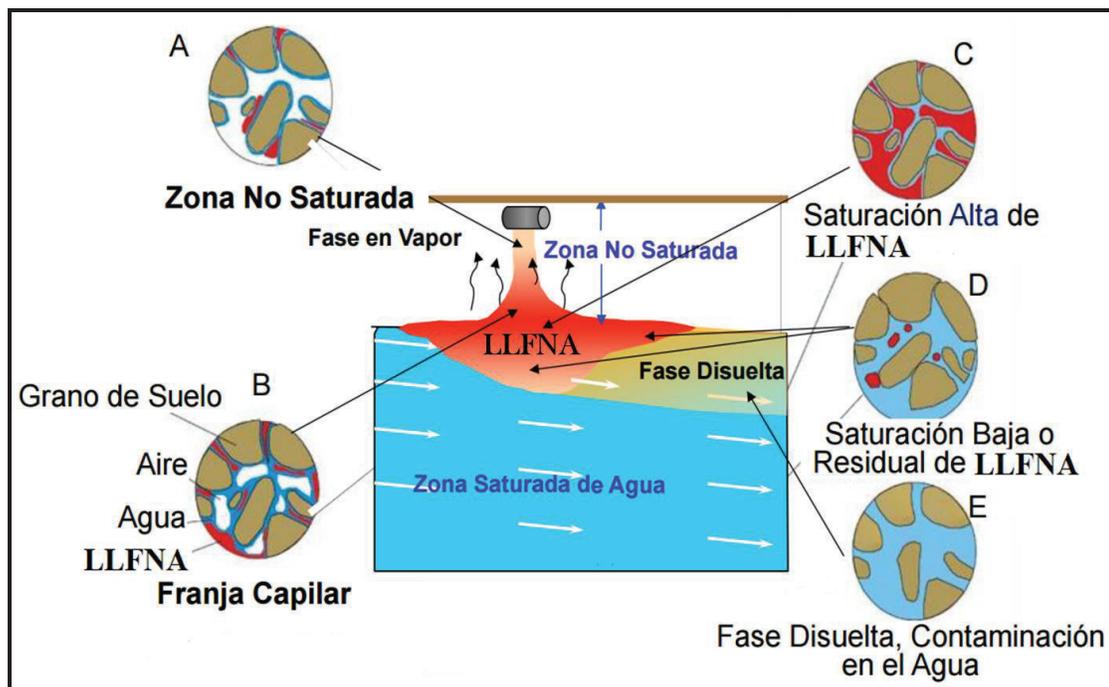


Figura 7.1. Modelo conceptual simplificado a escala de poros para la filtración de LLFNA en la zona saturada. (Modificado de Huntley and Beckett, 2002).

7.3 ANÁLISIS DE LAS ALTERNATIVAS DE REMEDIACIÓN

En el año 2011, la EP PETROECUADOR a través de la Gerencia de Salud, Seguridad y Ambiente bajo la coordinación del Departamento de Tecnologías Ambientales elaboró un informe detallado de las principales alternativas tecnológicas de remediación en la zona saturada y no saturada; este permitió conocer los tratamientos biológicos, físico-químicos y de contención en aguas subterráneas que ayudaron a la discriminación de las principales alternativas.

La Tabla 7.2 resume las principales alternativas de remediación en aguas subterráneas que han sido aprobadas por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA).

Tabla 7.2. *Tabla Resumen de los principales Tratamientos y Alternativas de Remediación en Aguas Subterráneas. (Modificado de EP PETROECUADOR, 2011).*

| Tratamientos | Alternativas |
|--|--|
| Tratamiento Biológicos en el Sitio | Biodegradación |
| | Fitorremediación |
| | Atenuación Natural |
| Tratamiento Físico-Químico en el Sitio | Oxidación química in-situ |
| | Extracción de vapores del suelo |
| | Aireación |
| | Extracción múltiple de fases |
| | Barreras pasivas y reactivas |
| | Enjuague del suelo |
| Contención | Bombeo y tratamiento de aguas subterráneas |

Para seleccionar la alternativa de remediación, se analizó la factibilidad técnica, social, ambiental y económica de cada una.

7.3.1 FACTIBILIDAD TÉCNICA

Es una de las variables de mayor peso para la selección las alternativas de remediación. Esta fue analizada en base al estudio de las características físicas del sitio a partir del modelo conceptual. La selección de la alternativa tecnológica más viable para la remediación responde a los parámetros de Factibilidad técnica citados en el Anexo 9 (Tabla 1).

7.3.2 FACTIBILIDAD SOCIO-AMBIENTAL

La selección de las alternativas de remediación en el sitio está influenciada por la factibilidad social debido a la presencia de la comunidad y al grado de afectación en la zona frente a la implementación de una u otra tecnología remedial. En el Anexo 9 (Tabla 2) se muestra el análisis de los parámetros de Factibilidad socio-ambiental.

7.3.3 FACTIBILIDAD ECONÓMICA

El aspecto económico es fundamental en la selección de las alternativas de remediación y generalmente depende del presupuesto que dispone la empresa, no obstante para el proyecto de titulación no fue analizada a profundidad debido a que la ejecución del mismo no se encuentra dentro los objetivos planteados. Sin embargo se analizaron los parámetros de Factibilidad económica en el Anexo 9 (Tabla 3).

7.4 SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA DE REMEDIACIÓN

Considerando las alternativas citadas en la Tabla 7.2, se realizó una matriz de factibilidades en la que se asignó un peso ponderado a cada una. El Anexo 10 muestra el desarrollo de la matriz de valoración en la que se destaca que la factibilidad técnica por su mayor importancia tiene un peso ponderado mayor que la económica y socio-ambiental.

Luego de analizar la matriz de valoración, la alternativa de remediación seleccionada consiste en el Bombeo y tratamiento de agua subterránea in – situ, esta alternativa combina la recolección de LLFNA en fase libre y el tratamiento de la fase de disueltos. A continuación se describe la alternativa seleccionada. La base de la información fue tomada de la United States Environmental Protection Agency (EPA).

Bombeo y tratamiento de agua subterránea in-situ (P&T)

Esta alternativa de remediación es considerada una tecnología convencional para el tratamiento de aguas subterráneas in-situ, debido a la facilidad y bajos costos que implica su implementación. En términos generales esta tecnología física consiste en la extracción y bombeo de agua subterránea contaminada desde pozos de extracción construidos para este propósito, que combinada con un sistema de extracción con aire (Airstripping) y el uso de filtros de carbón activado (GAC) son muy efectivas.

Para extraer el LLFNA en fase libre y fase de disueltos se construye un sistema de extracción, este debe estar compuesto por uno o más pozos equipados con bombas sumergibles. Cuando éstas se ponen en funcionamiento, extraen combustible y agua contaminada de los pozos hacia la superficie y una vez en ella el combustible es almacenado y el agua pasa a un tanque recolector (Figura 7.2) (EPA, 2003).

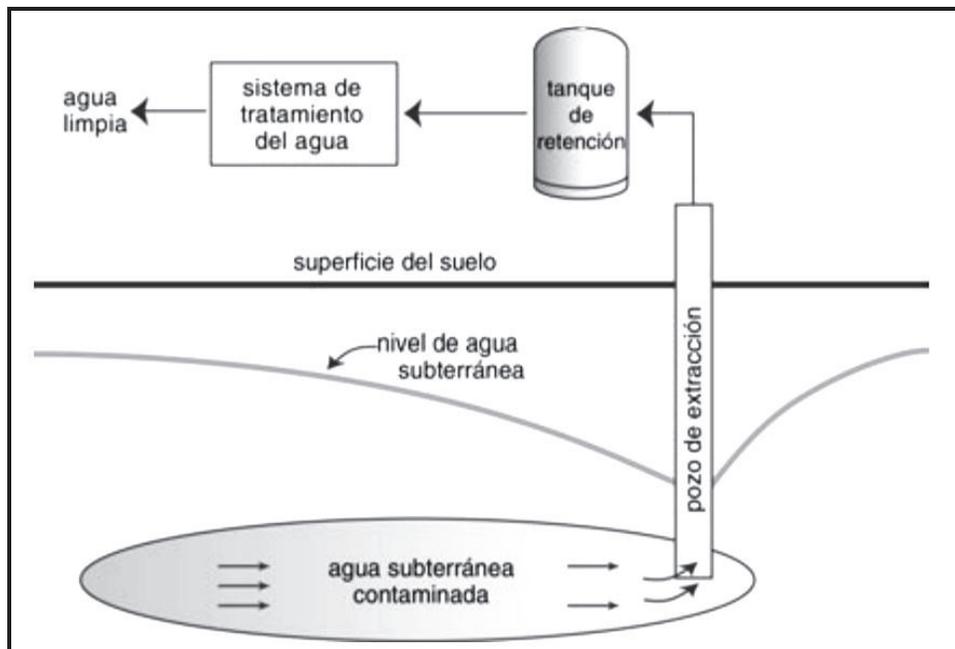


Figura 7.2. Configuración clásica de un Sistema P&T. (EPA, 2003).

El agua contaminada se bombea del tanque recolector hacia otro tanque (Sistema Airstripper), esta se escurre a través de los espacios entre el material de relleno del tanque hasta el fondo, simultáneamente un soplador de aire (blower) ubicado en el fondo inyecta aire hacia arriba, a medida que el aire sube a través del agua que se está escurriendo, produce la volatilización de los contaminantes, finalmente el aire transporta los contaminantes hasta la parte superior del tanque donde se capturan y limpian mediante un sistema CAG (Carbón activado granulado) (Figura 7.3).

El agua que se escurre hacia el fondo del tanque es recolectada y analizada para asegurar que se encuentre limpia, si todavía hay presencia de contaminantes, esta puede ser reciclada por el sistema o limpiada mediante el empleo de otro método (EPA, 2003).

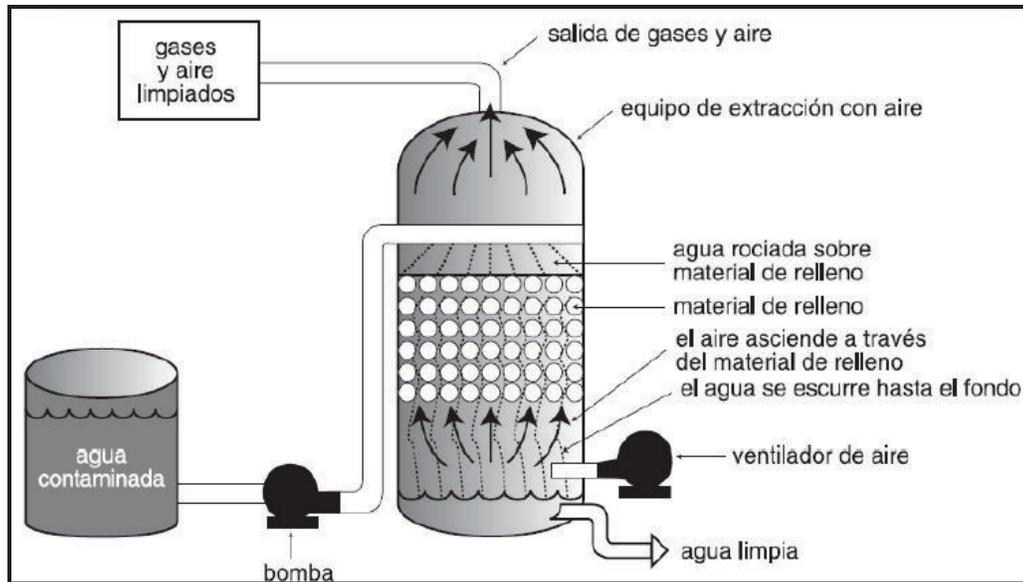


Figura 7.3. Configuración clásica de un Sistema Airstripping. (EPA, 2003).

Para complementar el tratamiento, el agua es transportada del Airstripper a tanques que contienen filtros de carbón activado (Figura 7.4), estos están compuestos por materia carbonizada de origen vegetal o mineral, se le llama activado debido a que toda la materia carbonizada tiene propiedades adsorbentes, pero el estado de activación que se da a este tipo especial de carbón de alta superficie específica le confiere propiedades exclusivas que lo hacen tener una gran capacidad para adsorber sustancias contaminantes (EPA, 2003).

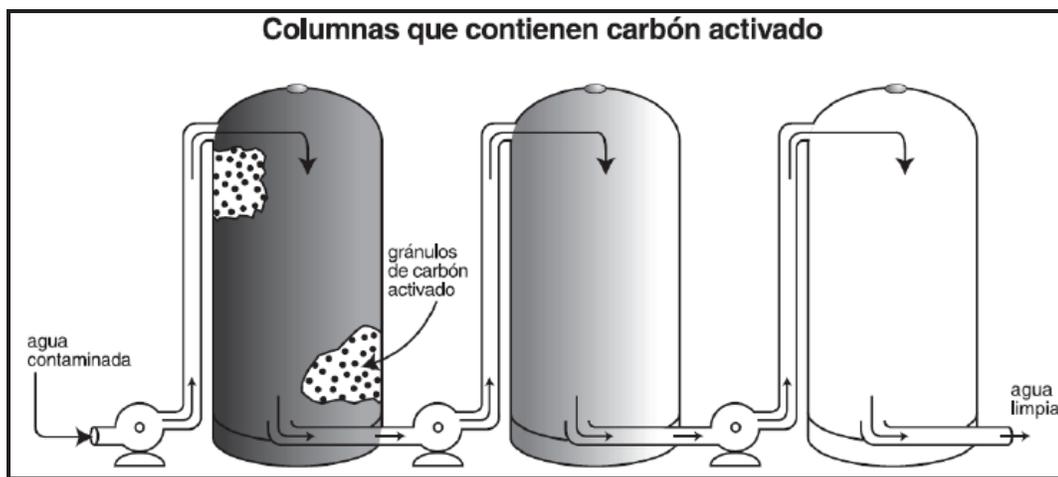


Figura 7.4. Configuración típica de un Sistema GAC. (EPA, 2003).

Cuando el agua contaminada atraviesa los filtros de carbón activado es almacenada en tanques donde es analizada y de ser el caso se recomienda reinyectar en pozos construidos para ese propósito.

El éxito del uso de este tipo de tecnología remedial depende de la cantidad y calidad de la información de base existente, así como una correcta interpretación de las condiciones hidrogeológicas mediante la elaboración de un modelo conceptual y numérico de transporte de contaminantes. En general esta técnica ha sido usada ampliamente en sitios de litología variada desde arenas hasta arcillas y de gradiente hidráulico bajo a medio.

7.5 DISEÑO DEL SISTEMA REMEDIAL

El sistema remedial está basado en recomendaciones que se deben tomar en cuenta para fortalecer y complementar la información que existe de la zona y la metodología para su diseño.

7.5.1 RECOMENDACIONES

Previo a cualquier tarea de remediación es indispensable cumplir con las siguientes actividades:

- Construir una malla de pozos regular en toda la zona de estudio que permita fortalecer el modelo conceptual y reproducir un modelo numérico de flujo y de transporte de contaminantes.
- Realizar campañas de muestreo de contaminantes en la malla regular de pozos que permitan delimitar la pluma de contaminación.
- Realizar pruebas de bombeo de igual manera en una malla regular, que permita obtener información de parámetros hidráulicos en toda la zona.

7.5.2 SELECCIÓN DEL SITIO

Para seleccionar el sitio de implementación del sistema remedial, se debe establecer un lugar donde las condiciones sean las más representativas en cuanto al grado de contaminación, este debe considerar lo siguiente:

- Abarcar la pluma de contaminación delimitada por una malla regular de muestreo de concentraciones de hidrocarburos en el agua subterránea.
- Abarcar la pluma de contaminación modelada considerando la carga contaminante inicial de derrame.
- Incluir los sitios más alejados a la fuente donde se reportó la presencia de LLFNA en fase libre.
- Debe extenderse en todas las direcciones hasta donde el derrame no haya contaminado el acuífero.

La elección del sitio también debe considerar las condiciones demográficas y sociales que contemplen la menor afectación hacia las propiedades y al ambiente (señalización, aislamientos acústicos, sistemas de protección eléctricos, protección de líneas al tránsito, etc.).

7.5.3 ESQUEMA Y DESCRIPCIÓN DEL DISEÑO

Se propone que el sistema esté constituido por pozos de extracción, cuyo número, ubicación y detalles constructivos (profundidad, diámetro, tramos de zona de filtros, tubería ciega, etc.) estén condicionados por la selección del sitio de implementación.

El sistema de bombeo y tratamiento permitirá la recolección de LLFNA en fase libre, fase residual y fase de disueltos; las dos primeras fases deberán ser almacenadas en tanques portátiles para almacenamiento de hidrocarburos (Fastank) y su posterior transporte para el tratamiento de dichas fases fuera del sitio.

La fase de hidrocarburos disueltos será tratada en el sistema a partir del bombeo y el posterior tratamiento mediante un sistema Airstripping y filtros de carbón

granular activado (GAC), bombas de desfogue y tanques de disposición que contendrán el agua tratada.

El sistema propuesto está conformado por tres sistemas internos que deberán funcionar de manera conjunta. A continuación se describen los sistemas internos.

El diseño del sistema considera los siguientes requerimientos para su operación.

- Perforación, diseño y construcción pozos de extracción de fases líquidas (el número estará condicionado por el sitio de implementación).
- Instalación de bombas eléctricas sumergibles (anti-exploración) en los pozos.
- Instalación de un sistema Air stripper para el tratamiento de agua in-situ.
- Instalación de un sistema de carbón activado granular (CAG), para tratamiento de agua in –situ.
- Instalación de tubería de conducción y desfogue hacia tanques de almacenamiento.

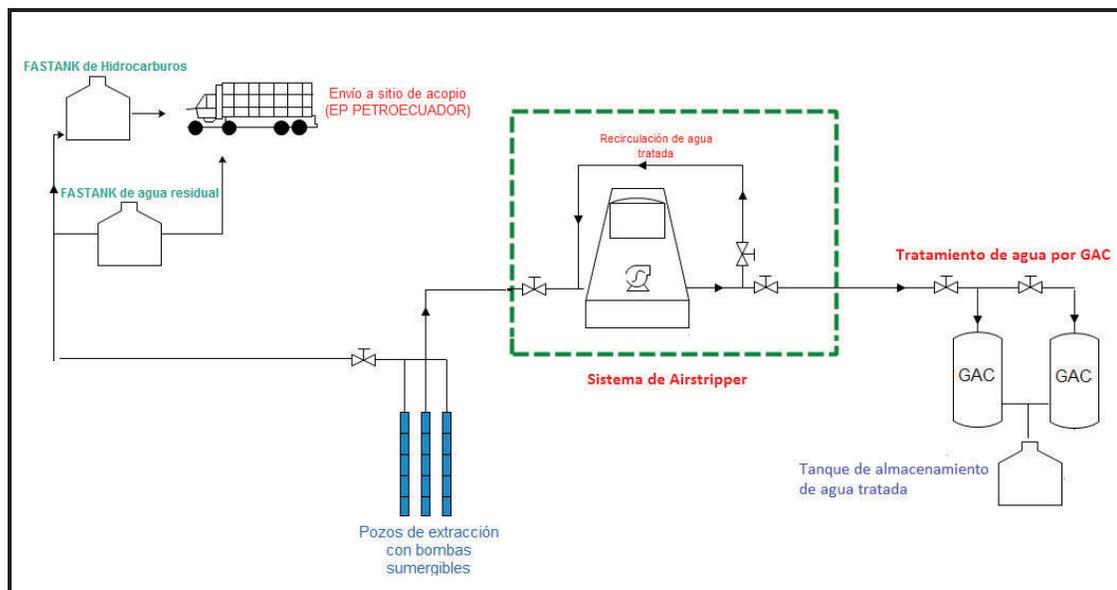


Figura 7.5. Esquema del Diseño del Sistema Remedial.

En la Figura 7.5 se presenta un diagrama de flujo de procesos en el que se resume el diseño del sistema remedial propuesto.

7.6 ALCANCE Y TIEMPO DE EJECUCIÓN

La principal meta que persigue el sistema remedial es la recuperación de la mayor cantidad de LLFNA en fase libre, con lo que se espera que las concentraciones de LLFNA en fase de disueltos disminuyan considerablemente.

Se propone que el tiempo piloto de ejecución sea de 12 meses (1 año), este tiempo corresponde a un período de prueba estimado para evaluar el comportamiento del acuífero y la eficiencia del sistema en invierno y verano.

CAPÍTULO 8

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1 CONCLUSIONES

- El abanico aluvial de Santo Domingo está localizado en la zona costera del Ecuador, en una cuenca activa de antearco (cuenca Manabí) en las estribaciones occidentales de la Cordillera Occidental, siendo esta la fuente principal de material sedimentario y volcánico para las formaciones que sobreyacen el abanico.
- La secuencia sedimentaria del abanico aluvial de Santo Domingo está compuesta de dos miembros: el miembro basal, correspondiente al Miembro superior de la Formación Borbón y el miembro superior, correspondiente a las Formaciones Balzar y San Tadeo.
- Los procesos de formación, la secuencia estratigráfica, litología, morfología y la deformación del abanico aluvial de Santo Domingo son el resultado de la interacción del clima, la tectónica y las condiciones de sedimentación que ocurrieron entre el abanico y las zonas de captación.
- La Formación San Tadeo cubre parte del flanco occidental de la Cordillera Occidental y considerables áreas del norte de la llanura costera, está constituida por lahares, flujos de escombros, avalanchas de lodo, areniscas tobáceas, tobas y brechas probablemente derivados de la actividad volcánica holocénica.
- Localmente en la Formación San Tadeo se identificaron cuatro secuencias litológicas, la secuencia S1 y S2 forman la zona vadosa, mientras que las secuencias S3 y S4 forman el acuífero
- El sistema acuífero local está conformado por limos arenosos, arenas limosas, areniscas y lentes de conglomerados, su espesor no pudo ser definido por las perforaciones, sin embargo a través de los perfiles de tomografía eléctrica se pudo definir un espesor promedio de 20 m.

- El tamaño de la zona de estudio (0.26 km²) y la escasez de estaciones meteorológicas e hidrológicas fueron limitantes para el cálculo del balance hídrico, sin embargo se estimó un caudal de recarga directa en el acuífero de 0.11 lt/s.
- La zona de estudio forma parte de la subunidad hidrogeológica La Concordia, perteneciente a la unidad hidrogeológica Región Costa.
- El acuífero regional en estudio se ubica al norte de la ciudad de Santo Domingo y está limitado al este por la margen izquierda del río Toachi, al oeste por las Formaciones Balzar y Borbón, al norte por la margen izquierda del río Blanco y al sur por la divisoria de aguas de las cuencas de los ríos Esmeraldas y Guayas. donde precisamente coincide el límite entre las subunidades hidrogeológicas La Concordia y Guayas.
- El mapa piezométrico muestra que las líneas equipotenciales tienen forma cóncava en la parte central y se caracterizan por tener la mayor carga hidráulica (Pozo PM-17) hacia el sureste y la menor carga hidráulica hacia el oeste (Pozo PM-1).
- La parte central de la zona de estudio es un punto crítico porque permite que la dirección del flujo subterráneo se distribuya tanto hacia el noreste como hacia el suroeste. Hacia el noreste se observa que las líneas equipotenciales son paralelas y que la carga hidráulica disminuye hacia el estero en esa dirección. Hacia el oeste se observa que las líneas equipotenciales son paralelas y la carga hidráulica disminuye en dirección del río Cucaracha.
- En cuanto a la relación hidráulica que existe entre el río y el acuífero en las zonas de descarga se concluye que existe un sistema de tipo efluente, es decir el acuífero aporta caudal al río Cucaracha hacia el oeste y suroeste y a un cuerpo de agua superficial ubicado al noreste de la zona de estudio.
- La velocidad media del flujo de agua subterránea fue calculada mediante la ley de Darcy y fue estimada en 12.1 m/año.
- La recarga del acuífero está conformada por la infiltración directa y la recarga regional ubicada al sureste de la zona de estudio en la cota 287 msnm; mientras que la zona de descarga local se produce de forma natural en el río Cucaracha y el estero ubicado al noreste de la zona de estudio.

- El modelo conceptual determinado mediante perfiles de resistividad, descripción litológica, trabajo en campo y características hidrogeológicas permiten concluir que existen tres unidades hidrogeológicas. La unidad A tiene un espesor promedio de 10 m. y está conformada por las secuencias S1 y S2; la unidad B tiene un espesor que varía de 18 a 22 m. y está conformada por las secuencias S3 y S4, y la unidad C tiene un espesor indefinido y constituye la base impermeable del acuífero.
- Pese a la escasez de muestras para la descripción hidroquímica, se determinó que la composición del agua en el acuífero es de tipo bicarbonatada cálcica.
- La escasez de datos permitió generar un modelo numérico poco congruente con la realidad que necesita de mayor información para generar un modelo sólido y que sea reproducible.
- La carga contaminante a tratar fue denominada Líquido Ligero en Fase No Acuosa (LLFNA). Se caracteriza por presentar una baja solubilidad en agua y ser menos densa que esta, se quedan flotando sobre el nivel freático del acuífero, mientras que las fases volátiles ocupan parte de la zona vadosa y pueden incorporarse al flujo subterráneo.
- La alternativa de remediación seleccionada consiste en el Bombeo y Tratamiento de agua subterránea, esta consiste en la extracción y bombeo de agua subterránea contaminada desde pozos de extracción construidos para este propósito, que combinada con un sistema de extracción con aire (Airstripping) y el uso de filtros de carbón activado (GAC) es muy efectiva.
- La principal meta que persigue el sistema remedial es la recuperación de la mayor cantidad de LLFNA en fase libre, con lo que se espera que las concentraciones de LLFNA en fase de disueltos disminuyan considerablemente.
- El tiempo de ejecución que se propone es de 12 meses (1 año), este corresponde a un período de prueba estimado para evaluar el comportamiento del acuífero y la eficiencia del sistema en invierno y verano.

- Se consiguió consolidar toda la información obtenida y generada a través de una base de datos en Sistema de Información Geográfica (SIG) que está incluida al final del proyecto (CD).

8.2 RECOMENDACIONES

- Se recomienda construir una malla de pozos regular en toda la zona de estudio que permita fortalecer el modelo conceptual y reproducir un modelo numérico de flujo y de transporte de contaminantes.
- Es recomendable realizar perforaciones más profundas en la zona de estudio para poder corroborar la información obtenida de los perfiles de tomografía eléctrica y poder determinar con mayor certeza el espesor del acuífero de estudio y el techo de la base impermeable del mismo.
- Es recomendable tomar una mayor cantidad de muestras químicas para mejorar la descripción química del agua y determinar la variación iónica en la zona de estudio.
- Se recomienda para trabajos futuros en la zona no implementar o ejecutar ninguna clase de alternativa remedial si no se obtiene suficiente información de las condiciones hidrogeológicas de la zona.

REFERENCIAS CITADAS

- Andrade, F. (2007). *Control y visualización de las etapas de recepción, filtrado y despacho de combustible de la planta Jet Fuel del terminal el Beaterio de Petrocomercial*. Quito: Tesis de grado, Escuela Politécnica Nacional.
- Baldock, J. (1982). *Geología del Ecuador. Boletín de Explicación del Mapa Geológico del Ecuador, Esc 1:1000000*. Quito.
- Barberi, F., Cotelli, M., Ferrara, F., Innocenti, J., Navarro, J., & Santacroce, R. (1988). Plio-Quaternary volcanism in Ecuador. *Geol.Mag.* 125(1), 1-14.
- Benítez, S. (1995). Évolution géodynamique de la province côtière sud-équatorienne au Crétacé supérieur-Tertiaire. *Géologie Alpine*(71), 3-163.
- Cañadas, L. (1983). *El mapa Bioclimático y Ecológico del Ecuador*. Quito: Editores Asociados Cía. Ltda.
- Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos de Norte América;. (1998). *Evaluación de los Recursos de agua del Ecuador. Obtenido de http://www.cepal.org/deype/noticias/noticias/6/44576/04_EC-evaluacion-recursos-agua.pdf*
- Delgado, C. (2008). *Hidrogeología y Modelación del acuífero Pifo-El Quinche*. Quito: Tesis de grado, Escuela Politécnica Nacional.
- Deniaud, Y. (2000). *Enregistrement sédimentaire et structural de l'évolution géodynamique des Andes Equatoriennes au cours du Néogène étude des bassins d'avant-arc et bilan de masse*. Grenoble: Tesis de doctorado, Université Joseph Fourier.
- DGGM-INAMHI. (1983). *Mapa Hidrogeológico Nacional del Ecuador. Escala 1:1000000*. Quito: Dirección General de Geología y Minas - Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología.
- Díaz, C., Esteller, M., & López, F. (2005). *Recursos Hídricos: Conceptos básicos y estudios de caso en Iberoamérica*. Montevideo: Universidad Autónoma del Estado (México) y Piriguazú Ediciones (Uruguay).
- DINAGE. (2006). *Mapa Geológico de Santo Domingo de los Colorados. Escala 1:100 000*. Quito: Dirección Nacional de Geología.
- EP PETROECUADOR. (2011). *Informe de alternativas tecnológicas de remediación, Derrame Poliducto PK 128+500, La Concordia*. Gerencia de Seguridad, Salud y Ambiente, Coordinación de Tecnologías Ambientales, Quito.
- EP PETROECUADOR. (2011). *Programa de Remediación Ambiental del derrame en el punto PK 128+500 del Poliducto Esmeraldas-Santo Domingo*. Gerencia de Seguridad, Salud y Ambiente, Subgerencia de Mitigación y

Remediación Ambiental, Coordinación de Mitigación y Remediación Ambiental Costa Sierra, Quito.

- EPA. (2003). *Guía para el Ciudadano sobre Bombeo y Tratamiento*. Estados Unidos: United States Environmental Protection Agency.
- EPA. (2003). *Guía para el Ciudadano sobre Extracción con Aire*. Estados Unidos: United States Environmental Protection Agency.
- EPA. (2003). *Guía para el Ciudadano sobre Tratamiento con Carbón Activado*. Estados Unidos: United States Environmental Protection Agency.
- Feitosa, F., Filho, J., Feitosa, F., & Demetrio, G. (2008). *Hidrogeología, Conceitos e Aplicações*. Río de Janeiro: CPRM.
- Freeze, R., & Cherry, J. (1979). *Groundwater*. Englewood Cliff: Prentice-Hall Inc.
- González del Tánago, M. (2006). *Hidrología de cuencas de tamaño medio: Hidrograma unitario*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.
- Grupo de Gestión de Recursos Hídricos. (s.f.). *Escorrentía*. Castellón de la Plana: Instituto Universitario de Plaguicidas y Aguas (IUPA) de la Universidad Jaume I de Castellón.
- Harvey, A. (2004). *The responses of dry-region alluvial fans to late Quaternary climatic change*. Rotterdam: Desertification in the Third Millenium.
- HIDROGEOCOL ECUADOR CÍA. LTDA. (2011). *Estudio para la determinación de la pluma de contaminación en el PK 128+500 del poliducto Esmeraldas-Quito*. Quito.
- HIDROGEOCOL ECUADOR CÍA. LTDA. (2014). *Diseño y desarrollo de un Sistema Remedial in situ en el PK 128+500 Poliducto Esmeraldas-Santo Domingo*. Quito.
- Huntley, D., & Beckett, G. (2002). Persistence of LNAPL sources: relationship between risk reduction an LNAPL recovery. *Journal of Contaminant Hydrology*(59), 3-26.
- Ibañez, S., Moreno, H., & Gisbert, J. (2011). *Valores del n° de curva (cálculo de la escorrentía)*. Valencia: Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica y del Medio Natural.
- INAMHI. (2015). *Introducción a la Hidrogeología del Ecuador* (2da ed.). INAMHI. Obtenido de <http://www.serviciometeorologico.gob.ec/wp-content/ForosClimaticos/Foros%20Nacionales/2014/IV%20Foro/INTRODUCCION%20A%20LA%20HIDROLOGIASGR%20Machado.pdf>
- López, F. (1988). Geología y cambios climáticos recientes. En *Riesgos Geológicos*. Madrid: Instituto Geológico y Minero de España.
- Ministerio de Transporte y Obras Públicas. (2012). *Estudio de Ingeniería de la carretera Santo Domingo-Esmeraldas y la estructuración jurídica, técnica y*

económico- financiera. Anteproyecto de construcción de la concesión viaria entre Santo Domingo y Esmeraldas: Anexo N°3 Geología y Geotecnia. Santo Domingo.

- Orsolini, H., Zimmermann, E., & Basile, P. (2000). *Hidrología, Procesos y Métodos*. Rosario: Editorial UNR.
- Ortiz, K. (2014). *Balance hídrico en tres híbridos tenera de palma aceitera (Elaeis guineensis Jacq.) con riego y sin riego*. Quito: Tesis de grado, Universidad Central del Ecuador.
- Pourrut, P. (1995). *El agua en el Ecuador: Clima, precipitaciones, escorrentía*. Quito: Corporación Editora Nacional.
- Proaño, G. (2009). *Informe Geológico y Geomorfológico para el diseño del puente angosto, ubicado sobre el Río Peripa y localizado en la vía Los Ángeles-El Paraíso, en el Cantón Buena Fe, Provincia de Los Ríos*. Escuela Politécnica del Litoral, Guayaquil.
- Querada, J. (2005). *Curso de Climatología General*. Castellón de la Plana: Publicacions de la Universitat Jaume I.
- Reyes, P. (2013). *Évolution du relief le long des marges actives: Étude de la deformation Plio-Quaternaire de la Cordillère Côtière D'Équateur*. Niza: Tesis doctoral, UNIVERSITÉ DE NICE SOPHIA ANTIPOLIS.
- Reyes, P., & Michaud, F. (2012). *Mapa Geológico de la Margen ... Ecuatoriana (1: 50000)*. (E. PETROECUADOR-IRD, Ed.) Quito, Ecuador.
- Rivera, C. (2011). *Tratamiento Físico - Biológico para la recuperación del suelo y el pantano afectados por el derrame de petróleo de la línea de flujo del Pozo Shushuqui 13*. Quito: Tesis de grado, Universidad Técnica del Norte.
- Santana, L. (2008). *Evapotranspiración Penman-Monteith*. Tenerife: Agro Cabildo.
- Toro, J., & Jaillard, E. (2005). Provenance of the Upper Cretaceous to upper Eocene clastic sediments of the Western Cordillera of Ecuador: Geodynamic implications. *Tectonophysics*(399), 279-292.
- United States Department of Agriculture. (2004). Estimation of Direct Runoff from Storm Rainfall. Obtenido de <ftp://ftp.wcc.nrcs.usda.gov/wntsc/H&H/NEHhydrology/ch10.pdf>
- Vallejo, C. (2007). *Evolution of the Western Cordillera in the Andes of Ecuador (Late Cretaceous-Paleogene)*. Zürich: Tesis doctoral, SWISS FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY ZÜRICH.
- Vallejo, C., Winkler, W., Spikings, R., Hochuli, P., & Luzieux, L. (2005). Geochronology and provenance analysis of basement and clastic cover sequences within the northern Western Cordillera, Ecuador. *6th International Symposium on Andean Geodynamics (ISAG 2005, Barcelona)*, 760-762.

- Vallejo, S. (2011). *Distribución de las cenizas volcánicas Holocénicas-Tardías en la Costa del Ecuador*. Quito: Tesis de grado, Escuela Politécnica Nacional.
- Winckell, A., Morocco, R., Winter, T., Huttel, C., Pourrut, P., Zebrowski, C., y otros. (1997). Los paisajes naturales del Ecuador. En *Las condiciones generales del medio natural* (Vol. 1). Quito: Talleres gráficos del IGM del Ecuador.

ANEXOS

Anexo 1. Registros Litológicos y Ensayos granulométricos.

Nombre del Pozo: PM-1

Coordenadas X: 684549.339

Y: 9992393.214

Elevación (m): 255.0

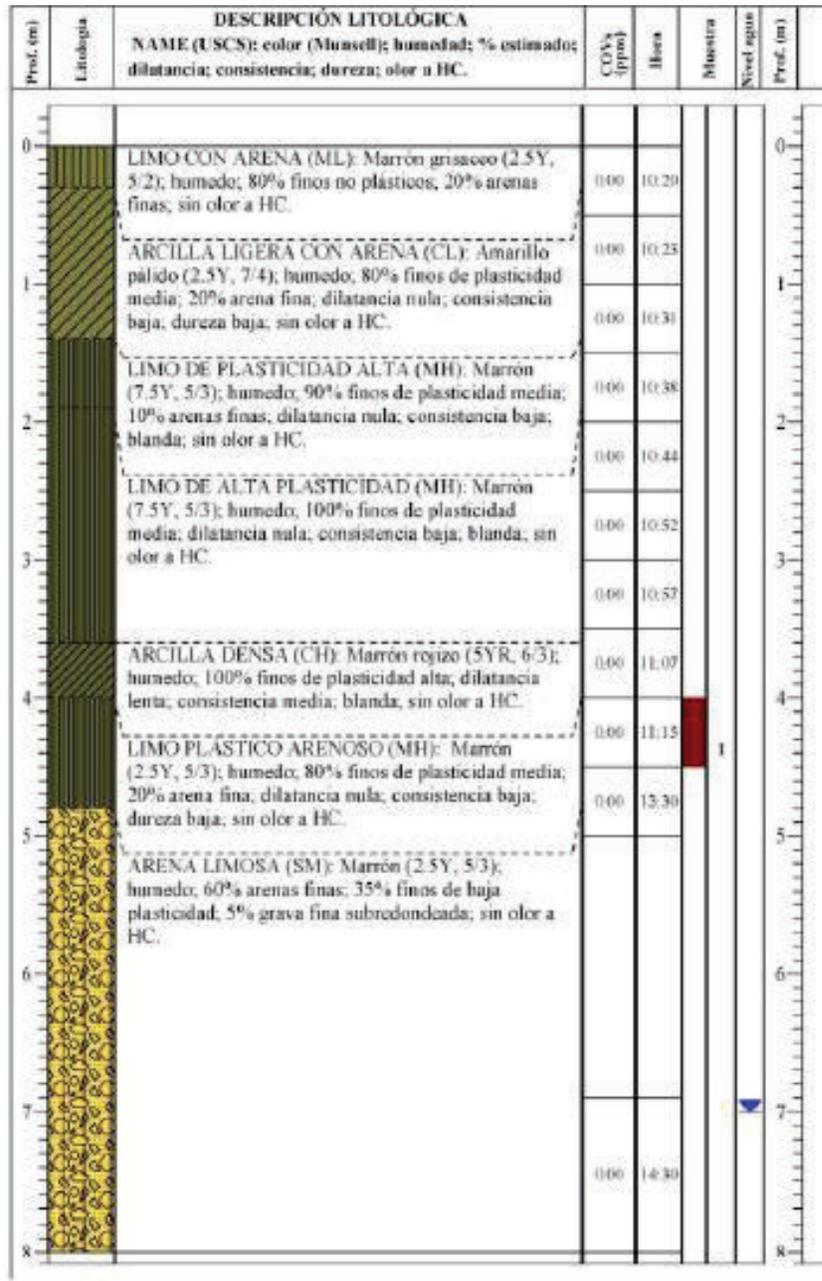
Profundidad del Pozo (m): 4.43

| Prof. (m) | Litología | DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA NAME (USCS); color (Munsell); humedad; % estimado; dilatancia; consistencia; dureza; olor a HC. | COVs (ppm) | Hora | Muestra | Nivel agua | Prof. (m) |
|-----------|-----------|--|---------------|-------|---------|------------|-----------|
| | | | | | | | |
| 0 | | LIMO ARENOSO (ML): Marrón amarillo oscuro (10YR,4/6); humedo; 80% finos no plásticos; 20% arenas finas; sin olor a HC. | 8.40 | 09:25 | | | 0 |
| | | | 12.10 | 09:35 | | | 1 |
| 1 | | LIMO ARENOSO (MH): Marrón amarillo claro (10YR,6/4); humedo; 80% finos de plasticidad media; 20% arenas finas; dilatancia lenta; blanda; consistencia baja; sin olor a HC. | 14.30 | 09:50 | | | 1 |
| 2 | | | 28.60 | 09:58 | | | 2 |
| | | | 19.80 | 10:06 | | | 2 |
| 3 | | ARENA LIMOSA (SM): Gris azulado claro (5PB,7/1); saturado; 70% arenas finas; 30% finos de baja plasticidad; sin olor a HC. | 40.10 | 10:13 | | 1 | 3 |
| | | | 15.30 | 10:20 | | | 3 |
| 4 | | | 12.20 | 10:27 | | | 4 |
| | | | 5.30 | 11:07 | | | 4 |

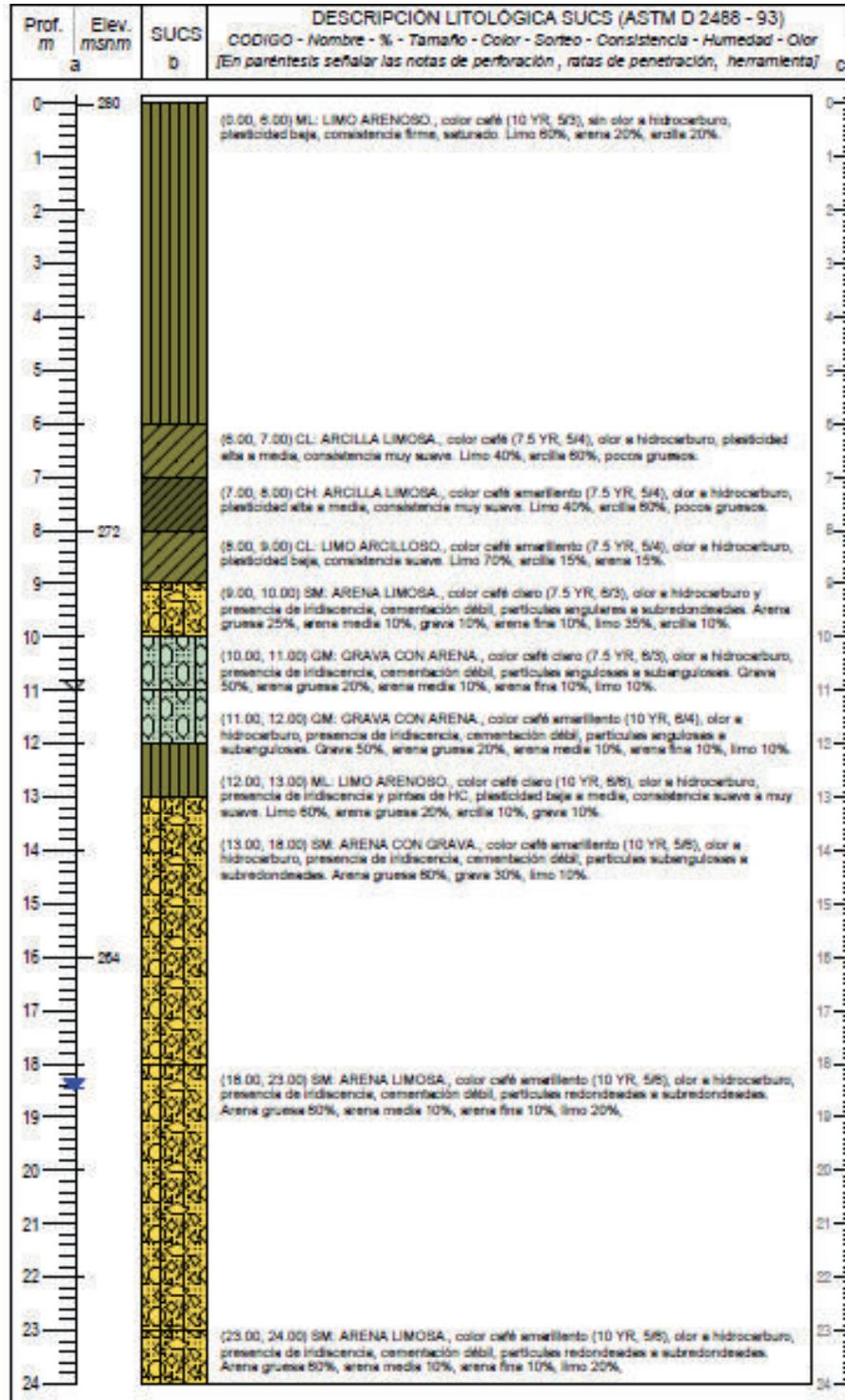
Nombre del Pozo: PM-11
 Coordenadas X: 684735.977
 Y: 9992466.544
 Elevación (m): 261.8
 Profundidad del Pozo (m): 5.91

| Prof. (m) | Litología | DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA NAME (USCS): color (Munsell); humedad; % estimado; dilatancia; consistencia; dureza; olor a HC. | COV (ppm) | Hora | Muestra | Nivel agua | Prof. (m) |
|-----------|-----------|--|--------------|-------|---------|------------|-----------|
| 0 | | LIMO DE BAJA PLASTICIDAD (ML): gris marrón claro (10Y 6/2); húmedo; 90% finos no plásticos; 10% arenas finas; sin olor a HC. | 0.00 | 11:15 | | | 0 |
| 1 | | LIMO CON ARENA (ML): marrón pálido (10Y 6/3); húmedo; 70% finos de plasticidad media; 30% arenas finas; dilatación lenta, dureza baja, consistencia blanda; sin olor a HC. | 0.00 | 11:35 | | | 1 |
| 2 | | LIMO CON ARENA (ML): marrón pálido (10YR 6/3); húmedo; 80% finos medianamente plásticos; 20% arena fina, dilatación rápida, dureza baja, consistencia blanda; sin olor a HC. | 0.00 | 11:57 | | | 2 |
| 3 | | ARENA LIMOSA (SM): amarillo marrón (10YR 6/6); 80% arenas fina a media; 20% finos de plasticidad baja; dilatación baja a media, dureza baja, consistencia blanda; sin olor a HC. | 0.00 | 12:10 | | | 3 |
| 4 | | LIMO DE ALTA PLASTICIDAD CON ARENA (MH): marrón claro (7.5YR 6/4); húmedo; 80% finos de plasticidad media; 18% arena fina; 2% grava fina; subredondeada; dilatación baja, dureza baja, consistencia blanda; sin olor a HC. | 0.00 | 12:20 | | | 4 |
| 5 | | ARENA LIMOSA (SM): amarillo (10YR 7/6); húmedo; 60% arenas finas; 40% finos de plasticidad media; dilatancia media, dureza baja, consistencia blanda; sin olor a HC. | 0.00 | 12:36 | | | 5 |
| 6 | | ARENA LIMOSA (SM): gris marrón claro (10YR 6/2); saturado; 90% arena fina a media; 10% finos no plásticos; sin olor a HC. | 0.00 | 12:38 | | | 6 |

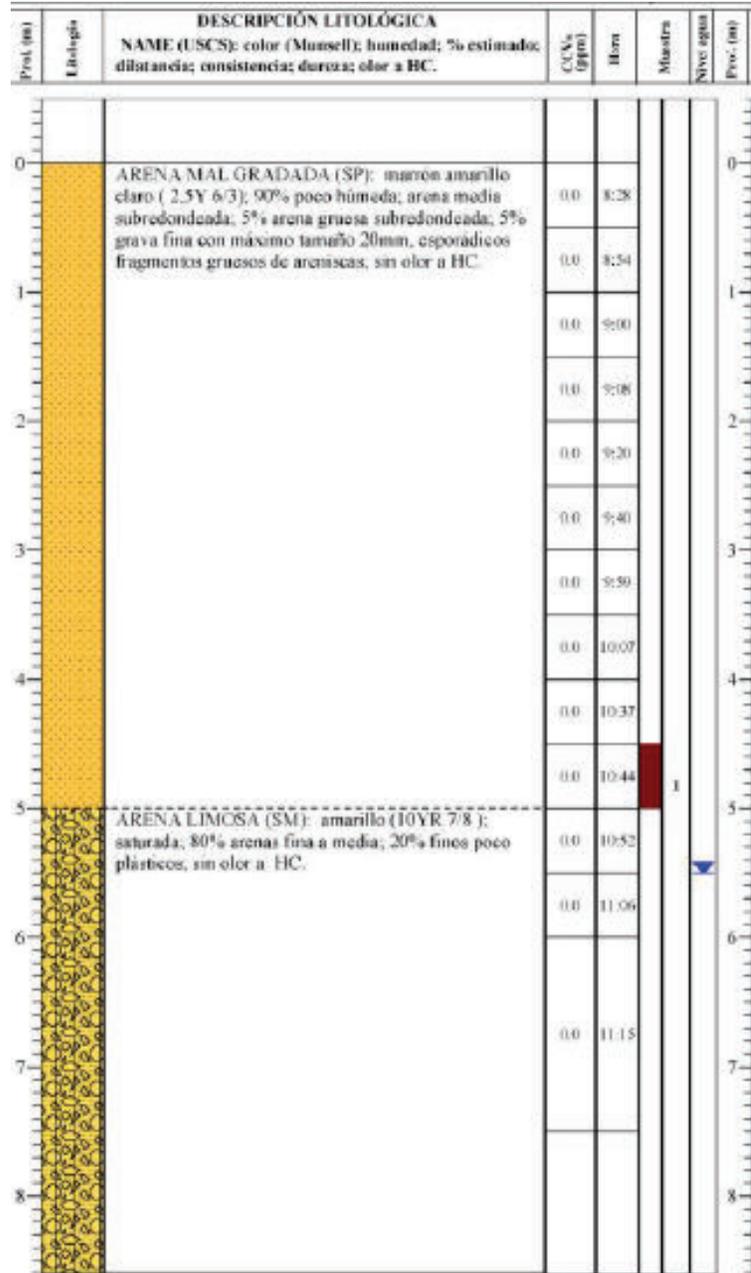
Nombre del Pozo: PM-15
 Coordenadas X: 684684.136
 Y: 9992550.956
 Elevación (m): 262.7
 Profundidad del Pozo (m): 8.19



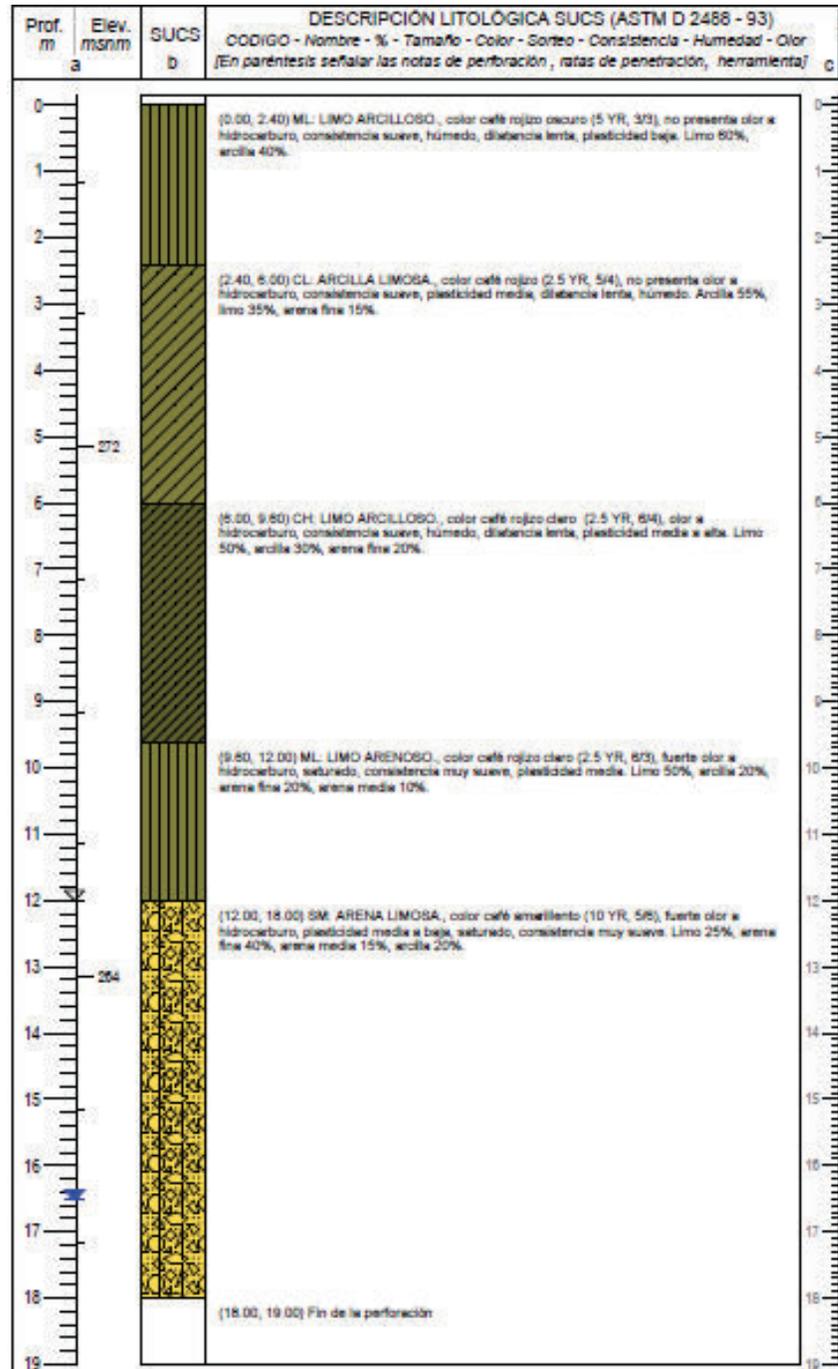
Nombre del Pozo: PI-1
 Coordenadas X: 684938.602
 Y: 9992389.624
 Elevación (m): 279.726
 Profundidad del Pozo (m): 24.100



Nombre del Pozo: PM-19
 Coordenadas X: 684530.272
 Y: 9992279.779
 Elevación (m): 261
 Profundidad del Pozo (m): 8.886



Nombre del Pozo: PV-1
 Coordenadas X: 684851.309
 Y: 9992375.346
 Elevación (m): 276.977
 Profundidad del Pozo (m): 17.700



Nombre del Pozo: PM-16
 Coordenadas X: 685016.663
 Y: 9992530.443
 Elevación (m): 265.4
 Profundidad del Pozo (m): 7.494

| Prof. (m) | Litología | DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA | | COVs (ppm) | Hora | Muestra | Nivel agua | Prof. (m) |
|-----------|-----------|---|--|------------|-------|---------|------------|-----------|
| | | NAME (USCS); color (Munsell); humedad; % estimado; dilatancia; consistencia; dureza; olor a HC. | | | | | | |
| 0 | | LIMO ARENOSO (ML): Café grisáceo(2.5Y, 5/2); húmedo; 60% arcilla medianamente plásticas; 40% arena fina; sin olor a HC. | | 0.0 | 10:36 | | | 0 |
| 1 | | LIMO DE PLASTICIDAD ALTA (MH): Café oliva claro (2.5Y, 5/6); húmedo; 100% finos de plasticidad media a baja; consistencia baja; dilatancia nula; blando; sin olor a HC. | | 0.0 | 10:41 | | | 1 |
| | | | | 0.0 | 10:47 | | | |
| | | | | 0.0 | 10:57 | | | |
| | | | | 0.0 | 11:09 | | | |
| | | | | 0.0 | 11:19 | | | |
| | | | | 0.0 | 11:42 | | | |
| 4 | | ARENA LIMOSA (SM): Amarillo pálido (2.5Y, 8/4); muy húmedo; 44% arena fina, 56% finos de plasticidad baja; sin olor a HC. | | 0.0 | 12:21 | | | 4 |
| | | LIMO ARENOSO (ML): Amarillo pálido (2.5Y, 8/4); saturado; 44% arenas finas, 56% finos no plásticos; sin olor a HC. | | 0.0 | 12:35 | 1 | | |
| | | | | 0.0 | 12:42 | | | |
| | | | | 0.0 | 13:26 | 2 | | |
| | | | | 0.0 | 13:34 | | | |
| | | | | 0.0 | 13:00 | | | |
| | | | | 0.0 | 13:14 | | | |
| | | | | 0.0 | 15:22 | | | |



ÁREA DE MECÁNICA DE SUELOS Y GEOTÉCNICA

INFORME DE ENSAYOS

ENSAYO DE CLASIFICACIÓN SUCS

OBRA: Estudio Pluma de Contaminación Poliducto EQM PK 128-300
LOCALIZACIÓN: La Concordia
MUESTRA: Tomada por el cliente
DESCRIPCIÓN: PEC-30-SR-5,00 - 5,50-280611
NORMA: ASTM D - 2484

N° DE RECEPCIÓN: S 1856
SOLICITADO POR: Ing. Freddy Caiza
FISCALIZACIÓN: Ing. Jovanny Horedia
CONTRATISTA: Hidrogeocol Ecuador Cta. Ltda.
FECHA: 14/07/2011

1.- CONTENIDO DE HUMEDAD

| Pcap. + sh. | Pcap. + ss. | Pcap. | % Humedad | Promedio |
|-------------|-------------|-------|-----------|----------|
| 92,01 | 66,78 | 17,77 | 51,48 | 51,50 |
| 78,30 | 57,87 | 18,22 | 51,53 | |

2.- LÍMITE PLÁSTICO

SUELO NO PLÁSTICO

3.- LÍMITE LÍQUIDO

SUELO NO PLÁSTICO

4.- ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

PESO Suelo Húmedo (gr.): 175,83

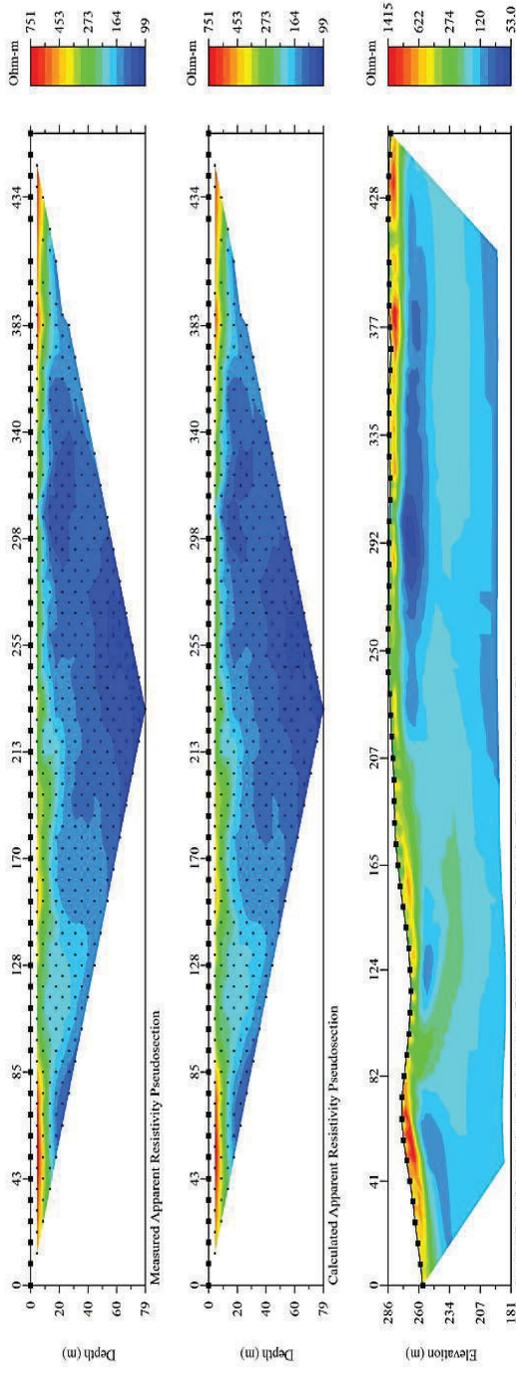
PESO Suelo Seco (gr.): 116,06

| TAMIZ N° | 1 1/2" | 1" | 3/4" | 1/2" | 3/8" | 4 | 10 | 40 | 200 |
|---------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|
| DÍAMETRO (mm) | 37,50 | 25,00 | 19,00 | 12,50 | 9,50 | 4,750 | 2,000 | 0,425 | 0,075 |
| PESO RET. ACUM. | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,55 | 51,17 |
| PORCENTAJE RETENIDO | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,47 | 44,09 |
| PORCENTAJE QUE PASA | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 99,53 | 55,91 |

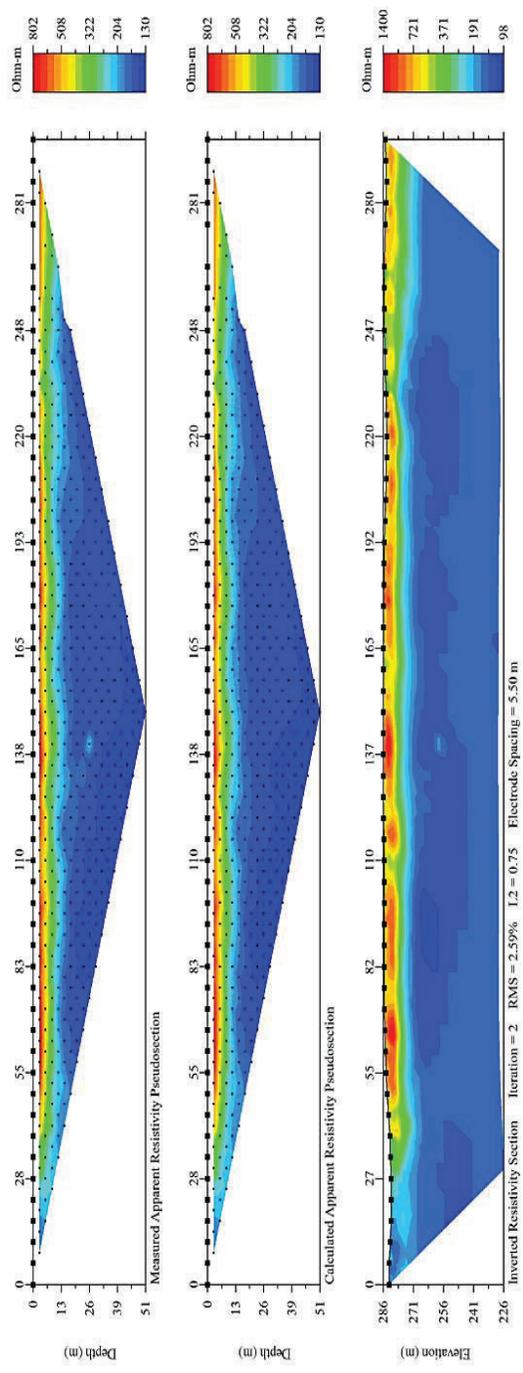


Anexo 2. Perfiles de tomografía eléctrica.

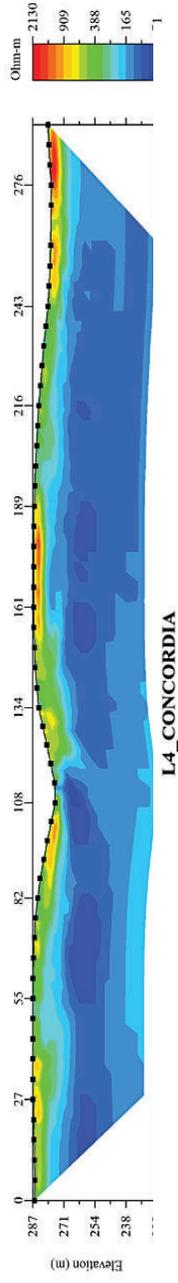
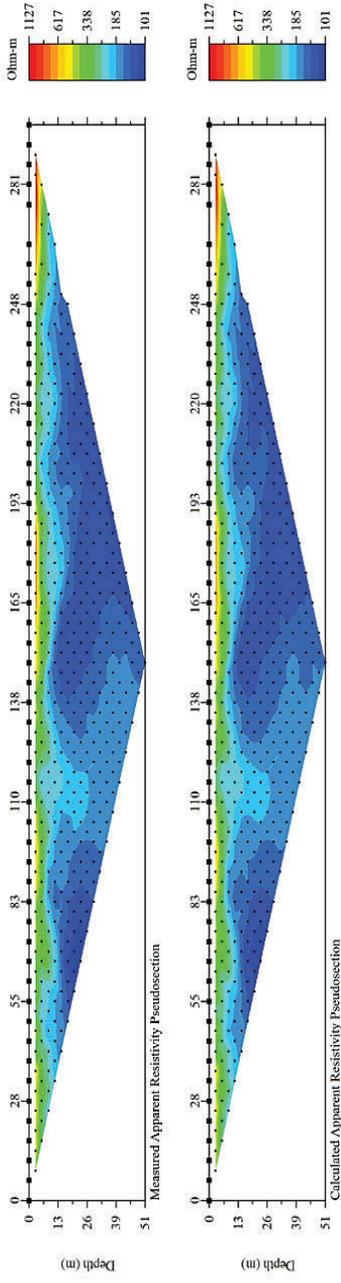
L1_CONCORDIA



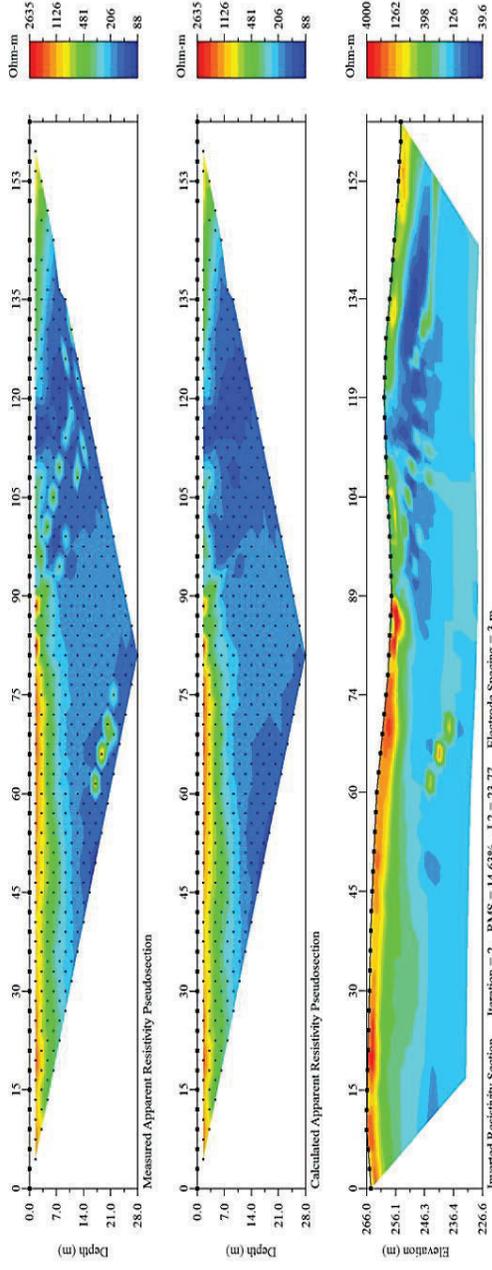
L2_TOPO



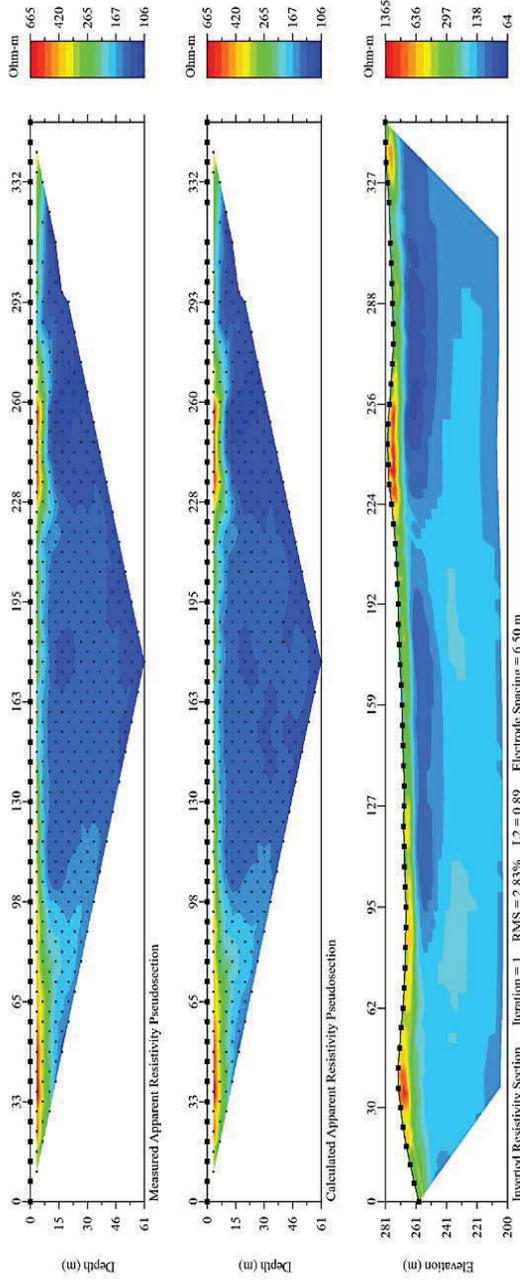
L3_CONCORDIA



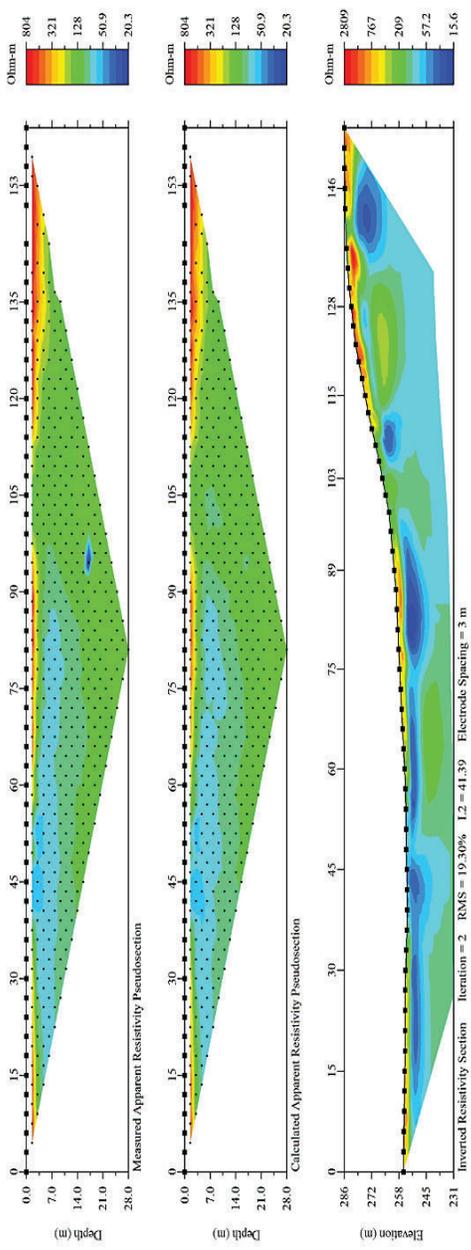
L4_CONCORDIA



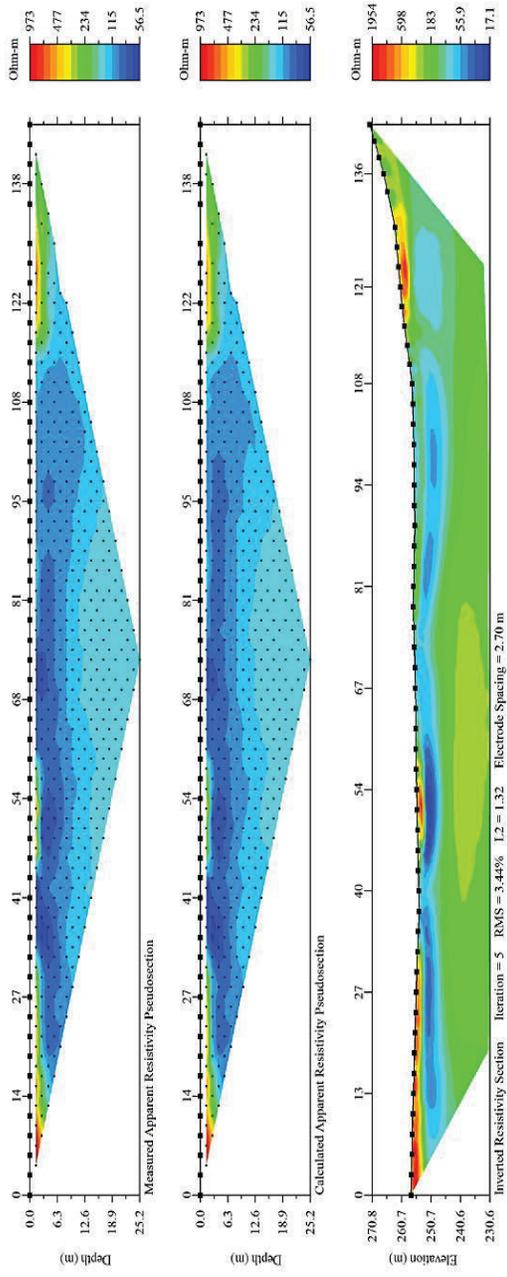
L5_CONCORDIA



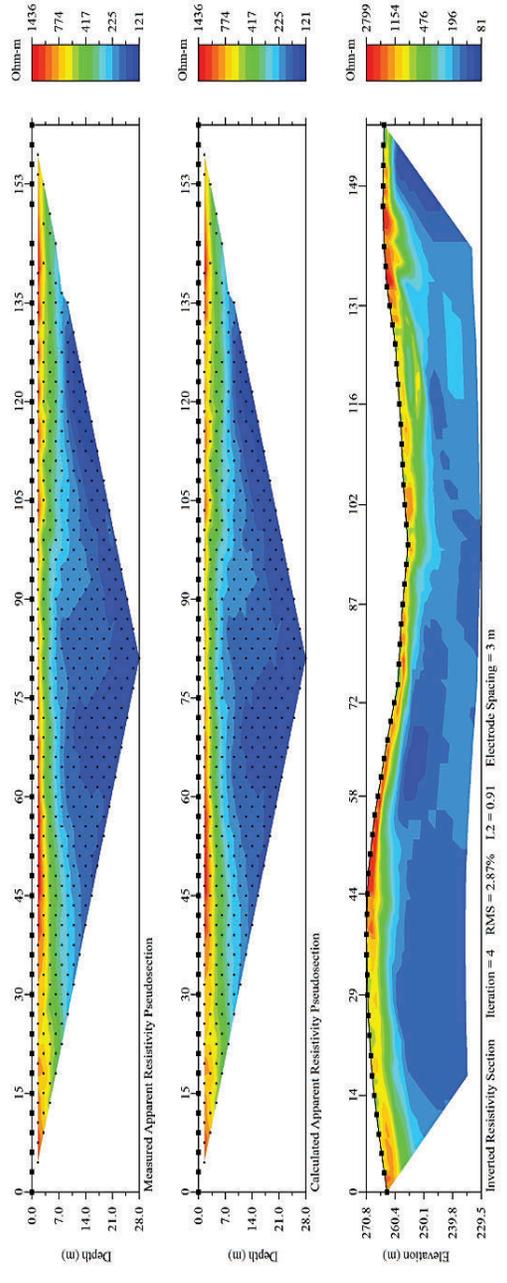
L6_CONCORDIA

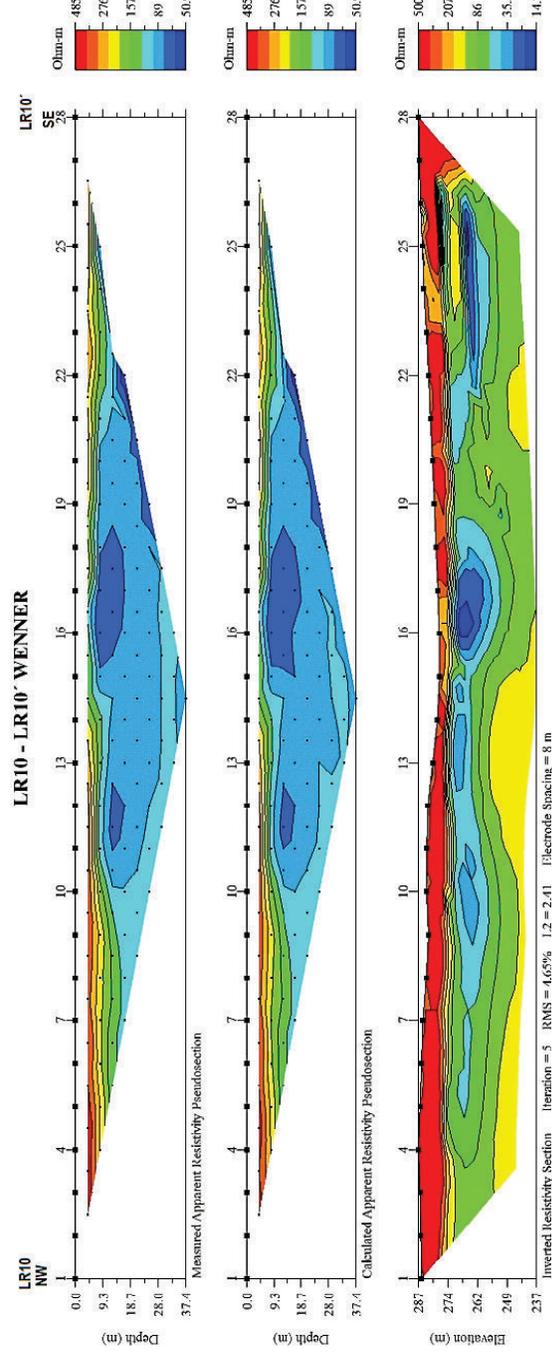
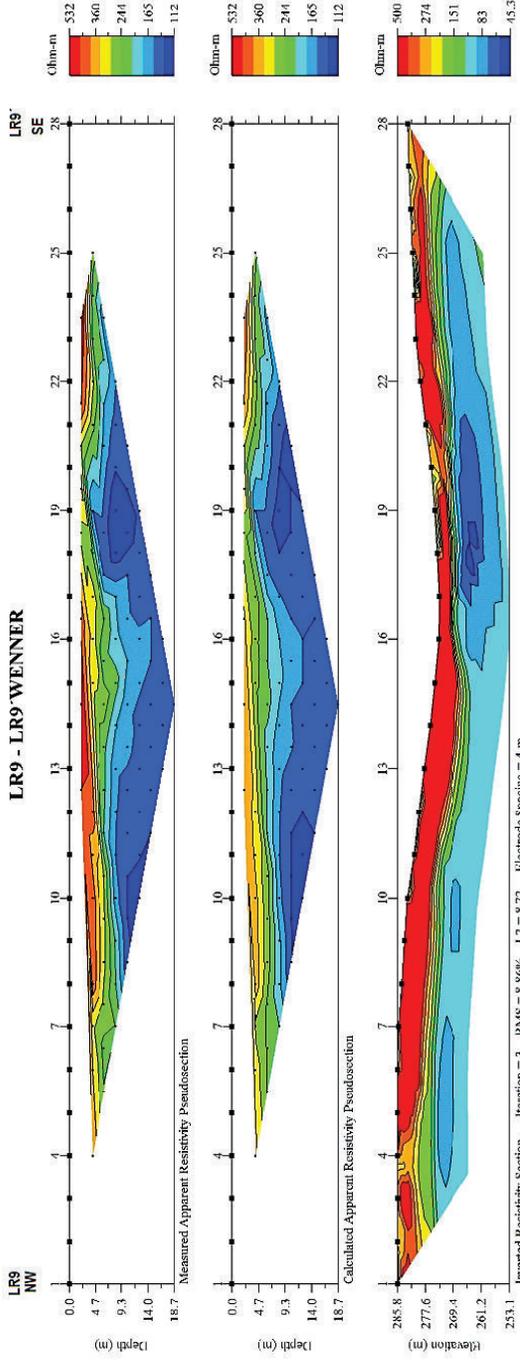


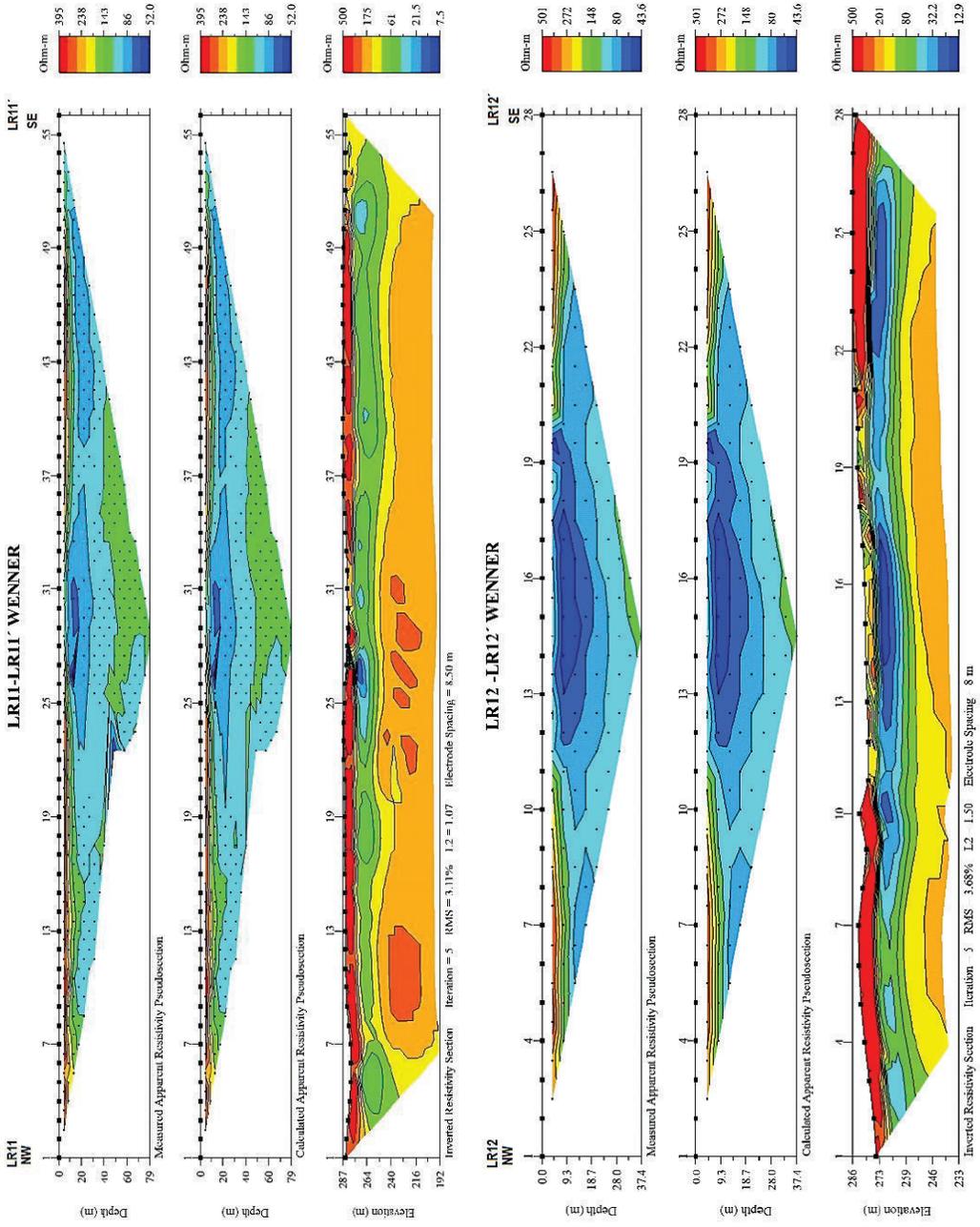
L7_CONCORDIA

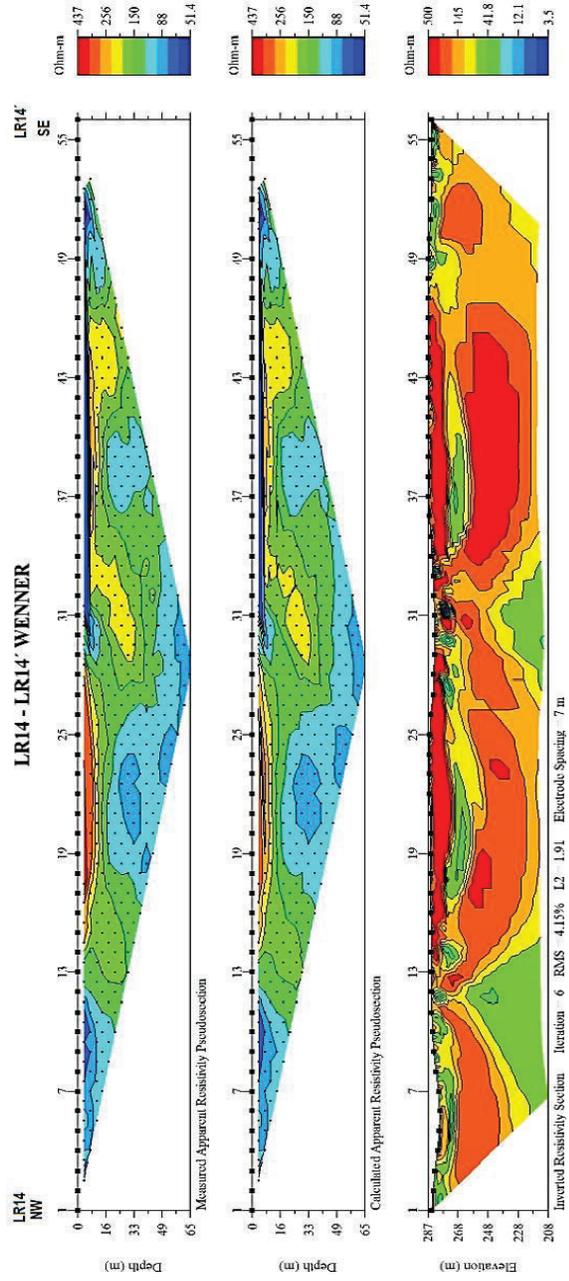
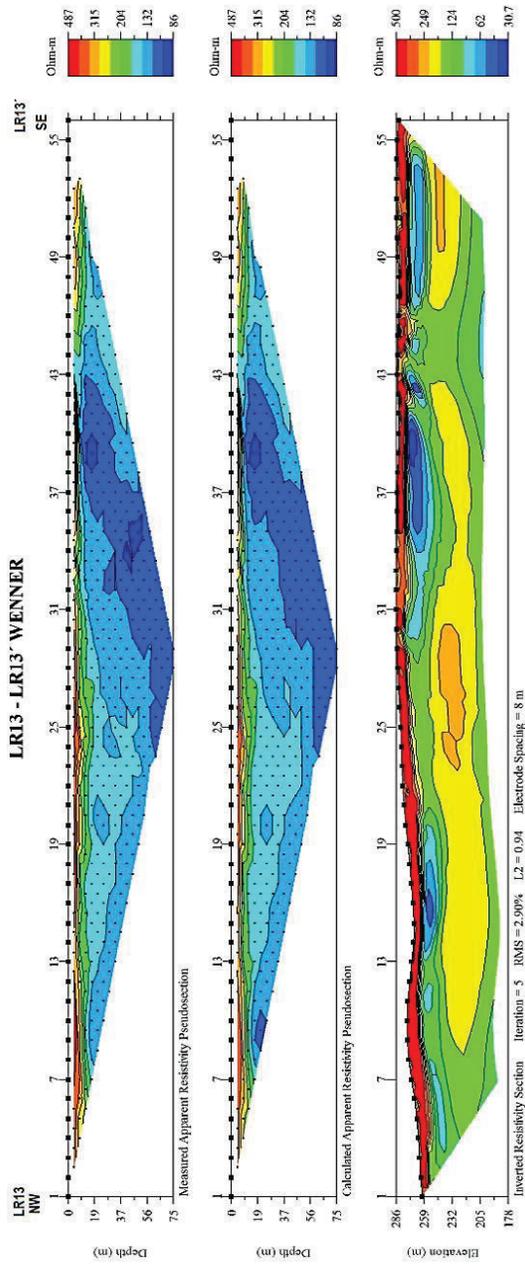


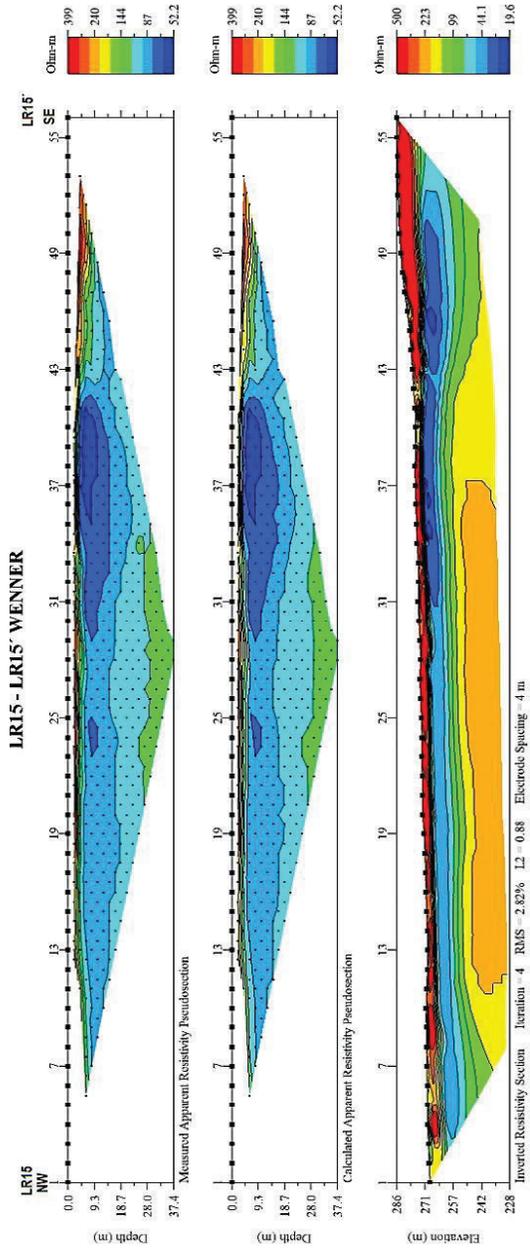
L8_CONCORDIA











Anexo 3. Registros de variables meteorológicas.

Período: 1963-2014

Código INAMHI: M0025

UTM X: 680265.781

Y: 9997266.322

Elevación: 379 msnm

Registros de precipitación (Estación La Concordia)

| Años | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | SUMA | MEDIA |
|------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|
| 1963 | | | 408 | 128,4 | | | 6,1 | 21,7 | 44,9 | 41,7 | 16,1 | 195,2 | 862,1 | 107,8 |
| 1964 | 467,7 | 453,2 | 716,5 | | | | | | | | | | 1637,4 | 545,8 |
| 1965 | 440,1 | 551,9 | 968,5 | 808,3 | 487,8 | 336,7 | 205 | 30,5 | 195,9 | 125,3 | 50,2 | 227,5 | 4427,7 | 369,0 |
| 1966 | 919,1 | 458,2 | 609,5 | 446,7 | 231,3 | 29,4 | 29,6 | 101,2 | 20,1 | 100,6 | 54,9 | 207,1 | 3207,7 | 267,3 |
| 1967 | 518,9 | 463,6 | 311,1 | 421,9 | 352,7 | 23,6 | 24,6 | 15,3 | 90,5 | 38 | 2,2 | 44,1 | 2306,5 | 192,2 |
| 1968 | 459,2 | 367,8 | 493,8 | 392,8 | 150,7 | 110,7 | 26,8 | 12 | 56 | 27,5 | 23,9 | 143,9 | 2265,1 | 188,8 |
| 1969 | 251,6 | 548,7 | 731,6 | 621,4 | 503,3 | 640,8 | 219,3 | 25,9 | 58,9 | 36,5 | 142,4 | 137 | 3917,4 | 326,5 |
| 1970 | 754,4 | 640,2 | 596,7 | 1197,3 | 599,8 | | 219,7 | 73,1 | 59 | 99,1 | 142,4 | 240,6 | 4622,3 | 420,2 |
| 1971 | 320,6 | 377,6 | 824,4 | 192,2 | 69 | | | | | | | | 1783,8 | 356,8 |
| 1972 | | 828,3 | 682,8 | | 391,5 | | | | | | | 321,6 | 2224,2 | 556,1 |
| 1973 | 566 | 390,2 | 776,5 | 973,9 | 677,1 | 217,1 | 119 | 61,2 | 109,1 | 77,8 | 22,6 | 93,3 | 4083,8 | 340,3 |
| 1974 | 140,6 | 498,9 | 205,4 | 586,5 | 181,7 | 114,4 | 8,8 | 4,2 | 65,1 | 100,4 | 53 | 307 | 2266 | 188,8 |
| 1975 | 446,1 | 528,3 | 818,1 | 798,8 | 287,9 | 211,6 | 29,7 | 52,2 | 39 | 37 | 26 | 147,4 | 3422,1 | 285,2 |
| 1976 | 718,7 | 374,7 | 896,1 | 614,6 | 480,8 | 352,7 | 149,4 | 42,2 | 23,6 | 4,2 | 0 | 177,4 | 3834,4 | 319,5 |
| 1977 | 416,1 | 646,6 | 863,5 | 537,4 | 99,6 | 157,8 | 30,2 | 19,7 | 70,3 | 22,4 | 2,4 | 227,3 | 3093,3 | 257,8 |
| 1978 | 419,9 | 437,9 | 367,5 | 567,1 | 355,4 | 51,1 | 39,9 | 12 | 36,3 | 55,5 | 26,5 | 87,6 | 2456,7 | 204,7 |
| 1979 | 387,6 | 397,3 | 414,3 | 449,5 | 137,8 | 254,1 | 18,1 | 68,1 | 116,7 | 7,3 | 3,2 | 62,5 | 2316,5 | 193,0 |
| 1980 | 334,1 | 432 | 552,8 | 459,7 | 272,8 | 107,7 | 2,2 | 22,9 | 2,9 | 59,3 | 30,3 | 54,5 | 2331,2 | 194,3 |
| 1981 | 330,3 | 720 | 502,9 | 373,9 | 13,8 | 7,3 | 40,8 | 94,1 | 53,3 | 14,7 | 22,9 | 199,7 | 2373,7 | 197,8 |
| 1982 | 504,2 | 472,6 | 293,6 | 479,9 | 478,2 | 36,5 | 181,7 | 5,9 | 43,6 | 542,4 | 594,5 | 521,3 | 4154,4 | 346,2 |
| 1983 | 976,8 | 854,3 | 892,5 | 522,5 | 564,2 | 771 | 545,9 | 312,7 | 471,5 | 109,3 | 74,6 | 93,1 | 6188,4 | 515,7 |
| 1984 | 147,9 | 822,4 | 630,9 | 684 | 195,2 | 101,4 | 9,3 | 22,8 | 118,6 | 41,1 | 29,9 | 210,5 | 3014 | 251,2 |
| 1985 | 269,7 | 480,5 | 321,8 | 267,1 | 310,5 | 258,4 | 19,6 | 28,8 | 53,9 | 8,3 | 18,5 | | 2037,1 | 185,2 |

| Años | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | SUMA | MEDIA |
|---------------|---------|---------|---------|---------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|
| 1986 | 785,1 | 371,1 | 545,5 | 831,1 | 117 | 22 | 7,6 | 25,3 | 18,7 | 47,4 | 49 | 333,4 | 3153,2 | 262,8 |
| 1987 | 756,5 | 1016,2 | 925,7 | 703,8 | 383,8 | 22,7 | 3 | 149,8 | 30,1 | 27,4 | 33,9 | 258,1 | 4311 | 359,3 |
| 1988 | 572,7 | 691,3 | 275,4 | 683,2 | 38,3 | 38,3 | 82,4 | 29,7 | 48,2 | 44,8 | 31,3 | 124,4 | 2621,7 | 238,3 |
| 1989 | 545,1 | 612,9 | 174,5 | 778,2 | 334,1 | 135 | 40 | 8 | 26,8 | 155 | 30,2 | 112,4 | 2952,2 | 246,0 |
| 1990 | 357,7 | 503,4 | 454,1 | 671,2 | 101 | 123 | 45,1 | 40,6 | 9,6 | 33 | 11,6 | 171,5 | 2521,8 | 210,2 |
| 1991 | 323,3 | 759,6 | 565 | 681,6 | 421,1 | 40,3 | 50,4 | 15,2 | 29,7 | 26,3 | 83,2 | 246,9 | 3242,6 | 270,2 |
| 1992 | 381,2 | 511,9 | 712,3 | 713,5 | 674,1 | 271,6 | 58,5 | 27 | 18 | 60,6 | 20,1 | 76,8 | 3525,6 | 293,8 |
| 1993 | 596 | 754 | 666,9 | 1101,7 | 176,1 | 80,9 | 112,2 | 16,1 | 65,4 | 12,4 | 44,8 | 178,2 | 3804,7 | 317,1 |
| 1994 | 511,6 | 622,4 | 714,6 | 626,3 | 376,8 | 113 | 2,5 | 3,6 | 25,3 | 39,1 | 51,4 | 223,4 | 3310 | 275,8 |
| 1995 | 558,1 | 565 | 355,4 | 574 | 248,5 | 103,3 | 48,7 | 58,7 | 9,6 | 99,7 | 14,4 | 251,8 | 2887,2 | 240,6 |
| 1996 | 323,6 | 543,8 | 723,9 | 283,8 | 201,6 | 75,4 | 23,6 | 27,4 | 12,3 | 19,8 | 9,6 | 34,9 | 2279,7 | 190,0 |
| 1997 | 425,3 | 566,5 | 569,2 | 777,4 | 556,9 | 713 | 413,7 | 518,5 | 849,6 | 757,2 | 509,7 | 530,6 | 7187,6 | 599,0 |
| 1998 | 750 | 482,1 | 966,7 | 973,6 | 912,8 | 500,2 | 417,6 | 56,5 | 82,6 | 13,9 | 32,1 | 46,7 | 5214,8 | 434,6 |
| 1999 | 276,3 | 609,2 | 580,7 | 911,7 | 437 | 123,1 | 36,2 | 22 | 124,8 | 65,2 | 45 | 122,9 | 3354,1 | 279,5 |
| 2000 | 156,7 | 430,3 | 466,2 | 603,6 | 269,9 | 105,3 | 7,8 | 18,5 | 64,4 | 79,1 | 6,2 | 74,3 | 2282,3 | 190,2 |
| 2001 | 449,1 | 376,9 | 717,3 | 808 | 198,4 | 11,6 | 31,1 | 0,9 | 33,9 | 4,8 | 7,5 | 82,5 | 2722 | 226,8 |
| 2002 | 340,5 | 606,2 | 629 | 682,4 | 526,6 | 257,3 | 15,8 | 8,2 | 108 | 86,1 | 47,1 | 496,1 | 3803,3 | 316,9 |
| 2003 | 660,3 | 539,9 | 498 | 660,1 | 327,9 | 85,5 | 58 | 35,8 | 3 | 130,6 | 21,7 | 287,8 | 3308,6 | 275,7 |
| 2004 | 287,9 | 630,1 | 433,9 | 287,9 | 367 | 71 | 15,5 | 6 | 81,7 | 99 | 48,7 | 33,9 | 2362,6 | 196,9 |
| 2005 | 177,1 | 332,2 | 796,7 | 778,7 | 26,8 | 4 | 2,1 | 4,3 | 24,3 | 33,4 | 22,3 | 167,7 | 2369,6 | 197,5 |
| 2006 | 262,2 | 482,7 | 676 | 466 | 192 | 88,7 | 18,4 | 97 | 48,9 | 25,1 | 374,9 | 53,2 | 2785,1 | 232,1 |
| 2007 | 563,2 | 633,8 | 774 | 620,3 | 665,9 | 238 | 90,3 | 19,6 | 33,6 | 17,2 | 32,4 | 95,3 | 3783,6 | 315,3 |
| 2008 | 823,7 | 639,7 | 503,2 | 478,9 | 161,4 | 89,5 | 118,4 | 71,8 | 152 | 55,4 | 25,8 | 76,5 | 3196,3 | 266,4 |
| 2009 | 573,5 | 298,7 | 442,3 | 453,5 | 257,4 | 9 | 39,2 | 21,7 | 6,8 | 8,1 | 7,7 | 470,6 | 2588,5 | 215,7 |
| 2010 | 365,7 | 605,7 | 661,6 | 687,9 | 449,9 | 60,4 | 87,7 | 72,2 | 45,2 | 13,2 | 99,4 | 405,4 | 3554,3 | 296,2 |
| 2011 | 789 | 218,6 | 446,9 | 423,6 | 91,6 | 119,2 | 113,7 | 20,4 | 65 | 48,3 | 3,6 | 117,4 | 2457,3 | 204,8 |
| 2012 | 688,8 | 706 | 989,9 | 573,5 | 694,3 | 221,4 | 14,5 | 6 | 4,9 | 73,7 | 42,9 | 28,8 | 4044,7 | 337,1 |
| 2013 | 692,7 | 518,7 | 566,7 | 582,2 | 152,1 | 38,9 | 30,3 | 9,5 | 7,1 | 26,6 | 7,2 | 138,6 | 2770,6 | 230,9 |
| 2014 | 478,2 | 532,6 | 392,7 | 553,6 | 584,6 | 153,2 | 27,8 | 28,3 | | | | | 2751 | 343,9 |
| suma | 24260,7 | 27886,7 | 31103,1 | 30495,2 | 16747,7 | 7697,1 | 3937,8 | 2445,1 | 3758,7 | 3650,8 | 3050,2 | 8938,7 | | |
| media | 485,2 | 546,8 | 598,1 | 609,9 | 341,8 | 163,8 | 80,4 | 49,9 | 78,3 | 76,1 | 63,5 | 186,2 | 3280,0 | 273,3 |
| mínima | 140,6 | 218,6 | 174,5 | 128,4 | 13,8 | 4 | 2,1 | 0,9 | 2,9 | 4,2 | 0 | 28,8 | | |
| máxima | 976,8 | 1016,2 | 989,9 | 1197,3 | 912,8 | 771 | 545,9 | 518,5 | 849,6 | 757,2 | 594,5 | 530,6 | | |

Período: 1962-2014
 Código INAMHI: M116
 UTM X: 746884.196
 Y: 9976709.46
 Elevación: 1750 msnm

Registros de precipitación (Estación Chiriboga)

| Años | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | SUMA | MEDIA |
|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|
| 1962 | | | | | | | | | | | 51,8 | 33,2 | 85,0 | 42,5 |
| 1963 | 391,3 | 179,2 | 314,9 | 220,8 | 150,6 | 44,1 | | 9 | 30,5 | 25,9 | 35,2 | 254,2 | 1655,7 | 150,5 |
| 1964 | 249,2 | 164,4 | 165,3 | 279,6 | 138,5 | 170,3 | 68 | 115 | 64,6 | 111 | 191,9 | 116,9 | 1834,7 | 152,9 |
| 1965 | 278,2 | 138,9 | 284,1 | 392,1 | 213,4 | 141,9 | 23,6 | 20,1 | 153,3 | 167,1 | 126,8 | 215,3 | 2154,8 | 179,6 |
| 1966 | 268,7 | 263,3 | 318,5 | 185,9 | 253,6 | 65,1 | 36,2 | 83,2 | 90,7 | 215,5 | 63,4 | 153,4 | 1997,5 | 166,5 |
| 1967 | 362,3 | 479,7 | 399,4 | 114 | 236,2 | 91,6 | 35,8 | 23,9 | 51,5 | 96,6 | 27 | 80,2 | 1998,2 | 166,5 |
| 1968 | 280,2 | 152,4 | 518,1 | 320,9 | 82,2 | 43,8 | 81,3 | 25,7 | 97,9 | 113,9 | 130,8 | 126,9 | 1974,1 | 164,5 |
| 1969 | 162,8 | 241,7 | 422,4 | 557,7 | 133,5 | 222,7 | 26,7 | 18,6 | 58 | 42 | 82 | 352,8 | 2320,9 | 193,4 |
| 1970 | 501,7 | 327,6 | 123,1 | 491 | 263,3 | 38,8 | 32,9 | 19,6 | 126,9 | 85,5 | 116,7 | 160,6 | 2287,7 | 190,6 |
| 1971 | 395 | 414,9 | 619,7 | 310,8 | 170,3 | 158,8 | 36,9 | 116,5 | 151,3 | 179,5 | 160,7 | 193,7 | 2908,1 | 242,3 |
| 1972 | 460,6 | 391,4 | 482,6 | 327 | 394,7 | 402,1 | 104,7 | 85,9 | 219,3 | 253,9 | 152,5 | 337,6 | 3612,3 | 301,0 |
| 1973 | 317,9 | 479 | 570,2 | 628,8 | 329,9 | 181,8 | 71,7 | 117,5 | 90,3 | 154,5 | 81,9 | 163,8 | 3187,3 | 265,6 |
| 1974 | 283 | 502,5 | 540,1 | 427,8 | 254,6 | 114,9 | 24,4 | 39,1 | 67,5 | 85,8 | 213,2 | 165,1 | 2718,0 | 226,5 |
| 1975 | 212,9 | 420 | 376,2 | 368,7 | 344,2 | 208,7 | 38,2 | 166,6 | 143,2 | 94,7 | 53,7 | 155,6 | 2582,7 | 215,2 |
| 1976 | 480,2 | 437,5 | 440,5 | 441,1 | 296,7 | 120,6 | 20,4 | 53,1 | 30,4 | 22,4 | 154,1 | 255,8 | 2752,8 | 229,4 |
| 1977 | 274 | 192,9 | 465,4 | 287,3 | 98,9 | 118,7 | 49,5 | 22,4 | 115,3 | 48,2 | 14,6 | 209,2 | 1896,4 | 158,0 |
| 1978 | 302,6 | 322,7 | 263,5 | 388,6 | 326,5 | 19,1 | 71,4 | 7,8 | 111,7 | 29,4 | 20,1 | 195 | 2058,4 | 171,5 |
| 1979 | 138,5 | 167,4 | 318,8 | | 143,4 | 52,5 | 24,9 | 30,6 | 27,3 | 0 | 18,4 | 50,2 | 972,0 | 88,4 |
| 1980 | 328,9 | 385,6 | 197,7 | 441,8 | 342,9 | 190,4 | 2,4 | 0 | 0 | 75,8 | 113,3 | 100,1 | 2178,9 | 181,6 |
| 1981 | 209,2 | 727,8 | 910,5 | 428,8 | 147,9 | 80,9 | 85 | 156,1 | 227,5 | 103,7 | 73,6 | 132,9 | 3283,9 | 273,7 |
| 1982 | 313,7 | 142,5 | 289,3 | 462,9 | 215,7 | 17 | 50,8 | 95,5 | 217,6 | 363,3 | 555,2 | 415,3 | 3138,8 | 261,6 |
| 1983 | 390,2 | 229,5 | 551,8 | 361,7 | 210,6 | 123,2 | | | | | | | 1867,0 | 311,2 |
| 1984 | | | | | | | | | | | | | 0,0 | 0,0 |
| 1985 | 458,2 | | | | | | | 34 | 43,5 | 28,9 | 70,1 | 247,3 | 882,0 | 147,0 |

| Años | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | SUMA | MEDIA |
|---------------|---------|---------|---------|---------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|--------|-------|
| 1986 | 458,2 | 446,9 | 221,6 | 404,2 | 232,2 | 49,1 | 6,6 | 0 | 30 | 45,5 | 160,6 | 161,6 | 2216,5 | 184,7 |
| 1987 | 368,7 | 234,7 | 309,9 | 246,9 | 278,8 | 74,9 | 65 | 85,2 | 94,8 | 61,4 | 16,8 | 122,6 | 1959,7 | 163,3 |
| 1988 | | | | | | | | | | | | | 0 | 0,0 |
| 1989 | 467,4 | 364,3 | 249,2 | 332,3 | 224,7 | 111,7 | 31,2 | | | | 75,3 | 193,1 | 2049,2 | 227,7 |
| 1990 | 172,7 | 545 | 310,5 | 420 | 142,8 | 52,6 | 45 | 36,9 | 55,7 | 183,4 | 75,1 | 140,5 | 2180,2 | 181,7 |
| 1991 | 336,3 | 378,7 | 496,3 | 328,1 | 386,1 | 143,8 | 101,7 | 32,4 | 67,7 | 64,4 | 157,8 | 156,2 | 2649,5 | 220,8 |
| 1992 | 395,3 | 334 | 447,6 | 405,6 | 316 | 116,4 | 25,8 | 31,5 | 119,1 | 35,4 | 10,4 | 80,6 | 2317,7 | 193,1 |
| 1993 | 249,2 | | 230,9 | 364,8 | 225,2 | 66 | 67 | 26,5 | 199,1 | 120,8 | 93,1 | 189,1 | 1831,7 | 166,5 |
| 1994 | 559,3 | 321,1 | | 549,3 | 229,5 | 144,3 | 41,9 | 31,9 | 145,6 | 158,6 | 340,6 | 475,1 | 2997,2 | 272,5 |
| 1995 | 438,3 | 405,7 | 442,4 | 681,3 | 412,7 | 532,9 | 409,8 | 201,8 | 125 | 224,5 | 70,9 | 69,1 | 4014,4 | 334,5 |
| 1996 | 505,4 | 360,7 | 413,7 | 523,2 | 464,4 | 152,9 | 32,7 | 62,6 | 139,6 | 97,3 | 97,3 | 221,9 | 3071,7 | 256,0 |
| 1997 | 550,7 | 213,2 | 381,1 | 206,1 | 167,6 | 192,8 | 37,5 | 0 | 260,1 | 401,2 | 508,3 | 242,2 | 3160,8 | 263,4 |
| 1998 | 176,8 | 387,2 | 486,3 | 688,6 | 368 | 317,8 | 207 | 10 | 188,7 | 334,3 | 297,8 | 73,6 | 3516,1 | 293,0 |
| 1999 | 573 | 537,1 | 394,6 | 516,6 | 407,9 | 520,8 | 97 | 127,3 | 551,5 | 298,7 | 403,5 | 418 | 4846 | 403,8 |
| 2000 | 659,4 | 405,8 | 619,1 | 675,6 | 550,7 | 209,7 | 122,1 | 382,6 | 220,2 | 22 | 70,5 | 309,2 | 4246,9 | 353,9 |
| 2001 | 483,6 | 519,4 | 460,5 | 655 | 391,9 | 379,6 | 97 | 0 | 473,3 | 0 | 191,7 | 516,1 | 4168,1 | 347,3 |
| 2002 | 626,7 | 694,1 | 754,3 | 901,7 | 892,3 | 12 | 410,7 | 0 | 57,1 | 560,2 | 590,2 | 771,8 | 6261,1 | 521,8 |
| 2003 | 745,7 | 720 | 922,9 | 773,4 | 664,6 | 472,1 | | 210,1 | 649 | 649,2 | 584,5 | 568,2 | 6959,7 | 632,7 |
| 2004 | 306,1 | 446,2 | 580,8 | 869,2 | 546,7 | | 17,7 | 37,2 | 430,8 | 390,4 | 161,2 | 367,9 | 4154,2 | 377,7 |
| 2005 | 753,6 | 566,6 | 671,4 | 397,7 | 45,9 | 106,9 | 158,4 | 0 | 74,6 | 481,8 | 315,7 | 459,6 | 4032,2 | 336,0 |
| 2006 | 409,6 | 268,6 | 318,9 | 533,2 | 164,1 | | 71,5 | 107,1 | 36,2 | 74,7 | 169,7 | 169,2 | 2322,8 | 211,2 |
| 2007 | 125,9 | 272,7 | 491,2 | 410,9 | 298,4 | 283,7 | 126,9 | 221,4 | 173,5 | 361,9 | 278,2 | 205,2 | 3249,9 | 270,8 |
| 2008 | 260,2 | 373,4 | 537,9 | 430,5 | 243,4 | 325,9 | 301,9 | 360,1 | 169,9 | 301 | 307,7 | 453,8 | 4065,7 | 338,8 |
| 2009 | 610,6 | 336,3 | 627,3 | 470 | 516,8 | 381,5 | 178,2 | 195,8 | 0 | 45 | 142,3 | 440,4 | 3944,2 | 328,7 |
| 2010 | 331,3 | 345,2 | 407,3 | 288,1 | 281 | 288,5 | 431,6 | 71,8 | 473,2 | 393,9 | 401,3 | 603,7 | 4316,9 | 359,7 |
| 2011 | 666,2 | 462,4 | 365,6 | | | | 347,5 | 329,5 | 433,2 | 491,6 | 589,7 | 685,5 | 4371,2 | 485,7 |
| 2012 | 908,3 | 872,9 | 888,9 | 649,9 | 657,7 | 647,7 | 215,7 | 0 | 79,2 | 472,9 | 608,8 | 584,2 | 6586,2 | 548,9 |
| 2013 | 428,5 | 547 | 773,7 | 384,2 | 172,5 | 490,5 | 596 | 370,3 | 225,1 | 336 | 143,5 | 409,6 | 4876,9 | 406,4 |
| 2014 | 705,3 | 538 | 669,2 | 541,1 | 515,3 | 147,6 | | 0 | 209,8 | | | | 3326,3 | 415,8 |
| suma | 20331,6 | 18658,1 | 22045,2 | 21064,8 | 14534,8 | 8828,7 | 5128,2 | 4172,2 | 7800,3 | 8903,7 | 9369,5 | 13203,1 | | |
| media | 406,6 | 388,7 | 459,3 | 448,2 | 302,8 | 191,9 | 114,0 | 86,9 | 162,5 | 189,4 | 191,2 | 269,5 | 3211,0 | 267,6 |
| mínima | 125,9 | 138,9 | 123,1 | 114 | 45,9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 10,4 | 33,2 | | |
| máxima | 908,3 | 872,9 | 922,9 | 901,7 | 892,3 | 647,7 | 596 | 382,6 | 649 | 649,2 | 608,8 | 771,8 | | |

Período: 1963-2014
 Código INAMHI: M0026
 UTM X: 684867.084
 Y: 9947352.56
 Elevación: 319 msnm

Registros de precipitación (Puerto Ila)

| Años | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | SUMA | MEDIA |
|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|
| 1963 | | 245,2 | 393,8 | 316,5 | 248,6 | 23,7 | 8,7 | 10 | 31,7 | 53 | 27,2 | 240,4 | 1598,8 | 145,3 |
| 1964 | 664,3 | 442,7 | 564,9 | 532,7 | 157 | 54,1 | 42,3 | 103,7 | 71 | 117,1 | 84,4 | 45 | 2879,2 | 239,9 |
| 1965 | 384,6 | 338,3 | 632,1 | 798,8 | 368,7 | 221,3 | 45,5 | 32,8 | 78,6 | 145,2 | 54,3 | 185,4 | 3285,6 | 273,8 |
| 1966 | 542,4 | 512,3 | 663,8 | 324,3 | 241,2 | 119,1 | 13,1 | 74,3 | 34,1 | 103,8 | 60,9 | 120,1 | 2809,4 | 234,1 |
| 1967 | 438,4 | 672 | 429,5 | 239,5 | 275,1 | 48,9 | 30,5 | 33,1 | 59,9 | 43,3 | 8,4 | 168,9 | 2447,5 | 204,0 |
| 1968 | 442,5 | 306,6 | 318,7 | 161,1 | 61,7 | 111,7 | 14,9 | 32,3 | 91,3 | 36,9 | 38,3 | 135,8 | 1751,8 | 146,0 |
| 1969 | 320,9 | 226,4 | 536,7 | 729,8 | 214,3 | 427,7 | 37,6 | 66,2 | 33,9 | 24,2 | 89,1 | 154,1 | 2860,9 | 238,4 |
| 1970 | 323,4 | 464,5 | 198,2 | 676,3 | 261,2 | 121,7 | 71,4 | 52,1 | 39,9 | 74,5 | 64,5 | 209,9 | 2557,6 | 213,1 |
| 1971 | 346 | 272,4 | 915,5 | 569,7 | 21,8 | 94,1 | 19 | 17,3 | 56,2 | 62,1 | 25 | 194,3 | 2593,4 | 216,1 |
| 1972 | 571,8 | 659,6 | 607,6 | 549,2 | 323,3 | 550,1 | 136,6 | 130,6 | 94 | 210,6 | 59,7 | 294,2 | 4187,3 | 348,9 |
| 1973 | 390,4 | 683,4 | 532,4 | 547,1 | 243,5 | 150,2 | 63,1 | 45,1 | 103,4 | 84,6 | 37,5 | 92,3 | 2973 | 247,8 |
| 1974 | 253,7 | 617,9 | 159,7 | 270,6 | 164,3 | 94,5 | 21,6 | 13,6 | 43,6 | 41,8 | 48,6 | 264 | 1993,9 | 166,2 |
| 1975 | 447,4 | 643,2 | 650,2 | 451,4 | 160,9 | 169,2 | 41,1 | 37,9 | 28,7 | 49,9 | 51,8 | 135,7 | 2867,4 | 239,0 |
| 1976 | 695 | 526,5 | 594,7 | 681,6 | 338 | 134 | 61,8 | 53,9 | 30,9 | 7,8 | 101,7 | 206,7 | 3432,6 | 286,1 |
| 1977 | 356,9 | 408,9 | 672,9 | 449,1 | 76,1 | 127,5 | 23,9 | 22,6 | 79,1 | 37 | 7,9 | 146,3 | 2408,2 | 200,7 |
| 1978 | 335,3 | 499 | 448,1 | 385,9 | 286,2 | 51,2 | 30,6 | 21,3 | 29,2 | 25,2 | 64,2 | 67,6 | 2243,8 | 187,0 |
| 1979 | 444,5 | 325,2 | 584,4 | 270,8 | 183,6 | 175,4 | 18,3 | | | 70,9 | 15,7 | 48,8 | 2137,6 | 213,8 |
| 1980 | 372,2 | | 219,7 | 574,3 | 230,7 | 42,8 | 7,3 | 43,8 | 6,3 | 87 | 49,2 | 81,4 | 1714,7 | 155,9 |
| 1981 | | | | 445,2 | | | | | 43,9 | 39,7 | 18,6 | 131,1 | 678,5 | 135,7 |
| 1982 | 683,4 | 439,7 | 252,6 | 327,6 | 203,5 | 16,8 | 25,9 | 9,2 | 20,6 | 649,5 | 609 | 799,6 | 4037,4 | 336,5 |
| 1983 | 762,5 | 463 | 804,5 | 452,6 | 520 | 393,5 | 390,2 | 325,1 | 362,6 | 183 | 128,3 | 329,6 | 5114,9 | 426,2 |
| 1984 | 125,5 | 630,3 | 389,2 | 497,7 | 221,2 | 157,6 | 25,8 | 29,3 | 49,4 | 28,9 | 31,1 | 435,3 | 2621,3 | 218,4 |
| 1985 | 450,8 | 278,4 | 440,9 | 140,4 | 166,9 | 79,6 | 19,6 | 30,2 | 28,5 | 21,5 | 24,5 | 201 | 1882,3 | 156,9 |

| Años | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | SUMA | MEDIA |
|---------------|---------|---------|---------|---------|-------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|---------|--------|-------|
| 1986 | 529,9 | 316 | 305,5 | 580,2 | 91,4 | 8,3 | 8,7 | 30,7 | 34,6 | 82,5 | 69,8 | 226,7 | 2284,3 | 190,4 |
| 1987 | 490,2 | 496,8 | 739 | 411,2 | 421,2 | 24 | 40,1 | 56,6 | 78,5 | 50,4 | 35,5 | 149,1 | 2992,6 | 249,4 |
| 1988 | 612,3 | 531,8 | 164,2 | 486,3 | 373,1 | 52,3 | 30,2 | 19,5 | 34,3 | 27,1 | 49,1 | 121,1 | 2501,3 | 208,4 |
| 1989 | 69,7 | 443,3 | 735,1 | 499,3 | 124,6 | 82,2 | 35,9 | 18,4 | 35,6 | 80,4 | 30 | 243,1 | 2397,6 | 199,8 |
| 1990 | 189,2 | 287,9 | 483,5 | 483,5 | 84,4 | 83,5 | 68,1 | 4,4 | 9 | 47 | 19,6 | 161,9 | 1438,5 | 130,8 |
| 1991 | 321,9 | 638,6 | 322 | 321,2 | 201,2 | 81,4 | 19,6 | 36,2 | 12,3 | 45,2 | 41,2 | 133,5 | 2174,3 | 181,2 |
| 1992 | 457,5 | 858,3 | 524,9 | 791,6 | 541,8 | 240,6 | 159,2 | 34,1 | 18,2 | 32,6 | 41 | 146,7 | 3846,5 | 320,5 |
| 1993 | 455,3 | 0 | 733,1 | 0 | 91,4 | 48,5 | 69 | 36 | 99 | 32,3 | 28,8 | 206,4 | 1799,8 | 150,0 |
| 1994 | 583,8 | 540,8 | 346 | 423,4 | 315,8 | 97,2 | 4 | 9,9 | 16,7 | 29,4 | 70,2 | 391 | 2828,2 | 235,7 |
| 1995 | 432,3 | 327,3 | 264,4 | 455,2 | 262,4 | 130,1 | 64 | 68,7 | 19,2 | 48,8 | 34,4 | 53,1 | 2159,9 | 180,0 |
| 1996 | 325,7 | 608,4 | 641,9 | 423,7 | 145,7 | 16,1 | 23,6 | 38,9 | 24 | 19,2 | 23 | 137,8 | 2428 | 202,3 |
| 1997 | 596,8 | 458 | 565,2 | 500,2 | 269,6 | 367 | 233,3 | 138,8 | 704,4 | 466,6 | 801,3 | 960,2 | 6061,4 | 505,1 |
| 1998 | 894,2 | 639,1 | 826,3 | 772,5 | 463,3 | 291,7 | 216,1 | 66,9 | 64,4 | 27,7 | 25,7 | 52,8 | 4340,7 | 361,7 |
| 1999 | 211,7 | 487,6 | 561,2 | 614,3 | 286,7 | 53,3 | 23,4 | 14,8 | 82,3 | 57,6 | 52,7 | 305 | 2750,6 | 229,2 |
| 2000 | 252,1 | 621,5 | 689 | 522,3 | 325,6 | 48 | 6,5 | 24,2 | 48,1 | 29,4 | 20,5 | 144,7 | 2731,9 | 227,7 |
| 2001 | 510,2 | 242,3 | 499,9 | 658,3 | 193,8 | 12,4 | 22,4 | 4,6 | 21,2 | 15,1 | 32,9 | 116,6 | 2329,7 | 194,1 |
| 2002 | 334,6 | 563,3 | 775 | 599,8 | 341,3 | 134,9 | 23,9 | 6,4 | 83,4 | 61,9 | 95,1 | 273,2 | 3292,8 | 274,4 |
| 2003 | 441,6 | 523,3 | 241,5 | 590,6 | 318,6 | 62,7 | 27,2 | 21,1 | 9,5 | 96,7 | 30,7 | 145,2 | 2508,7 | 209,1 |
| 2004 | 263,1 | 390,3 | 252,3 | 474 | 296,9 | 38,8 | 25 | 16,7 | 107,5 | 69,9 | 34,8 | 64,2 | 2033,5 | 169,5 |
| 2005 | 370,6 | 402,8 | 630,6 | 635,5 | 33,4 | 13,1 | 7,3 | 2,7 | 32,8 | 35,6 | 67,6 | 124,3 | 2356,3 | 196,4 |
| 2006 | 175,9 | 720,7 | 700,5 | 508 | 72,2 | 129,1 | 24,1 | 72,7 | 60,2 | 23,8 | 144,5 | 62,9 | 2694,6 | 224,6 |
| 2007 | 222,4 | 311,6 | 528,6 | 577,8 | 193 | 93,1 | 55,1 | 22,4 | 47,2 | 20,6 | 51,7 | 129,9 | 2253,4 | 187,8 |
| 2008 | 646 | 513,4 | 484,6 | 358,4 | 185,6 | 60,1 | 65,9 | 125 | 61 | 42,2 | 34,1 | 43,1 | 2619,4 | 218,3 |
| 2009 | 652,2 | 480,6 | 547,1 | 157,9 | 129,9 | 19 | 8,9 | 24,1 | 11,2 | 12,6 | 15,6 | 293,2 | 2352,3 | 196,0 |
| 2010 | 365,7 | 528,9 | 361,6 | 743,4 | 179,1 | 64 | 176 | 33,4 | 49,8 | 28,5 | 83,7 | 296,5 | 2910,6 | 242,6 |
| 2011 | 498,9 | 314,5 | 260,5 | 715,7 | 53,3 | 69,3 | 133,4 | 9,4 | 30,3 | 55,4 | 17,5 | 213,4 | 2371,6 | 197,6 |
| 2012 | 680,3 | 707,3 | 649,5 | 591 | 252,1 | 272 | 44,7 | 17 | 11,7 | 21,1 | 41 | 70,2 | 3337,9 | 278,2 |
| 2013 | 439,2 | 442,6 | 743,7 | 618,5 | 129,1 | 78,4 | 23,8 | 118,2 | 41,5 | 44,4 | 9,9 | 200,6 | 2889,9 | 240,8 |
| 2014 | 429,6 | 450 | 354,3 | 572,7 | 408,7 | 95,7 | 16,8 | 35,9 | 38,7 | | | | 2402,4 | 266,9 |
| Suma | 21784,8 | 23214,6 | 25745,5 | 25478,7 | 11753 | 6131,5 | 2805 | 2292,1 | 3303,4 | 3801,5 | 3701,8 | 10153,9 | | |
| Media | 435,7 | 473,8 | 504,8 | 490,0 | 230,5 | 120,2 | 55,0 | 45,8 | 64,8 | 74,5 | 72,6 | 199,1 | 2766,8 | 230,6 |
| minima | 69,7 | 0 | 159,7 | 0 | 21,8 | 8,3 | 4 | 2,7 | 6,3 | 7,8 | 7,9 | 43,1 | | |
| máxima | 894,2 | 858,3 | 915,5 | 798,8 | 541,8 | 550,1 | 390,2 | 325,1 | 704,4 | 649,5 | 801,3 | 960,2 | | |

Período: 2005-2014
 Código INAMHI: M1215
 UTM X: 708986.602
 Y: 9941202.42
 Elevación: 689 msnm

Registros de precipitación (La Libertad-Río Blanco)

| Años | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | SUMA | MEDIA |
|---------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|-------|
| 2005 | | | | | | 34,4 | 19,8 | 19,8 | 52 | 87,2 | 76,5 | 179,7 | 469,4 | 67,1 |
| 2006 | 299,3 | 641,2 | 630,6 | 483,8 | 143,8 | 174,4 | 12,4 | 66,3 | | 58,4 | 208,9 | 247,3 | 2966,4 | 269,7 |
| 2007 | 359,9 | 269,7 | 456,7 | 473,2 | 462,9 | 173,8 | 68,1 | 43,7 | 102,6 | 70,7 | 120,9 | 145,5 | 2747,7 | 229,0 |
| 2008 | 823,2 | 730,5 | 606,6 | 476 | 195,2 | 113,8 | 114,9 | 100,6 | 97,8 | 117,9 | 69,8 | 147,7 | 3594 | 299,5 |
| 2009 | 541,3 | 567,4 | 767,2 | 162,8 | 268,9 | 80 | 45 | 49,3 | 23,2 | 57,6 | 40,5 | 477,8 | 3081 | 256,8 |
| 2010 | 355 | 490 | 280,4 | 575,4 | 309,8 | 99,5 | 129,1 | 66,5 | 59,1 | 53,9 | 89,7 | 400,2 | 2908,6 | 242,4 |
| 2011 | 472,5 | 387,9 | 463,4 | 720,8 | 95,5 | 114,1 | 118 | 23,3 | 68,1 | 110,7 | 41 | 157,5 | 2772,8 | 231,1 |
| 2012 | 618 | 632,4 | 527,3 | 532,3 | 326,4 | 109,2 | 61,3 | 21,2 | 35,2 | 97 | 95,3 | 73,7 | 3129,3 | 260,8 |
| 2013 | 413,6 | 547,2 | 519,5 | 360,2 | 185,2 | 71,7 | 52,9 | 38,2 | 31 | 118,4 | 38,9 | 164,5 | 2541,3 | 211,8 |
| 2014 | 363,8 | 319 | 419,7 | 322,3 | 428,7 | 76,3 | 63,1 | 38,5 | 59,5 | | | | 2090,9 | 232,3 |
| suma | 4246,6 | 4585,3 | 4671,4 | 4106,8 | 2416,4 | 1047,2 | 684,6 | 467,4 | 528,5 | 771,8 | 781,5 | 1993,9 | | |
| media | 471,8 | 509,5 | 519,0 | 456,3 | 268,5 | 104,7 | 68,5 | 46,7 | 58,7 | 85,8 | 86,8 | 221,5 | 2897,9 | 241,5 |
| mínima | 299,3 | 269,7 | 280,4 | 162,8 | 95,5 | 34,4 | 12,4 | 19,8 | 23,2 | 53,9 | 38,9 | 73,7 | | |
| máxima | 823,2 | 730,5 | 767,2 | 720,8 | 462,9 | 174,4 | 129,1 | 100,6 | 102,6 | 118,4 | 208,9 | 477,8 | | |

Período: 2008-2015
 UTM X: 691390.863
 Y: 9990718.83
 Elevación: 283 msnm

Registros de precipitación (Cachabi Jame Bron)

| Años | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | Suma | Media |
|--------------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|-------|
| 2008 | | | 414 | 511,6 | 233,7 | 98,8 | 174,5 | | 153,7 | 42,9 | 41,9 | 198,4 | 1869,5 | 207,7 |
| 2009 | 611,9 | 478 | 714,5 | 422,7 | 87,6 | 14,5 | 33,8 | 40,4 | 7,6 | 7,9 | 7,9 | 532,9 | 2959,7 | 246,6 |
| 2010 | 604,5 | 816,1 | 549,1 | 714,2 | 114,8 | 69,3 | 142,2 | 24,6 | 66,8 | 31,8 | 114,8 | 416,1 | 3664,3 | 305,4 |
| 2011 | 712,2 | 296,2 | 622,8 | 448,3 | 98,3 | 74,7 | 185,9 | 2,3 | 11,7 | 21,6 | 4,1 | 135,1 | 2613,2 | 217,8 |
| 2012 | 651,5 | 706,1 | 368,6 | 559,8 | 489,2 | 223 | 2 | 5,8 | 7,4 | 33,8 | 32,8 | 8,6 | 3088,6 | 257,4 |
| 2013 | 402,1 | 450,3 | 750,1 | 630,7 | 296,9 | 73,4 | 101,9 | 8,6 | 12,4 | 109 | 8,9 | 81,8 | 2926,1 | 243,8 |
| 2014 | 728 | 460,2 | 504,7 | 451,9 | 360,9 | 50,8 | 16,3 | 50 | 46,7 | 178,1 | 58,9 | 160,5 | 3067 | 255,6 |
| 2015 | 544,1 | 547,1 | 100,8 | | | | | | | | | | 1192 | 397,3 |
| Suma | 4254,3 | 3754,0 | 4024,6 | 3739,2 | 1681,4 | 604,5 | 656,6 | 131,7 | 306,3 | 425,1 | 269,3 | 1533,4 | | |
| Media | 607,8 | 536,3 | 503,1 | 534,2 | 240,2 | 86,4 | 93,8 | 22,0 | 43,8 | 60,7 | 38,5 | 219,1 | 2985,6 | 248,8 |

Período: 1965-2014
 Código INAMHI: M0025
 UTM X: 680265.781
 Y: 9997266.322
 Elevación: 379 msnm

Registros de temperatura (Estación La Concordia)

| Años | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | MEDIA |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| 1965 | | | 24,5 | 24,6 | 24,7 | 24,3 | 23,9 | 23,1 | 23,4 | 23,7 | 23,2 | 24,2 | 24,0 |
| 1966 | 24,6 | 24,7 | 24,5 | 24,7 | 24,4 | 23,2 | 23,1 | 23,6 | 23,3 | 23,7 | 23,1 | 23 | 23,8 |
| 1967 | 23,9 | 24,3 | 24,3 | 25 | 24,4 | 22,9 | 22,7 | 22,9 | 22,5 | 22,7 | 22,3 | 23 | 23,4 |
| 1968 | 23,4 | 24 | 23,8 | 24,1 | 23,4 | 22,5 | 22,9 | 22,8 | 23,3 | 22,7 | 23 | | 23,3 |
| 1969 | 24 | 24,5 | 25,2 | 25,3 | 25,3 | 24,8 | 23,8 | 23,3 | 23,4 | 23,5 | 23,7 | 24,3 | 24,3 |
| 1970 | 24,7 | 24,4 | 24,9 | 25 | 24,5 | 23,8 | 22,9 | 23,1 | 23,2 | 23,4 | 22,8 | 23,2 | 23,8 |
| 1971 | 23,3 | 23,8 | 24,6 | 24,4 | 23,6 | 23,2 | 23 | 22,9 | 22,8 | 22,5 | 22,4 | 23,3 | 23,3 |
| 1972 | 23,8 | 24,4 | 25 | 25,3 | 25 | 24,6 | 24,9 | 24 | 24 | 24,3 | 23,8 | 25,3 | 24,5 |
| 1973 | 25,3 | 25,1 | 25,3 | 25,4 | 24,6 | 24,1 | 23,1 | 22,8 | 23,2 | 22,7 | 22,4 | 22,7 | 23,9 |
| 1974 | 23,5 | 23,6 | 24,7 | 24,7 | 24,2 | 23,4 | 22,8 | 22,7 | 22,3 | 22,2 | 22,7 | 23,2 | 23,3 |
| 1975 | 23,5 | 23,8 | 24,8 | 24,6 | 24 | 23,7 | 22,7 | 22,3 | 23 | 22,8 | 22,4 | 22,8 | 23,4 |
| 1976 | 23,1 | 23,9 | 24,4 | 24,7 | 24,9 | 24,6 | 24,2 | 23,9 | 23,5 | 23 | 23,6 | 24,5 | 24,0 |
| 1977 | 24,4 | 24,6 | 24,9 | 24,8 | 24,7 | 23,7 | 23,3 | 23,3 | 23,3 | 23,3 | 23,6 | 24,3 | 24,0 |
| 1978 | 24,1 | 24,8 | 24,8 | 24,7 | 24,5 | 23,5 | 22,9 | 22,8 | 23,2 | 23,5 | 23,9 | 24,2 | 23,9 |
| 1979 | 24,6 | 25,2 | 25,4 | 25,2 | 24,8 | 24,4 | 23,3 | 23,5 | 23,5 | 24,1 | 23,7 | 24,1 | 24,3 |
| 1980 | 24,5 | 24,6 | 25 | 25,6 | 25 | 24,2 | 23,3 | 23,2 | 23,6 | 23,8 | 23,2 | 24 | 24,2 |
| 1981 | 24 | 24,5 | 25,5 | 25,4 | 24,2 | 23,6 | 23,5 | 23,2 | 23,4 | 23,2 | 23,2 | 24,2 | 24,0 |
| 1982 | 24,5 | 25,1 | 24,9 | 25 | 24,4 | 23,9 | 23,5 | 23,9 | 24,2 | 24,3 | 25,1 | 25,2 | 24,5 |
| 1983 | 25,8 | 25,8 | 26,3 | 25,6 | 25,9 | 25,4 | 25,3 | 25 | 24,2 | 24,1 | 23,8 | 23,9 | 25,1 |
| 1984 | 24,3 | 24,4 | 24,8 | 24,8 | | 24 | 22,7 | 23,3 | 22,7 | 22,8 | 23,2 | 23,9 | 23,7 |
| 1985 | 23,4 | 24,1 | 24,6 | 24,5 | 23,8 | 23,8 | 22,4 | 22,5 | 22,9 | 22,9 | 23,4 | 23,5 | 23,5 |
| 1986 | 23,8 | 24,4 | 24,8 | 24,8 | 24,1 | 23,3 | 23,2 | 23,7 | 23,6 | 23,4 | 24 | 24,2 | 23,9 |

| Años | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | MEDIA |
|---------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| 1987 | 24,7 | 25,3 | 25,7 | 25,6 | 25,1 | 24,7 | 24,3 | 24,3 | 24,3 | 24,2 | 24,1 | 24,7 | 24,8 |
| 1988 | 24,6 | 25 | 24,9 | 25 | 24,8 | 23,2 | 23,3 | 22,9 | 23 | 23,1 | 23,2 | 23,6 | 23,9 |
| 1989 | 23,9 | 24,3 | 25,3 | 25 | 24,3 | 23,4 | 22,8 | 23 | 23,1 | 23,4 | 23,4 | 23,7 | 23,8 |
| 1990 | 24,1 | 24,8 | 25,1 | 24,9 | 24,7 | 24,3 | 23,6 | 23,4 | 23,3 | 23,2 | 23,8 | 24 | 24,1 |
| 1991 | 24,8 | 25,1 | 25,9 | 25,7 | 25,5 | 24,6 | 23,8 | 23,5 | 23,7 | 23,8 | 24,3 | 24,8 | 24,6 |
| 1992 | 24,8 | 25,5 | 26 | 26,4 | 25,8 | 25,3 | 24,3 | 24,4 | 24,4 | 24 | 24 | 24,9 | 25,0 |
| 1993 | 25,4 | 24,7 | 25,4 | 26 | 25,6 | 25,1 | 24,3 | 23,6 | 23,7 | 24 | 23,8 | 24,3 | 24,7 |
| 1994 | 24,3 | 24,8 | 24,8 | 24,9 | 24,8 | 24 | 23,2 | 23,6 | 24,7 | 24,7 | 24,2 | 24,9 | 24,4 |
| 1995 | 25,1 | 25,5 | 25,6 | 25 | 24,6 | 24,5 | 23,5 | 23,2 | 23,6 | 23,4 | 23,1 | 23,9 | 24,3 |
| 1996 | 23,8 | 24,6 | 25,1 | 24,7 | 24,4 | 23 | 22,9 | 22,9 | 23,5 | 23,3 | 23,6 | 24 | 23,8 |
| 1997 | 23,8 | 24,7 | 25,3 | 25,4 | 25,4 | 25,5 | 25,5 | 25,3 | 25,4 | 25,6 | 25,4 | 26 | 25,3 |
| 1998 | 26,2 | 26,5 | 26,4 | 26,5 | 26,2 | 25,6 | 25 | 24,2 | 24,1 | 23,5 | 23,5 | 23,7 | 25,1 |
| 1999 | 24,2 | 24,4 | 25,1 | 24,8 | 24,8 | 23,5 | 23,1 | 23 | 23,4 | 23,3 | 23,1 | 23,7 | 23,9 |
| 2000 | 23,8 | 24,3 | 24,6 | 25,1 | 24,2 | 23,9 | 23,1 | 23,4 | 23,4 | 23,5 | 23,3 | 24 | 23,9 |
| 2001 | 24,2 | 24,7 | 25,2 | 25,2 | 24,5 | 23,4 | 23,4 | 23,6 | 23,9 | 23,9 | 24,1 | 24,3 | 24,2 |
| 2002 | 24,5 | 25,2 | 25,7 | 25,4 | 25,7 | 24,4 | 24 | 23,9 | 24,3 | 24,4 | 24,3 | 24,7 | 24,7 |
| 2003 | 24,9 | 25,1 | 25,9 | 25,5 | 25,4 | 24,2 | 23,5 | 24,3 | 24,1 | 23,9 | 24,5 | 24,6 | 24,7 |
| 2004 | 25,2 | 24,9 | 25,3 | 25,4 | 24,8 | 23,8 | 23,2 | 23,8 | 23,8 | 24,1 | 23,8 | 24,6 | 24,4 |
| 2005 | 24,9 | 24,5 | 25 | 25,5 | 24,9 | 24,1 | 23,7 | 24,2 | 24 | 23,4 | 24 | 24,2 | 24,4 |
| 2006 | 24,3 | 24,7 | 25,3 | 25,3 | 24,5 | 24 | 24 | 24,2 | 24,1 | 24,4 | 24,2 | 24,6 | 24,5 |
| 2007 | 25,2 | 25,1 | 25,2 | 25,4 | 24,6 | 24,2 | 23,8 | 23,1 | 23,4 | 23,2 | 23,6 | 23,6 | 24,2 |
| 2008 | 23,5 | 24,4 | 24,8 | 25,2 | 24,7 | 24,1 | 23,9 | 23,8 | 23,9 | 23,2 | 23,3 | 23,7 | 24,0 |
| 2009 | 23,9 | 24,5 | 24,9 | 25,1 | 24,7 | 24,1 | 24,2 | 24,2 | 24,3 | 24,2 | 24,7 | 24,8 | 24,5 |
| 2010 | 24,9 | 25,3 | 25,8 | 25,9 | 25,4 | 24,1 | 23,8 | 23,6 | 23,5 | 23,2 | 22,8 | 23,3 | 24,3 |
| 2011 | 24,1 | 24,9 | 25,1 | 25,2 | 24,9 | 24,4 | 24,3 | 23,6 | 23,9 | 23,1 | 23,2 | 24,2 | 24,2 |
| 2012 | 23,9 | 24,4 | 25,2 | 25,4 | 25,2 | 24,7 | 23,6 | 23,3 | 23,9 | 23,5 | 23,6 | 24,2 | 24,2 |
| 2013 | 24,2 | 24,5 | 25,2 | 25,2 | 24,1 | 23,8 | 23,3 | 23,4 | 24 | 24 | 23,9 | 24,1 | 24,1 |
| 2014 | 24,3 | 24,3 | 25,2 | 25 | 25,1 | 24,8 | 24,4 | 24 | | | | | 24,6 |
| media | 24,3 | 24,7 | 25,1 | 25,2 | 24,8 | 24,1 | 23,6 | 23,5 | 23,6 | 23,6 | 23,6 | 24,1 | 24,2 |
| mínima | 23,1 | 23,6 | 23,8 | 24,1 | 23,4 | 22,5 | 22,4 | 22,3 | 22,3 | 22,2 | 22,3 | 22,7 | 22,2 |
| máxima | 26,2 | 26,5 | 26,4 | 26,5 | 26,2 | 25,6 | 25,5 | 25,3 | 25,4 | 25,6 | 25,4 | 26 | 26,5 |

Período: 1965-2014
 Código INAMHI: M0026
 UTM X: 684867.084
 Y: 9947352.56
 Elevación: 319 msnm

Registros de temperatura (Puerto Ila)

| Años | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | MEDIA |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| 1965 | 23,9 | 24,4 | 24,7 | 24,8 | 24,9 | 24,5 | 23,6 | 23 | 23,5 | 23,3 | 23 | 24,1 | 24,0 |
| 1966 | 24,9 | 24,7 | 24,7 | 25,1 | 24,4 | 22,9 | 22,5 | 23,1 | 23,1 | 23,2 | 23 | 23,3 | 23,7 |
| 1967 | 23,7 | 24,4 | 24,5 | 25,2 | 24,3 | 22,6 | 21,9 | 22,3 | 22,3 | 22,9 | 22,2 | 23,2 | 23,3 |
| 1968 | 23,4 | 24 | 24,1 | 24,5 | 23,1 | 22,3 | 22,4 | 22,6 | 23,3 | 22,6 | 23 | 23,8 | 23,3 |
| 1969 | 24,4 | 24,7 | 25,4 | 25,6 | 25,5 | 24,8 | 24,3 | 23,2 | 23,4 | 23,3 | 23,5 | 24,4 | 24,4 |
| 1970 | 24,6 | 24,5 | 24,6 | 25 | 24,2 | 23,4 | 22,5 | 22,5 | 22,8 | 23 | 22,5 | 23,6 | 23,6 |
| 1971 | 23,5 | 23,6 | 24,7 | 24,6 | 23,6 | 23,1 | 22,2 | 22,4 | 22,9 | 22,6 | 22,6 | 23,6 | 23,3 |
| 1972 | 24 | 24,5 | 25,3 | 25,5 | 25,3 | 24,8 | | 24 | 23,9 | 24,1 | 24,2 | 26,4 | 24,7 |
| 1973 | 25,3 | 25,4 | 25,6 | 25,5 | 24,8 | 24,2 | 22,9 | 22,8 | 23 | 22,9 | 22,8 | 23 | 24,0 |
| 1974 | 24,1 | 24,1 | 25,1 | 25 | 24,7 | 23,5 | 22,4 | 22,7 | 22,6 | 22,6 | 23,2 | 23,4 | 23,6 |
| 1975 | 23,7 | 24 | 25,2 | 24,9 | 24,1 | 23,6 | 22 | 22,2 | 22,6 | 22,8 | 22,4 | 22,9 | 23,4 |
| 1976 | 23,4 | 24,4 | 25 | 24,9 | 25,4 | 24,6 | 24,2 | 23,8 | 23,4 | 23,2 | 23,9 | 24,6 | 24,2 |
| 1977 | 24,6 | 24,9 | 25,5 | 25,1 | 24,9 | 25,5 | 23,1 | 22,9 | 23,7 | 23,2 | 23,2 | 24,3 | 24,2 |
| 1978 | 24,2 | 24,9 | 25,2 | 25 | 24,8 | 23,3 | 22,8 | 22,7 | 23,3 | 23,1 | 23,9 | 24,1 | 23,9 |
| 1979 | 24,5 | 24,9 | 25,2 | 25,6 | 24,9 | 24 | 22,8 | | | 24 | 23,9 | 24,7 | 24,5 |
| 1980 | | | 25,2 | 25,7 | 25,2 | 24 | 23,2 | 23,1 | 23,7 | 23,6 | 23,1 | 24,2 | 24,1 |
| 1981 | | | | 25,5 | | | | | 23,7 | 23,3 | 23,7 | 24,6 | 24,2 |
| 1982 | 24,5 | 25,1 | 25,4 | 25,3 | 24,6 | 23,7 | 23,5 | 24,1 | 25,1 | 24,5 | 25,4 | 25,6 | 24,7 |
| 1983 | 26,1 | 26,5 | 26,6 | 26,2 | 26,1 | 25,9 | 25,6 | 25,3 | 24,5 | 23,9 | 24 | 23,9 | 25,4 |
| 1984 | 25 | 24,9 | 25,3 | 25,1 | 25 | 24 | 22,5 | 23,3 | 22,9 | 23,2 | 23,5 | 24,3 | 24,1 |
| 1985 | 23,8 | 24,4 | 25,1 | 24,9 | 24,1 | 23,8 | 22,5 | 22,6 | 23,2 | 23,2 | 23,7 | 24,1 | 23,8 |
| 1986 | 24,1 | 24,8 | 25,3 | 25 | 24,4 | 23 | 23,1 | 23,5 | 24 | 23,6 | 23,8 | 24,4 | 24,1 |

| Años | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | MEDIA |
|---------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| 1987 | 25 | 25,7 | 26,1 | 25,9 | 25,5 | 24,7 | 24,1 | 24,1 | 24,2 | 24,2 | 24,8 | 25,1 | 25,0 |
| 1988 | 24,7 | 25,2 | 25,3 | 25,3 | 25,4 | 23,5 | 23,4 | 23,1 | 23,6 | 23,1 | 23,3 | 24,1 | 24,2 |
| 1989 | 24,1 | 24,8 | 25,4 | 25,2 | 24,2 | 23,4 | 22,4 | 23 | 23,2 | 23,8 | 23,8 | 24,2 | 24,0 |
| 1990 | 24,9 | | 25,5 | 25,2 | 24,9 | 24,2 | 23,7 | 23,3 | | 23,3 | 23,9 | 24 | 24,3 |
| 1991 | 24,9 | 25,3 | 25,7 | 25,7 | 25,5 | 24 | 23,4 | 23,1 | 23,4 | 23,8 | 24,3 | 24,5 | 24,5 |
| 1992 | 24,7 | 25,1 | 25,8 | 25,8 | 25,5 | 24,6 | 23,2 | 23,2 | 23,1 | 23,6 | 23,3 | 24,1 | 24,3 |
| 1993 | 24,5 | 24,5 | 25,4 | 25,7 | 25,5 | 24,7 | 23,8 | 23,3 | 23,6 | 23,5 | 23,4 | 24,2 | 24,3 |
| 1994 | 24,1 | 24,4 | 24,6 | 24,9 | 24,7 | 23,5 | 22,6 | 22,6 | 24,1 | 23,9 | 23,7 | 24,5 | 24,0 |
| 1995 | 24,8 | 25 | 25,5 | 25,3 | 24,9 | 24,4 | 23,4 | 23 | 23,8 | 23,6 | 23,4 | 24,5 | 24,3 |
| 1996 | 24,2 | 24,8 | 25,4 | 24,9 | 24,5 | 22,8 | 22,7 | 23 | 23,8 | 23,7 | 23,5 | 24,3 | 24,0 |
| 1997 | 24,2 | 25,1 | 25,7 | 25,5 | 25,7 | 25,6 | 25,6 | 25,3 | 25,5 | 25,6 | 25,6 | 26,1 | 25,5 |
| 1998 | 26,5 | 26,7 | 26,7 | 26,8 | 26,6 | 25,7 | 24,7 | 24,1 | 24 | 23,5 | 23,8 | 23,6 | 25,2 |
| 1999 | 24,4 | 24,5 | 25,2 | 25,1 | 25 | 23,3 | 22,8 | 22,9 | 23,2 | 23,4 | 23,6 | 23,7 | 23,9 |
| 2000 | 23,9 | 24,4 | 24,9 | 25,3 | 24,4 | 23,5 | 22,9 | 23,1 | 23,2 | 23,7 | 23,7 | 24,2 | 23,9 |
| 2001 | 24,4 | 25,1 | 25,7 | 25,6 | 24,4 | 23 | 22,9 | 23,2 | 23,9 | 23,9 | 24,2 | 24,4 | 24,2 |
| 2002 | 24,4 | 24,9 | 25,7 | 25,6 | 25,6 | 24,3 | 23,6 | 23,6 | 24,5 | 24 | 24,1 | 24,8 | 24,6 |
| 2003 | 25,1 | 25,3 | 26,1 | 25,7 | 25,5 | 24,2 | 23,5 | 23,7 | 23,6 | 24 | 24,2 | 24,5 | 24,6 |
| 2004 | 25,6 | 25,5 | 25,8 | 25,6 | 24,9 | 23,6 | 23 | 23,9 | 23,9 | 24,2 | 24,1 | 25 | 24,6 |
| 2005 | 25,2 | 24,8 | 25,6 | 25,9 | 25 | 24,1 | 23,4 | 23,5 | 23,9 | 23,1 | 23,6 | 24,3 | 24,4 |
| 2006 | 24,8 | 25,2 | 25,8 | 25,6 | 24,6 | 23,6 | 23,2 | 23,6 | 23,9 | 24,4 | 24,3 | 24,7 | 24,5 |
| 2007 | 25,3 | 25,3 | 25,4 | 25,6 | 24,8 | 24,1 | 23,5 | 22,9 | 23,8 | 23,3 | 23,8 | 23,8 | 24,3 |
| 2008 | 23,7 | 24,8 | 25,5 | 25,8 | 25 | 24 | 23,9 | 23,9 | 23,7 | 23,4 | 23,7 | 24,3 | 24,3 |
| 2009 | 24,3 | 24,7 | 25,3 | 25,5 | 25,2 | 24,3 | 24 | 24 | 24,5 | 24,5 | 24,7 | 25,1 | 24,7 |
| 2010 | 25,3 | 25,5 | 25,9 | 26,1 | 25,7 | 23,9 | 23,7 | 23,6 | 23,7 | 23,7 | 23,1 | 23,5 | 24,5 |
| 2011 | 24,3 | 25,1 | 25,7 | 25,4 | 25,3 | 24,6 | 24 | 23,3 | 24 | 23,2 | 23,7 | 24,8 | 24,5 |
| 2012 | 23,9 | 24,6 | 25,5 | 25,8 | 25,6 | 24,9 | 23,8 | 23,4 | 24 | 23,8 | 24,4 | 24,9 | 24,6 |
| 2013 | 24,4 | 24,8 | 25,6 | 25,4 | 24,4 | 23,7 | 22,8 | 23,2 | 24 | 23,9 | 23,8 | 24,6 | 24,2 |
| 2014 | 24,4 | 24,4 | 25,7 | 25,2 | 25,3 | 25,1 | 24,6 | 24,2 | 24 | | | | 24,8 |
| media | 24,5 | 24,9 | 25,4 | 25,4 | 24,9 | 24,0 | 23,3 | 23,3 | 23,6 | 23,6 | 23,7 | 24,3 | 24,2 |
| mínima | 23,4 | 23,6 | 24,1 | 24,5 | 23,1 | 22,3 | 21,9 | 22,2 | 22,3 | 22,6 | 22,2 | 22,9 | 21,9 |
| máxima | 26,5 | 26,7 | 26,7 | 26,8 | 26,6 | 25,9 | 25,6 | 25,3 | 25,5 | 25,6 | 25,6 | 26,4 | 26,8 |

Período: 1965-1983
 Código INAMHI: M116
 UTM X: 746884.196
 Y: 9976709.46
 Elevación: 1750 msnm

Registros de temperatura (Estación Chiriboga)

| Años | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | MEDIA |
|--------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| 1965 | 15,5 | 16,2 | 16,3 | 16,4 | 16,6 | 16 | 15,7 | 15,5 | 15,9 | 16,5 | 16,4 | 16,4 | 16,1 |
| 1966 | 17,1 | 16,8 | 16,5 | 16,7 | 16,6 | 16,2 | 16,3 | 16,2 | 16 | 16,3 | 15,7 | 15,7 | 16,3 |
| 1967 | 16 | 16,2 | 16,1 | 16,3 | 16,2 | 15,8 | 15,2 | 15,3 | 15,5 | 15,7 | 16,5 | 16,2 | 15,9 |
| 1968 | 16,1 | 16,6 | 16,2 | 16,2 | 16 | 15,9 | 15,7 | 15,6 | 15,8 | 16,3 | 16,1 | 15,7 | 16,0 |
| 1969 | 16,4 | 16,5 | 16,8 | 16,9 | 16,7 | 16,6 | 15,7 | 15,7 | 16 | 15,9 | 16,1 | 16,3 | 16,3 |
| 1970 | 16,6 | 16,7 | 16,7 | 16,9 | 16,6 | 16,2 | 15,8 | 16,1 | 16,1 | 16,1 | 16 | 16,5 | 16,4 |
| 1971 | 16,2 | 16,1 | 16,2 | 16,3 | 16,2 | 15,8 | 15,3 | 15,4 | 15,9 | 16 | 15,6 | 16 | 15,9 |
| 1972 | 15,9 | 16,1 | 16,4 | 16,5 | 16,4 | 16,6 | | 16,1 | 16,3 | 16,4 | 16,4 | 16,4 | 16,3 |
| 1973 | 16,4 | 16,6 | 16,6 | 16,7 | 16,6 | 16,6 | 16,2 | 16,1 | 16,3 | 16,2 | 16,4 | 16 | 16,4 |
| 1974 | 16,2 | 16,7 | 16,3 | 16,7 | 16,4 | 16 | 15,8 | 16 | 16,1 | 16,3 | 16,4 | 16,3 | 16,3 |
| 1975 | 16,1 | 16,4 | 16,5 | 16,5 | 16,5 | 16,6 | 15,8 | 16,4 | 16,3 | 16,5 | 15,8 | 15,6 | 16,3 |
| 1976 | 15,6 | 16 | 16,5 | 16,8 | 16,8 | 16,1 | 16,2 | 15,6 | 16 | 16,9 | 16,3 | 16,5 | 16,3 |
| 1977 | 16,5 | 16,6 | 16,9 | 17,2 | 16,6 | 16,1 | 16,4 | 16,2 | 16,2 | 16,7 | 16,7 | 16,4 | 16,5 |
| 1978 | 16,1 | 16,7 | 16,7 | 16,8 | 16,5 | 16 | 15,9 | 16 | 16,2 | 16,4 | 16,3 | 16,1 | 16,3 |
| 1979 | 15,8 | 16,2 | 16,6 | | 17,3 | 16,5 | 17 | 17,3 | 17,1 | 17 | 16,2 | 16,4 | 16,7 |
| 1980 | | 15,9 | 15,9 | 16,2 | 16,6 | 16,9 | 16,4 | 16,5 | 16,5 | 16,4 | 16,3 | 16,4 | 16,4 |
| 1981 | 16,1 | 16,6 | 16,5 | 16,2 | 16,2 | 15,8 | 15,5 | 15,9 | 15,9 | 16,8 | 16,8 | 16,4 | 16,2 |
| 1982 | 16,7 | 16,7 | | 16,5 | 16,5 | 16,3 | 16,3 | 16,2 | 16,3 | 16,3 | 16,6 | 16,9 | 16,5 |
| 1983 | 17,4 | 16,5 | 17,1 | 16,7 | 17,1 | 16,9 | | | | | | | 17,0 |
| | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | |
| media | 16,3 | 16,4 | 16,5 | 16,6 | 16,5 | 16,3 | 16,0 | 16,0 | 16,1 | 16,4 | 16,3 | 16,2 | 16,3 |
| mínima | 15,5 | 15,9 | 15,9 | 16,2 | 16 | 15,8 | 15,2 | 15,3 | 15,5 | 15,7 | 15,6 | 15,6 | 15,2 |
| máxima | 17,4 | 16,8 | 17,1 | 17,2 | 17,3 | 16,9 | 17 | 17,3 | 17,1 | 17 | 16,8 | 16,9 | 17,4 |

Período: 1965-2014
 Código INAMHI: M0025
 UTM X: 680265.781
 Y: 9997266.322
 Elevación: 379 msnm

Registros de humedad del aire (Estación La Concordia)

| Años | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | MEDIA |
|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------|
| 1965 | | | 87 | 89 | 88 | 89 | 88 | 88 | 87 | 88 | 90 | 88 | 88 |
| 1966 | 89 | 87 | 88 | 90 | 91 | 92 | 90 | 91 | 89 | 86 | 89 | 89 | 89 |
| 1967 | 91 | 90 | 90 | 86 | 88 | 92 | 88 | 89 | 90 | 90 | 88 | 91 | 89 |
| 1968 | 91 | 87 | 90 | 89 | 90 | 91 | 91 | 91 | 89 | 91 | 88 | | 90 |
| 1969 | 93 | 90 | 90 | 89 | 90 | 90 | 90 | 83 | 91 | 83 | 89 | 90 | 89 |
| 1970 | 87 | 87 | 85 | 88 | 88 | 88 | 88 | 87 | 87 | 86 | 87 | 89 | 87 |
| 1971 | 88 | 87 | 87 | 87 | 87 | 88 | 86 | 86 | 88 | 89 | 87 | 87 | 87 |
| 1972 | 86 | 87 | 85 | 86 | 87 | 88 | 87 | 88 | 87 | 86 | 87 | 86 | 87 |
| 1973 | 87 | 87 | 86 | 86 | 88 | 89 | 87 | 88 | 88 | 85 | 89 | 88 | 87 |
| 1974 | 85 | 88 | 84 | 87 | 86 | 89 | 86 | 85 | 87 | 89 | 88 | 89 | 87 |
| 1975 | 89 | 88 | 86 | 87 | 88 | 89 | 87 | 89 | 87 | 88 | 87 | 85 | 88 |
| 1976 | 88 | 86 | 88 | 87 | 88 | 88 | 87 | 87 | 87 | 85 | 87 | 85 | 87 |
| 1977 | 87 | 86 | 86 | 86 | 84 | 87 | 87 | 85 | 86 | 87 | 82 | 85 | 86 |
| 1978 | 86 | 86 | 85 | 86 | 88 | 87 | 87 | 85 | 84 | 82 | 83 | 83 | 85 |
| 1979 | 84 | 84 | 83 | 87 | 87 | 87 | 87 | 86 | 87 | 83 | 84 | 86 | 85 |
| 1980 | 86 | 86 | 86 | 86 | 88 | 88 | 86 | 86 | 82 | 84 | 84 | 85 | 86 |
| 1981 | 85 | 87 | 85 | 84 | 86 | 86 | 86 | 86 | 86 | 86 | 86 | 85 | 86 |
| 1982 | 86 | 85 | 85 | 86 | 88 | 87 | 87 | 84 | 83 | 87 | 87 | 89 | 86 |
| 1983 | 88 | 88 | 87 | 89 | 88 | 89 | 88 | 86 | 89 | 88 | 88 | 87 | 88 |
| 1984 | 85 | 87 | 87 | 87 | | 87 | 87 | 85 | 88 | 88 | 85 | 88 | 87 |
| 1985 | 87 | 87 | 86 | 87 | 89 | 89 | 89 | 89 | 88 | 88 | 85 | 87 | 88 |

| Años | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | MEDIA |
|---------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------|
| 1986 | 91 | 87 | 86 | 88 | 88 | 87 | 86 | 83 | 84 | 85 | 85 | 84 | 86 |
| 1987 | 88 | 88 | 86 | 88 | 88 | 87 | 86 | 86 | 85 | 86 | 84 | 85 | 86 |
| 1988 | 88 | 87 | 86 | 87 | 88 | 88 | 87 | 87 | 89 | 87 | 86 | 86 | 87 |
| 1989 | 88 | 87 | 83 | 87 | 88 | 89 | 88 | 87 | 87 | 87 | 87 | 85 | 87 |
| 1990 | 87 | 86 | 86 | 87 | 87 | 87 | 85 | 83 | 84 | 86 | 82 | 84 | 85 |
| 1991 | 83 | 86 | 83 | 83 | 84 | 85 | 85 | 84 | 81 | 82 | 83 | 84 | 84 |
| 1992 | 86 | 83 | 85 | 83 | 85 | 84 | 80 | 80 | 80 | 84 | 82 | 78 | 83 |
| 1993 | 80 | 86 | 85 | 85 | 84 | 85 | 86 | 84 | 84 | 84 | 85 | 85 | 84 |
| 1994 | 86 | 86 | 86 | 86 | 88 | 87 | 85 | 82 | 79 | 80 | 82 | 86 | 84 |
| 1995 | 86 | 84 | 83 | 88 | 90 | 88 | 89 | 89 | 85 | 87 | 88 | 85 | 87 |
| 1996 | 87 | 86 | 87 | 88 | 88 | 90 | 87 | 86 | 86 | 84 | 82 | 83 | 86 |
| 1997 | 86 | 86 | 87 | 85 | 88 | 86 | 87 | 87 | 87 | 86 | 88 | 87 | 87 |
| 1998 | 88 | 86 | 86 | 84 | 84 | 84 | 86 | 88 | 89 | 88 | 88 | 87 | 87 |
| 1999 | 86 | 88 | 87 | 89 | 89 | 90 | 89 | 87 | 89 | 89 | 88 | 88 | 88 |
| 2000 | 85 | 86 | 87 | 87 | 90 | 88 | 87 | 86 | 87 | 88 | 85 | 87 | 87 |
| 2001 | 87 | 88 | 87 | 87 | 89 | 88 | 86 | 84 | 83 | 87 | 87 | 91 | 87 |
| 2002 | 92 | 91 | 91 | 91 | 92 | 91 | 91 | 89 | 89 | 91 | 93 | 93 | 91 |
| 2003 | 92 | 92 | 91 | 90 | 92 | 93 | 93 | 91 | 90 | 93 | 90 | 91 | 92 |
| 2004 | 90 | 92 | 91 | 92 | 91 | 89 | 89 | 84 | 88 | 86 | 86 | 85 | 89 |
| 2005 | 86 | 88 | 88 | 88 | 87 | 86 | 85 | 82 | 83 | 84 | 83 | 82 | 85 |
| 2006 | 86 | 88 | 86 | 86 | 87 | 88 | 85 | 86 | 86 | 86 | 86 | 86 | 86 |
| 2007 | 87 | 86 | 86 | 87 | 90 | 88 | 86 | 86 | 86 | 85 | 85 | 84 | 86 |
| 2008 | 90 | 86 | 86 | 85 | 87 | 88 | 87 | 88 | 88 | 89 | 86 | 86 | 87 |
| 2009 | 88 | 87 | 86 | 86 | 88 | 88 | 85 | 85 | 83 | 82 | 80 | 86 | 85 |
| 2010 | 88 | 89 | 87 | 87 | 89 | 89 | 89 | 87 | 88 | 88 | 89 | 89 | 88 |
| 2011 | 88 | 85 | 84 | 86 | 87 | 88 | 87 | 87 | 86 | 86 | 84 | 83 | 86 |
| 2012 | 89 | 87 | 88 | 86 | 88 | 89 | 88 | 87 | 83 | 84 | 87 | 84 | 87 |
| 2013 | 90 | 87 | 88 | 88 | 90 | 88 | 86 | 84 | 82 | 83 | 82 | 84 | 86 |
| 2014 | 89 | 88 | 85 | 89 | 88 | 88 | 87 | 86 | | | | | 88 |
| media | 87 | 87 | 86 | 87 | 88 | 88 | 87 | 86 | 86 | 86 | 86 | 86 | 87 |
| mínima | 80 | 83 | 83 | 83 | 84 | 84 | 80 | 80 | 79 | 80 | 80 | 78 | 78 |
| máxima | 93 | 92 | 91 | 92 | 92 | 93 | 93 | 91 | 91 | 93 | 93 | 93 | 93 |

Período: 1965-2014
 Código INAMHI: M0026
 UTM X: 684867.084
 Y: 9947352.56
 Elevación: 319 msnm

Registros de humedad del aire (Puerto Ila)

| Años | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | MEDIA |
|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------|
| 1965 | 87 | 88 | 89 | 88 | 88 | 88 | 88 | 88 | 89 | 90 | 90 | 88 | 88 |
| 1966 | 89 | 89 | 88 | 88 | 90 | 90 | 90 | 89 | 88 | 88 | 87 | 88 | 89 |
| 1967 | 90 | 88 | 88 | 85 | 89 | 91 | 89 | 89 | 89 | 89 | 88 | 88 | 89 |
| 1968 | 90 | 85 | 87 | 88 | 89 | 91 | 91 | 89 | 88 | 89 | 88 | 86 | 88 |
| 1969 | 89 | 88 | 89 | 89 | 89 | 90 | 90 | 89 | 90 | 88 | 88 | 88 | 89 |
| 1970 | 87 | 87 | 86 | 89 | 89 | 91 | 89 | 87 | 87 | 86 | 87 | 87 | 88 |
| 1971 | 88 | 88 | 87 | 87 | 88 | 88 | 89 | 88 | 86 | 88 | 86 | 86 | 87 |
| 1972 | 86 | 87 | 85 | 85 | 87 | 89 | | 88 | 88 | 88 | 96 | 82 | 87 |
| 1973 | 88 | 87 | 85 | 86 | 88 | 89 | 88 | 89 | 89 | 88 | 89 | 88 | 88 |
| 1974 | 86 | 88 | 86 | 88 | 86 | 89 | 88 | 86 | 88 | 91 | 88 | 90 | 88 |
| 1975 | 90 | 90 | 87 | 88 | 89 | 91 | 95 | 95 | 95 | 95 | 94 | 93 | 92 |
| 1976 | 93 | 89 | 89 | 91 | 90 | 90 | 89 | 89 | 89 | 86 | 87 | 86 | 89 |
| 1977 | 87 | 85 | 86 | 86 | 83 | 87 | 87 | 86 | 83 | 86 | 82 | 85 | 85 |
| 1978 | 87 | 88 | 85 | 87 | 87 | 87 | 88 | 86 | 85 | 85 | 85 | 84 | 86 |
| 1979 | 86 | 86 | 86 | 86 | 88 | 89 | 88 | | | | 91 | 86 | 87 |
| 1980 | | | 86 | 86 | 88 | 89 | 87 | 87 | 83 | 86 | 87 | 86 | 87 |
| 1981 | | | | 86 | | | | | 89 | 89 | 89 | 88 | 88 |
| 1982 | 89 | 90 | 90 | 91 | 93 | 92 | 92 | 88 | 85 | 90 | 90 | 90 | 90 |
| 1983 | 90 | 89 | 89 | 89 | 90 | 89 | 89 | 89 | 91 | 91 | 91 | 91 | 90 |
| 1984 | 87 | 90 | 88 | 90 | 90 | 92 | 91 | 88 | 87 | 90 | 89 | 89 | 89 |
| 1985 | 90 | 89 | 88 | 88 | 90 | 89 | 89 | 90 | 88 | 88 | 86 | 87 | 89 |
| 1986 | 91 | 91 | 89 | 92 | 92 | 93 | 92 | 91 | 92 | 93 | 94 | 93 | 92 |

| Años | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | MEDIA |
|---------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------|
| 1987 | 95 | 94 | 93 | 94 | 95 | 95 | 94 | 94 | 94 | 95 | 93 | 94 | 94 |
| 1988 | 95 | 94 | 91 | 93 | 93 | 94 | 93 | 92 | 92 | 93 | 93 | 92 | 93 |
| 1989 | 93 | 92 | 92 | 93 | 95 | 95 | 95 | 94 | 95 | 94 | 95 | 94 | 94 |
| 1990 | 92 | | 91 | 93 | 93 | 94 | 94 | 94 | | 91 | 89 | 94 | 93 |
| 1991 | 93 | | | | | 92 | 92 | 91 | 89 | 88 | 87 | 90 | 90 |
| 1992 | 89 | 88 | 88 | 89 | 90 | 91 | 90 | 89 | 90 | 89 | 88 | 85 | 89 |
| 1993 | 87 | 89 | 86 | 88 | 88 | 88 | 89 | 86 | 86 | 88 | 88 | 87 | 88 |
| 1994 | 89 | 89 | 88 | 89 | 90 | 90 | 89 | 89 | 83 | 83 | 83 | 87 | 87 |
| 1995 | 88 | 87 | 84 | 87 | 89 | 89 | 91 | 90 | 87 | 88 | 89 | 85 | 88 |
| 1996 | 89 | 88 | 87 | 89 | 88 | 91 | 88 | 86 | 83 | 82 | 82 | 83 | 86 |
| 1997 | 86 | 86 | 87 | 87 | 88 | 88 | 89 | 89 | 89 | 89 | 88 | 90 | 88 |
| 1998 | 89 | 89 | 90 | 89 | 90 | 91 | 92 | 92 | 92 | 92 | 92 | 91 | 91 |
| 1999 | 88 | 90 | 88 | 89 | 89 | 93 | 91 | 89 | 89 | 89 | 87 | 89 | 89 |
| 2000 | 86 | 88 | 87 | 87 | 90 | 87 | 89 | 87 | 89 | 88 | 83 | 85 | 88 |
| 2001 | 87 | 87 | 85 | 87 | 90 | 89 | 88 | 86 | 84 | 82 | 86 | 87 | 87 |
| 2002 | 88 | 87 | 87 | 91 | 93 | 90 | 94 | 93 | 92 | 93 | 94 | 93 | 91 |
| 2003 | 92 | 93 | 92 | 91 | 92 | 91 | 88 | 88 | 86 | 88 | 86 | 88 | 90 |
| 2004 | 85 | 88 | 87 | 87 | 89 | 90 | 90 | 84 | 89 | 87 | 86 | 85 | 87 |
| 2005 | 86 | 89 | 88 | 89 | 88 | 87 | 87 | 85 | 85 | 87 | 86 | 86 | 87 |
| 2006 | 87 | 89 | 87 | 87 | 90 | 91 | 90 | 89 | 88 | 83 | 85 | 86 | 88 |
| 2007 | 87 | 86 | 86 | 86 | 89 | 90 | 90 | 88 | 86 | 87 | 86 | 87 | 87 |
| 2008 | 91 | 87 | 86 | 86 | 88 | 89 | 88 | 88 | 89 | 89 | 87 | 86 | 88 |
| 2009 | 88 | 88 | 86 | 87 | 89 | 88 | 87 | 87 | 84 | 83 | 82 | 87 | 86 |
| 2010 | 88 | 90 | 88 | 89 | 90 | 91 | 92 | 89 | 89 | 88 | 88 | 90 | 89 |
| 2011 | 89 | 88 | 85 | 89 | 89 | 91 | 89 | 89 | 86 | 86 | 85 | 84 | 88 |
| 2012 | 92 | 90 | 88 | 88 | 89 | 90 | 88 | 88 | 85 | 86 | 85 | 83 | 88 |
| 2013 | 91 | 89 | 89 | 90 | 91 | 92 | 91 | 90 | 88 | 89 | 87 | 86 | 89 |
| 2014 | 91 | 91 | 87 | 91 | 90 | 90 | 89 | 87 | 86 | | | | 89 |
| media | 89 | 89 | 88 | 89 | 90 | 90 | 90 | 89 | 88 | 88 | 88 | 88 | 89 |
| mínima | 85 | 85 | 84 | 85 | 83 | 87 | 87 | 84 | 83 | 82 | 82 | 82 | 82 |
| máxima | 95 | 94 | 93 | 94 | 95 | 95 | 95 | 95 | 95 | 95 | 96 | 94 | 96 |

Período: 1970-2014
 Código INAMHI: M0025
 UTM X: 680265.781
 Y: 9997266.322
 Elevación: 379 msnm

Registros de velocidad del viento (Estación La Concordia)

| Años | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | MEDIA |
|------|--------|--------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|
| 1970 | | 3.0 NE | 4.0 N | 3.0 E | 4.0 N | 2.0 NE | 2.0 SE | 2.0 NE | 3.0 SW | 2.0 SW | 3.0 NW | | |
| 1971 | 4.0 SW | 4.0 SW | 3.0 NW | | | | 5.0 S | 5.0 NW | 6.0 S | 5.0 S | 6.0 S | 6.0 N | |
| 1972 | 4.0 NW | 6.0 SW | 6.0 N | 8.0 NW | 7.0 N | | 7.0 SE | 6.0 SW | | 8.0 S | 7.0 W | 6.0 SW | |
| 1973 | 8.0 SW | 8.0 SW | 10.0 SW | 8.0 SW | | 8.0 S | | 6.0 SW | 8.0 NW | | | 7.0 S | |
| 1974 | 9.0 SW | 7.0 SW | 8.0 S | 9.0 SW | 5.0 SW | 8.0 NE | 9.0 SW | 8.0 S | 8.0 NW | 8.0 SW | 8.0 SW | 6.0 S | 7.7 |
| 1975 | 8.0 SW | 6.0 W | 7.0 NW | 6.0 W | 6.0 SW | 7.0 N | 8.0 S | 6.0 SW | 8.0 S | 8.0 S | 5.0 NE | 8.0 NW | 6.9 |
| 1976 | 8.0 SW | 6.0 S | 6.0 SW | 5.0 SW | 6.0 W | 5.0 S | 7.0 SW | 8.0 SW | 4.0 S | 9.0 SE | 7.0 SW | 6.0 SW | 6.4 |
| 1977 | 5.0 S | 7.0 S | 8.0 SW | 6.0 SW | 5.0 SW | 6.0 S | 7.0 S | 7.0 SW | | 7.0 S | 8.0 S | 6.0 NE | |
| 1978 | 9.0 SW | 8.0 S | 8.0 SW | | 7.0 E | 8.0 SW | 8.0 SE | 7.0 SE | 7.0 SE | 8.0 S | 8.0 SW | | |
| 1979 | 8.0 SE | 7.0 S | 6.0 NW | 7.0 NW | 8.0 S | 8.0 SE | 8.0 E | 6.0 SE | 8.0 S | 8.0 N | 8.0 S | 6.0 S | 7.3 |
| 1980 | 7.0 SE | 6.0 S | 8.0 SE | 8.0 SW | 5.0 E | 7.0 S | 7.0 SW | 7.0 N | 8.0 SW | 8.0 S | 7.0 S | 8.0 NW | 7.1 |
| 1981 | 9.0 S | 6.0 S | 6.0 SE | 8.0 S | 8.0 S | 9.0 S | 8.0 S | 6.0 SE | 7.0 S | 8.0 W | 4.0 S | 4.0 N | 6.9 |
| 1982 | 8.0 S | 9.0 NE | 6.0 SW | 6.0 SE | 6.0 SE | 7.0 S | 7.0 S | 9.0 SE | 8.0 SW | 6.0 NW | 8.0 S | 8.0 S | 7.3 |
| 1983 | 7.0 SW | 9.0 S | 8.0 NW | 8.0 SE | 8.0 SE | 8.0 SE | | 7.0 S | 7.0 S | 7.0 S | 8.0 S | 8.0 S | |
| 1984 | 8.0 SW | 8.0 SW | 8.0 SW | 8.0 SW | | 5.0 S | 8.0 S | 6.0 SE | 6.0 SW | | 6.0 SE | 5.0 NE | |
| 1985 | 5.0 W | 6.0 SW | 6.0 SE | 4.0 S | 5.0 S | 6.0 SE | 5.0 SE | 4.0 S | 6.0 SW | 8.0 S | 4.0 W | | |
| 1986 | | 6.0 SW | 8.0 S | 8.0 SE | 4.0 SW | 5.0 SE | 8.0 S | 6.0 SW | 4.0 S | 5.0 S | 6.0 S | 5.0 SE | |
| 1987 | 4.0 S | 10.0 S | 4.0 S | 4.0 S | 5.0 S | 4.0 S | 5.0 S | 6.0 S | 4.0 SE | 6.0 S | 6.0 S | 5.0 N | 5.2 |
| 1988 | | 6.0 S | | 6.0 S | | 6.0 S | 4.0 S | 6.0 S | 4.0 S | 4.0 S | 6.0 S | | |
| 1989 | | 4.0 S | 6.0 SE | 3.0 NW | 4.0 S | 4.0 S | 6.0 SE | 5.0 S | 6.0 S | 6.0 S | 6.0 SE | 5.0 SE | |
| 1990 | 4.0 S | | | | 6.0 SE | | 5.0 S | 6.0 SE | | 5.0 SE | | 6.0 S | |

| Años | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | MEDIA |
|---------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|--------|--------|-------|
| 1991 | 6.0 S | 6.0 S | 6.0 S | 6.0 S | 6.0 SE | 6.0 S | 6.0 S | 8.0 S | 8.0 S | 8.0 S | 6.0 S | 6.0 SE | 6.5 |
| 1992 | 6.0 W | 8.0 S | 6.0 SE | 6.0 S | | 8.0 NW | | 6.0 S | 8.0 S | 12.0 S | 10.0 S | | |
| 1993 | 8.0 S | 8.0 S | 8.0 S | 8.0 S | 6.0 SW | 6.0 S | 8.0 S | 8.0 SW | 6.0 S | | 6.0 SW | 8.0 S | |
| 1994 | 6.0 S | 8.0 SW | | 8.0 S | 8.0 SW | 8.0 SE | 8.0 SW | 8.0 S | 8.0 S | 10.0 SW | 8.0 S | 8.0 S | |
| 1995 | 8.0 SE | 8.0 SW | 8.0 W | 6.0 SW | 6.0 S | 6.0 S | 6.0 SW | 6.0 SW | 6.0 SW | 6.0 S | 6.0 NW | 4.0 SW | 6.3 |
| 1996 | 6.0 SW | 8.0 S | 4.0 S | 8.0 SE | 6.0 SW | 8.0 S | 6.0 S | 6.0 S | 6.0 SW | 4.0 SE | 6.0 S | 4.0 SW | 6.0 |
| 1997 | 4.0 S | 6.0 SW | 6.0 SW | 8.0 NW | 6.0 SW | 6.0 S | 6.0 SW | 8.0 S | 6.0 S | 6.0 SW | 6.0 SW | 6.0 S | 6.1 |
| 1998 | 6.0 SW | 6.0 S | 8.0 NW | 8.0 SW | 6.0 SW | 8.0 SW | 8.0 S | 6.0 S | 8.0 SE | 8.0 S | 6.0 SW | 8.0 SW | 7.1 |
| 1999 | 6.0 S | 8.0 SW | 6.0 NW | 6.0 SW | 6.0 SW | 8.0 S | 6.0 W | 8.0 SW | 4.0 SE | 4.0 S | 6.0 SW | 6.0 SW | 6.1 |
| 2000 | 8.0 SW | 6.0 SW | 6.0 SW | 6.0 S | 6.0 SE | 8.0 SE | 6.0 S | 6.0 S | 8.0 S | 6.0 S | 6.0 S | 6.0 S | 6.5 |
| 2001 | 8.0 N | 8.0 S | 6.0 S | 8.0 S | 6.0 S | 6.0 S | 8.0 W | 8.0 S | 8.0 S | 6.0 SE | 6.0 S | 6.0 S | 7.0 |
| 2002 | 6.0 SE | 6.0 S | 6.0 SW | 6.0 S | 6.0 SE | 8.0 SE | 8.0 SE | 8.0 S | 6.0 S | 8.0 S | 6.0 SW | 6.0 NE | 6.6 |
| 2003 | | 6.0 S | 6.0 S | 8.0 S | 8.0 SE | 6.0 W | 8.0 S | 6.0 SE | 6.0 S | 6.0 SE | | 8.0 SW | |
| 2004 | 6.0 S | 6.0 S | 6.0 SW | 6.0 NW | | 6.0 S | 6.0 S | 6.0 S | 8.0 S | 6.0 SW | 6.0 S | 6.0 S | |
| 2005 | 8.0 S | 6.0 SW | 8.0 SW | 6.0 S | 8.0 SE | 6.0 S | 6.0 S | 8.0 SE | 6.0 SE | 6.0 S | 8.0 SE | 6.0 S | 6.8 |
| 2006 | 6.0 SE | 6.0 SW | 6.0 W | 6.0 NW | 6.0 NW | 6.0 S | 8.0 SW | 8.0 S | 6.0 W | | 8.0 S | 6.0 S | |
| 2007 | 8.0 SE | 6.0 S | 6.0 N | 6.0 W | | 6.0 S | 6.0 S | 8.0 S | 6.0 S | 8.0 S | 8.0 SW | 8.0 S | |
| 2008 | 6.0 N | 8.0 SW | 8.0 S | 6.0 NW | 6.0 SW | 8.0 S | 8.0 S | 6.0 SW | 6.0 S | 6.0 S | | 6.0 S | |
| 2009 | 6.0 S | 8.0 E | 6.0 S | 8.0 S | 6.0 SW | 6.0 SW | 6.0 S | 8.0 S | 8.0 SW | 8.0 S | 8.0 S | 6.0 S | 7.0 |
| 2010 | 6.0 S | 6.0 S | 8.0 S | 6.0 N | 8.0 N | 6.0 NW | 6.0 NW | 6.0 S | 8.0 S | 6.0 S | 6.0 SE | 6.0 SW | 6.5 |
| 2011 | 6.0 S | 6.0 S | 6.0 NW | 8.0 S | 6.0 S | 6.0 S | | 6.0 S | 6.0 S | 8.0 N | 5.0 S | 6.0 S | |
| 2012 | 6.0 S | 6.0 S | 8.0 N | 6.0 SE | 6.0 S | 6.0 S | 5.0 S | 5.0 S | 6.0 S | 6.0 S | 6.0 S | 6.0 W | 6.0 |
| 2013 | 10.0 S | 8.0 SW | 9.0 S | 8.0 S | 6.0 S | 6.0 S | 6.0 S | | 6.0 W | 8.0 S | 9.0 S | | |
| 2014 | 6.0 N | 6.0 SW | | 6.0 SW | 6.0 S | 8.0 NW | 7.0 W | 6.0 SW | | | | | |
| media | 6.6 | 6.7 | 6.6 | 6.6 | 6.1 | 6.5 | 6.6 | 6.5 | 6.4 | 6.8 | 6.5 | 6.3 | 6.5 |
| mínima | a 4.0 | 3.0 | 3.0 | 3.0 | 4.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 3.0 | 2.0 | 3.0 | 4.0 | 2.0 |
| máxima | a 10.0 | 10.0 | 10.0 | 9.0 | 8.0 | 9.0 | 9.0 | 9.0 | 8.0 | 12.0 | 10.0 | 9.0 | 12.0 |

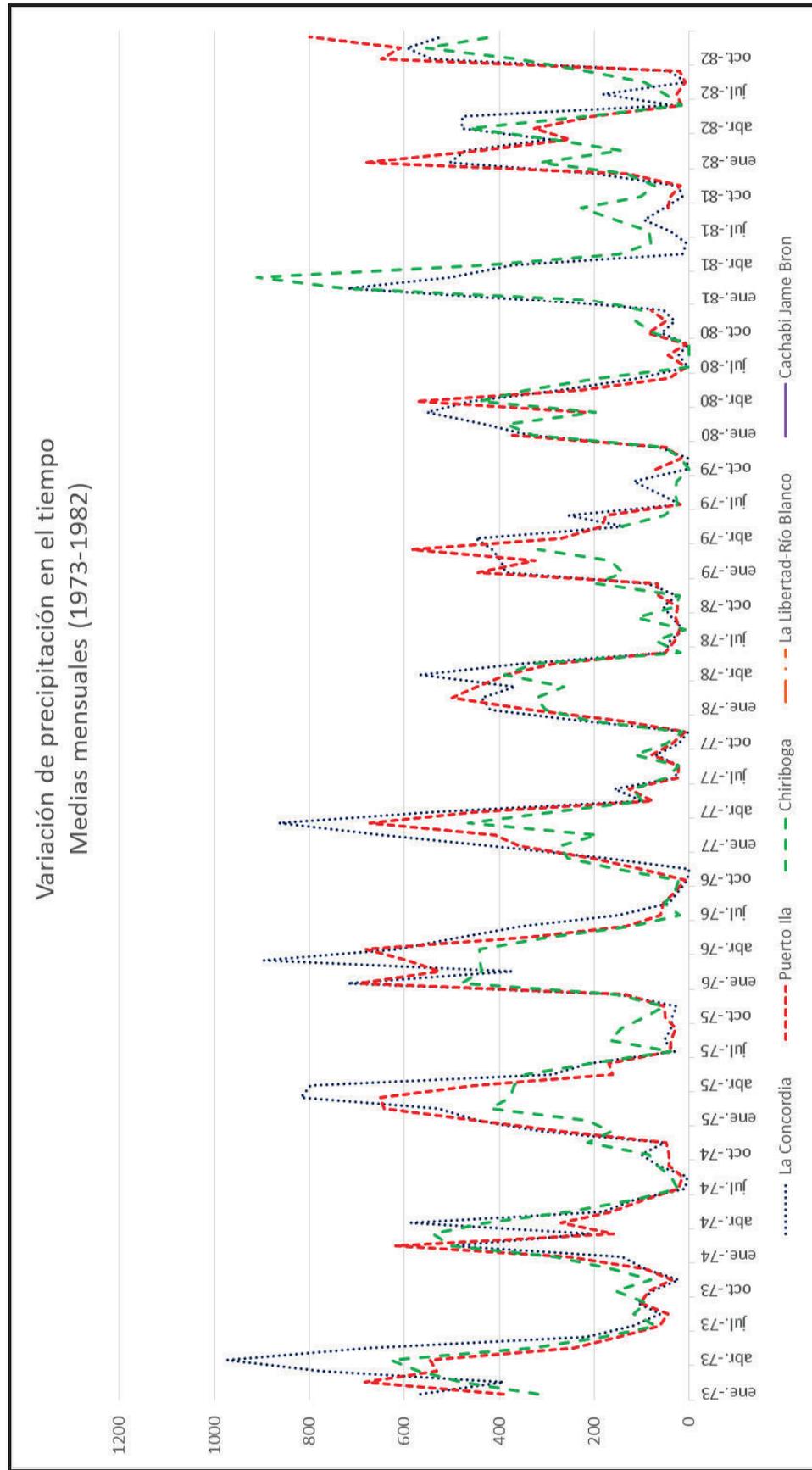
Período: 1970-2014
 Código INAMHI: M0026
 UTM X: 684867.084
 Y: 9947352.56
 Elevación: 319 msnm

Registros de velocidad del viento (Puerto Ila)

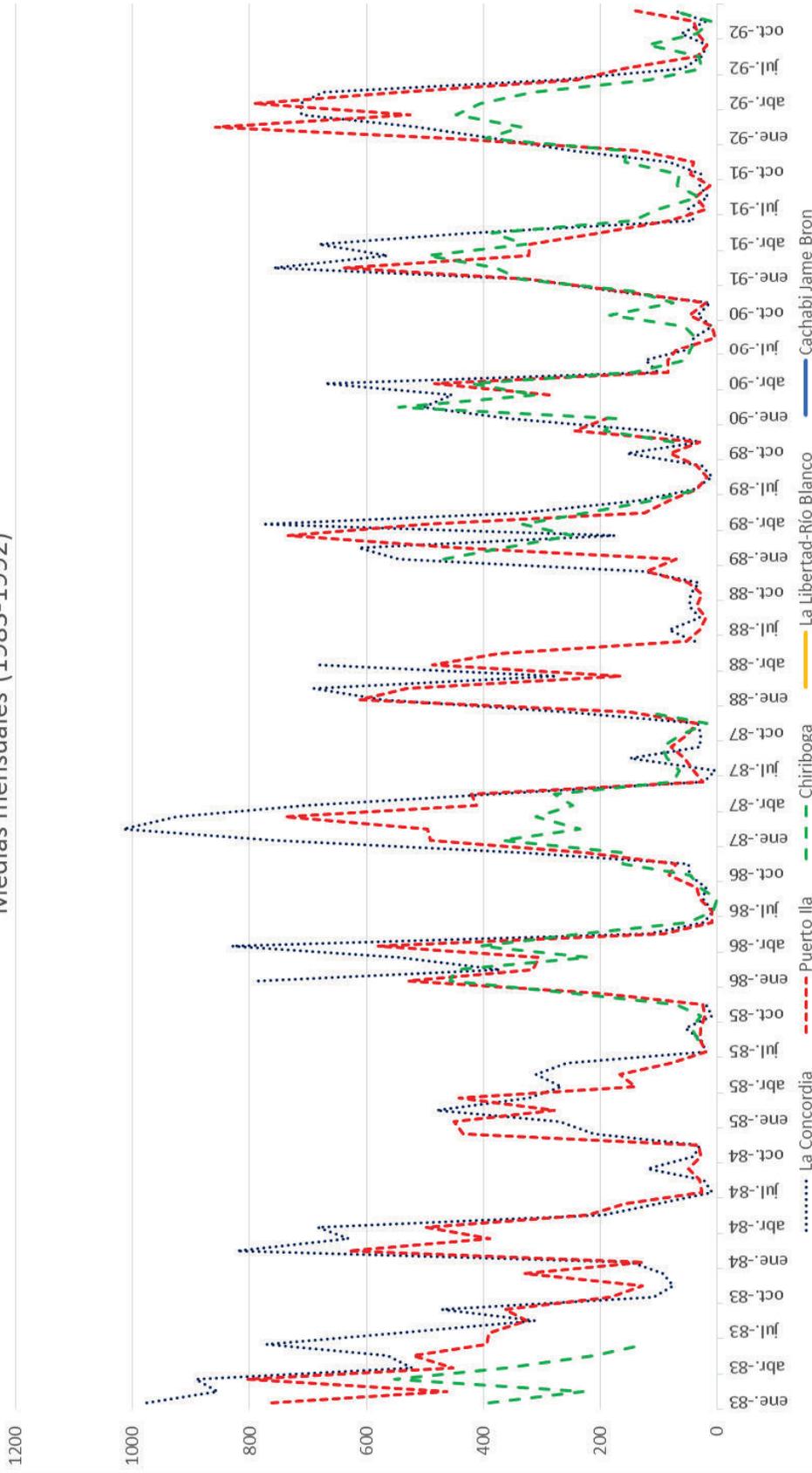
| Años | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | SUMA | MEDIA |
|------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|------|-------|
| 1970 | 3.0 NW | 3.0 S | 2.8 S | 1.7 NW | 2.3 W | 1.9 NW | 2.6 S | 1.7 W | 2.0 SW | 1.0 NW | 1.0 NW | 1.8 S | 24.8 | 2.0 |
| 1971 | 1.1 NW | 1.2 SW | 1.4 W | 1.3 W | 1.2 NW | 1.1 NW | 1.1 W | 1.6 S | 1.0 W | 1.7 SW | 1.5 W | 1.3 NW | 15.5 | 1.2 |
| 1972 | 2.4 S | 1.9 NW | 2.9 W | 1.9 W | 1.4 E | 1.6 W | | 1.4 W | 1.2 W | 1.5 W | 1.4 W | 1.9 W | | |
| 1973 | 1.4 SW | 1.2 SW | 1.1 W | 1.1 SW | 1.1 W | 1.5 W | 1.0 W | 1.1 NW | 1.0 SW | 1.4 W | 1.0 SW | 1.4 W | 14.3 | 1.1 |
| 1974 | 1.1 SW | 1.9 SW | 1.8 SW | 1.8 SW | 1.5 SW | 1.8 W | 2.1 W | 2.6 W | 1.1 NW | 1.0 NW | 1.4 NW | 1.5 NW | 19.6 | 1.6 |
| 1975 | 1.7 NW | 1.3 NW | 1.2 NW | 1.7 NW | 2.4 E | 2.4 E | 1.4 SE | 1.1 SE | 1.8 E | 1.4 SE | 2.0 NE | 1.1 SE | 19.5 | 1.6 |
| 1976 | 2.1 NE | 2.2 NE | 2.4 SE | 2.2 E | 2.5 NE | 2.3 NE | 2.7 NE | 2.2 E | 1.7 SE | 3.0 NE | 2.2 NE | 1.7 SE | 27.2 | 2.2 |
| 1977 | 2.1 SE | 2.1 SE | 2.7 NE | 2.7 SE | 2.6 SE | | 1.9 W | 2.3 W | 1.5 NW | 2.4 W | 2.8 W | 2.9 SE | | |
| 1978 | 3.1 W | 2.4 SE | 3.8 W | 3.2 W | 2.9 W | 2.4 W | 2.3 W | 2.3 W | 2.6 W | 2.3 W | 1.9 NW | 2.1 NW | 31.3 | 2.6 |
| 1979 | 2.4 NW | 2.3 W | 1.4 NW | 1.5 NW | 1.3 NW | 1.2 NW | 1.3 NW | | | 1.8 E | 2.5 S | 1.9 W | | |
| 1980 | | | 2.6 W | 2.3 W | 2.1 W | 1.8 SW | 1.6 NW | 1.7 NW | 1.8 NW | 1.6 NW | 1.3 NW | 1.8 NW | | |
| 1981 | | | | 2.6 NW | | | | | 2.5 NW | 2.8 NW | 2.5 NW | 1.8 N | | |
| 1982 | 2.6 NW | 2.6 NW | 1.7 NW | 1.7 NW | 2.0 NW | 2.0 NW | 1.8 NW | 2.1 NW | 1.9 NW | 2.6 NW | 1.9 NW | 2.2 NW | 25.1 | 2.0 |
| 1983 | 1.4 N | 1.5 NW | 2.4 NW | 2.4 NW | 2.0 NW | 2.0 NW | 1.8 NW | 1.6 NW | 1.6 NW | 1.3 NW | 1.8 W | 1.3 NW | 21.1 | 1.7 |
| 1984 | 1.2 NW | 1.5 NW | 1.5 NW | 1.4 NW | 1.2 N | 1.0 W | 1.6 N | 1.6 NW | 1.4 W | 1.5 NW | 1.2 NE | 1.4 W | 16.5 | 1.3 |
| 1985 | 1.1 NW | 1.4 W | 1.2 N | 1.1 NW | 1.0 N | 1.3 NW | 1.1 N | 1.1 N | 1.5 W | 1.1 N | 1.5 W | 1.3 W | 14.7 | 1.2 |
| 1986 | 1.4 N | 1.6 W | 1.8 N | 1.6 W | 2.0 S | 2.0 S | 1.8 N | 1.9 NE | 2.1 NW | 2.6 NW | 2.6 NW | 2.3 W | 23.7 | 1.9 |
| 1987 | 2.3 NW | 2.3 NW | 2.4 NW | 2.1 W | 2.5 NW | 2.2 NW | 2.1 NW | 2.3 NW | 26.6 | 2.2 |
| 1988 | 2.5 NW | 2.5 NW | 2.2 NW | 2.6 NW | 2.2 NW | 1.9 NW | 2.3 NW | 2.0 NW | 2.1 NW | 1.8 NW | 1.9 NW | 2.2 NW | 26.2 | 2.1 |
| 1989 | 2.3 NW | 1.9 NW | 2.0 NW | 1.8 NW | 1.7 NW | 1.6 NW | 1.7 NW | 2.1 NW | 2.0 NW | 1.7 NW | 1.8 NW | 1.8 NW | 22.4 | 1.8 |
| 1990 | 1.8 NW | | 2.0 NW | 1.9 NW | 2.0 NW | 1.5 NW | 1.5 NW | 1.8 NW | 1.8 NW | 1.4 SW | 2.3 SW | 1.6 SW | | |

| Años | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | SUMA | MEDIA |
|---------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|------|-------|
| 1991 | 1.9 SW | 2.0 SE | 2.3 SW | 2.0 SW | 2.2 SW | 2.5 SW | 2.5 SW | 2.4 SW | 2.1 SW | 2.3 SW | 1.8 SW | 2.1 SW | 26.1 | 2.1 |
| 1992 | 1.4 SW | 0.6 W | 2.0 S | 1.7 S | 2.1 SW | 1.0 S | 1.1 NW | 1.4 SW | 1.3 S | 1.3 S | 0.8 W | 1.8 S | 16.5 | 1.3 |
| 1993 | 1.3 W | 1.2 S | 1.4 N | 1.5 SW | 1.7 NW | 1.9 S | 1.1 W | 1.5 W | 2.6 S | 2.8 S | 2.6 SW | 3.0 SW | 22.6 | 1.8 |
| 1994 | 3.0 SW | 2.8 W | 3.9 S | 4.3 S | 3.6 S | 3.6 S | 2.8 W | 2.7 W | 3.3 S | 3.3 S | 2.7 S | 2.9 S | 38.9 | 3.2 |
| 1995 | 3.5 W | 2.9 W | 3.5 W | 3.0 S | 3.3 S | 3.4 S | 3.0 S | 2.9 S | 2.6 S | 2.6 S | 2.3 S | 2.9 S | 35.9 | 2.9 |
| 1996 | 3.0 S | 3.6 S | 3.3 S | 2.8 S | 3.0 S | 3.2 S | 3.4 S | 3.2 S | 4.0 S | 2.7 N | 3.7 W | 3.5 S | 39.4 | 3.2 |
| 1997 | 3.9 S | 4.2 S | 3.1 W | 3.7 W | 3.1 W | 3.6 W | 3.2 S | 3.0 S | 3.8 S | 2.8 S | 3.1 S | 4.0 W | 41.5 | 3.4 |
| 1998 | 3.0 N | 3.5 S | 3.3 S | 3.2 W | 3.3 S | 3.6 S | 3.5 S | 3.6 S | 3.5 S | 3.7 S | 3.0 S | 2.9 S | 40.1 | 3.3 |
| 1999 | 4.0 S | 4.1 S | 3.1 S | 3.3 S | 2.8 S | 3.1 S | 3.0 S | 2.5 W | 3.4 SW | 2.9 S | 3.0 S | 2.8 S | 38.0 | 3.1 |
| 2000 | 4.0 SW | 2.4 S | 3.0 S | 2.8 S | 3.3 S | 2.8 S | 3.0 S | 2.4 S | 3.2 S | 3.0 S | 2.7 S | 2.9 S | 35.5 | 2.9 |
| 2001 | 2.8 S | 2.8 S | 2.3 N | 2.3 S | 2.8 S | 3.0 S | 2.9 S | 2.6 S | 3.7 S | 2.6 S | 2.7 S | 2.9 S | 33.4 | 2.7 |
| 2002 | 3.0 S | 3.1 S | 3.6 SW | 3.4 W | 3.5 S | 2.7 S | 3.8 S | 3.4 S | 2.7 S | 3.4 S | 3.7 S | 3.9 SW | 40.2 | 3.3 |
| 2003 | 3.6 S | 4.2 SW | 3.8 S | 4.5 S | 3.8 S | 3.1 S | 3.5 S | 3.3 SW | 3.8 SW | 3.5 S | 3.4 S | 3.7 S | 44.2 | 3.6 |
| 2004 | 4.0 SW | 3.5 S | 3.8 SW | 3.3 S | 4.0 S | 3.1 S | 3.3 S | 3.6 S | 3.0 S | 3.7 S | 2.3 SW | 2.8 S | 40.4 | 3.3 |
| 2005 | 3.8 S | 3.5 SW | 3.0 S | 3.1 S | 3.0 S | 2.8 S | 2.8 S | 2.9 S | 3.1 S | 3.1 S | 3.3 S | 3.8 S | 38.2 | 3.1 |
| 2006 | 3.1 S | 3.8 S | 4.0 SW | 3.3 S | 2.9 S | 3.3 S | 3.3 S | 3.5 S | 2.9 S | 3.7 S | 2.9 S | 3.2 S | 39.9 | 3.3 |
| 2007 | 3.2 S | 3.3 S | 3.2 S | 2.1 N | 2.2 N | 2.7 S | 2.8 S | 2.6 S | 2.8 S | 2.7 S | 2.4 S | 2.5 S | 32.5 | 2.7 |
| 2008 | 2.4 S | 2.5 SW | 2.7 S | 2.4 S | 2.3 S | 2.3 S | 2.5 S | 2.2 S | 2.2 S | 2.2 S | 1.7 NE | 2.2 NE | 27.6 | 2.3 |
| 2009 | 2.1 NE | 2.1 NE | 2.1 E | 2.0 NE | 2.0 E | 2.3 E | 2.1 E | 2.2 E | 2.0 NE | 2.1 NE | 2.3 NE | 2.1 NE | 25.4 | 2.1 |
| 2010 | 2.1 NE | 2.0 NE | 2.1 E | 2.1 E | 2.3 E | 2.0 E | 2.1 NE | 2.3 SE | 2.1 NE | 2.0 NE | 2.3 E | 2.0 E | 25.4 | 2.1 |
| 2011 | 2.0 E | 2.2 SE | 2.8 SE | 1.8 E | 1.8 E | 1.6 E | 2.4 SE | 2.2 SE | 2.1 SE | 1.9 SE | 2.1 SE | 2.5 SE | 25.4 | 2.1 |
| 2012 | 1.7 NE | 2.3 SE | 1.9 E | 1.7 NE | 1.8 E | 1.8 SE | 2.6 SE | 1.8 E | 2.0 SE | 1.8 E | 2.2 SE | 2.0 N | 23.6 | 1.9 |
| 2013 | 2.5 S | 2.0 S | 2.1 SE | 2.2 SE | 2.1 S | 1.8 S | 1.7 S | 2.0 S | 2.1 S | 2.0 S | 2.3 SE | 1.9 SE | 24.7 | 2.0 |
| 2014 | 2.1 S | 2.2 S | 2.3 S | 2.1 S | 1.4 SE | 2.1 S | 2.1 S | 2.3 S | 1.8 SE | | | | | |
| media | 2.4 | 2.4 | 2.4 | 2.3 | 2.3 | 2.2 | 2.2 | 2.2 | 2.2 | 2.2 | 2.2 | 2.3 | 27.8 | 2.3 |
| mínima | 1.1 | 0.6 | 1.1 | 1.1 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.1 | 1.0 | 1.0 | 0.8 | 1.1 | | 0.6 |
| máxima | 4.0 | 4.2 | 4.0 | 4.5 | 4.0 | 3.6 | 3.8 | 3.6 | 4.0 | 3.7 | 3.7 | 4.0 | | 4.5 |

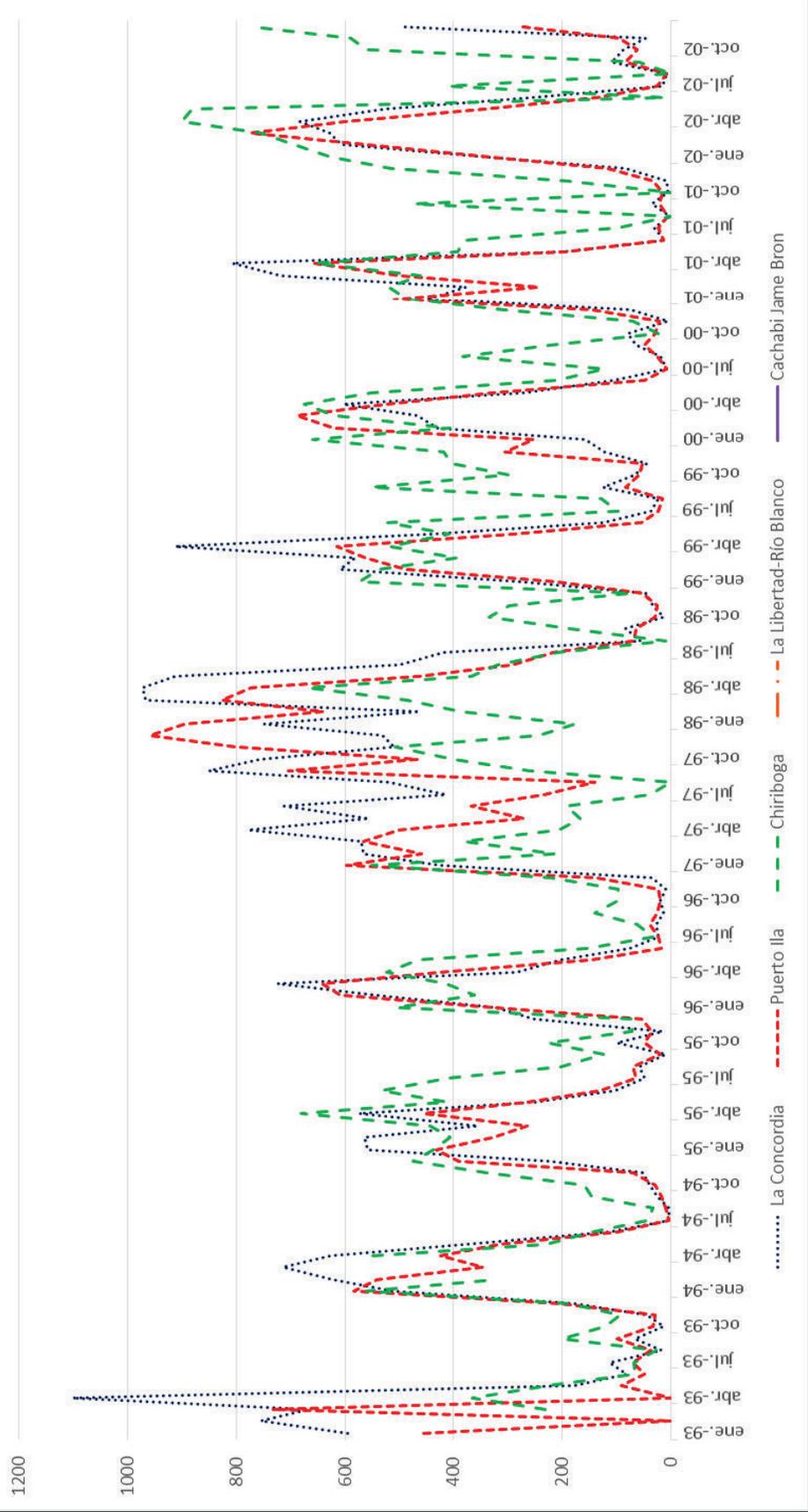
Anexo 4. Variación de precipitación en el tiempo, Medias mensuales.



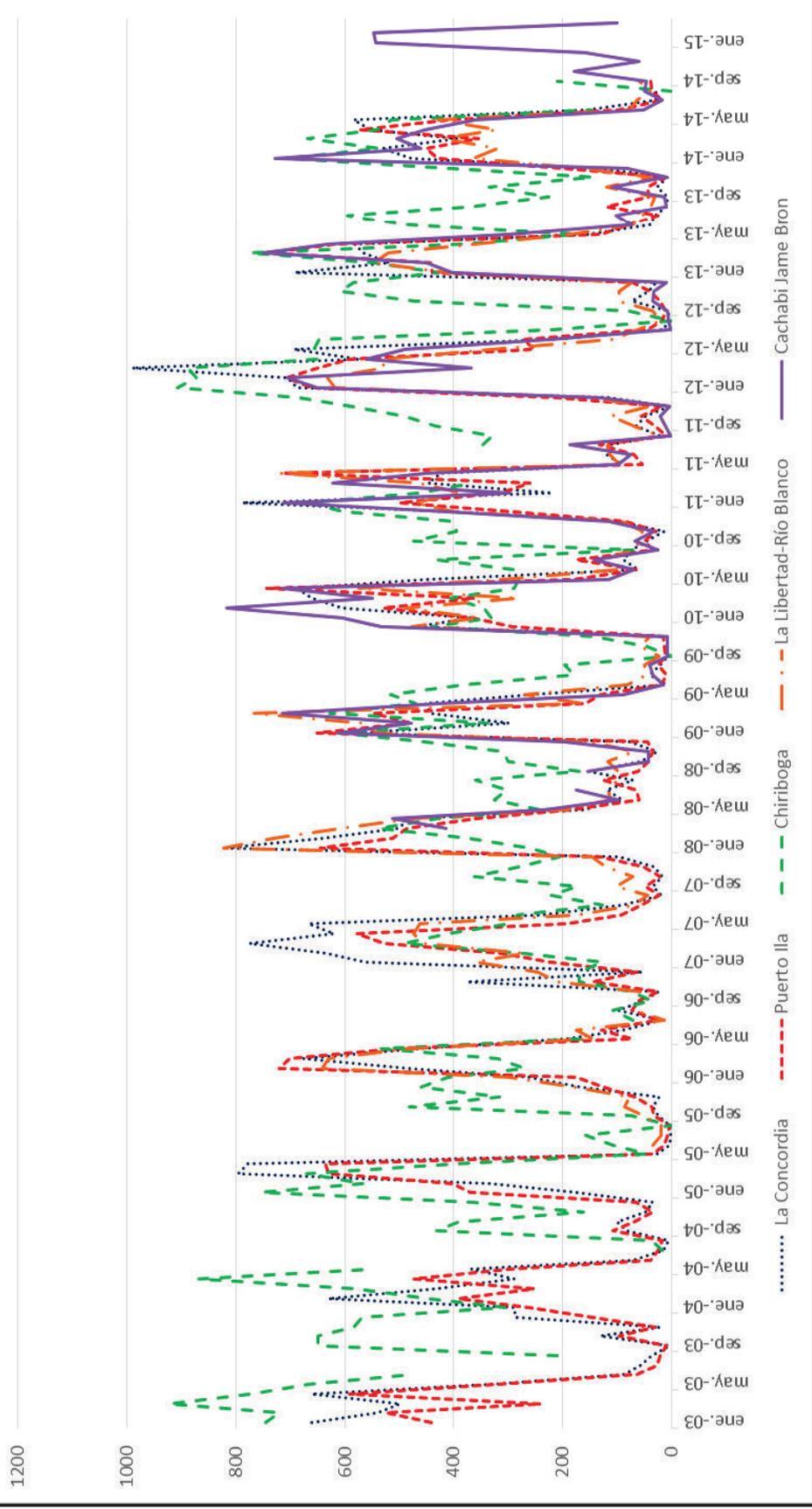
Variación de precipitación en el tiempo
Medias mensuales (1983-1992)



Variación de precipitación en el tiempo
Medias mensuales (1993-2002)



Variación de precipitación en el tiempo
Medias mensuales (2002-2015)



Anexo 5. Condiciones del método de la curva.

1) USO DE LA TIERRA

El uso de la tierra implica directamente el nivel de protección del suelo por la cobertura vegetal frente al impacto de las gotas de lluvia. Así por ejemplo, en el caso de explotaciones agroforestales se incluyen en las opciones de barbecho, cultivos alineados o no alineados, cultivos de elevado porcentaje de cobertura, pastizales, montes en diferentes estados de degradación vegetal, etc. Además del grado de impermeabilización del suelo por compactación o asfaltado (caseríos, caminos, urbanización, etc.)

Números de las curvas de escorrentía para complejos hidrológicos uso agronómicos-tipo de suelo para condiciones de humedad.

| Cubierta del suelo | | | Números de curva correspondientes a los grupos hidrológicos del suelo | | | |
|--|---------|---|---|----|----|----|
| Clase | Laboreo | Condiciones hidrológicas para la infiltración | A | B | C | D |
| Barbecho | - | - | 77 | 86 | 91 | 94 |
| Cultivos alineados | R | Pobres | 72 | 81 | 88 | 91 |
| | R | Buenas | 67 | 78 | 85 | 89 |
| | C | Pobres | 70 | 79 | 84 | 88 |
| | C | Buenas | 65 | 75 | 82 | 86 |
| | C-T | Pobres | 66 | 74 | 80 | 82 |
| | C-T | Buenas | 62 | 71 | 78 | 81 |
| Cultivos no alineados o con surcos pequeños o mal definidos | R | Pobres | 65 | 76 | 84 | 88 |
| | R | Buenas | 63 | 75 | 83 | 87 |
| | C | Pobres | 63 | 74 | 82 | 85 |
| | C | Buenas | 61 | 73 | 81 | 84 |
| | C-T | Pobres | 61 | 72 | 79 | 82 |
| | C-T | Buenas | 59 | 70 | 78 | 81 |
| Cultivos densos de leguminosas o prados en alternativa | R | Pobres | 66 | 77 | 84 | 88 |
| | R | Buenas | 58 | 72 | 81 | 85 |
| | C | Pobres | 64 | 75 | 83 | 85 |
| | C | Buenas | 55 | 69 | 78 | 83 |
| | C-T | Pobres | 63 | 73 | 80 | 83 |
| | C-T | Buenas | 51 | 67 | 76 | 80 |
| Pastizales (pastos naturales) | - | Pobres | 68 | 79 | 86 | 89 |
| | - | Regulares | 49 | 69 | 79 | 84 |
| | - | Buenas | 39 | 61 | 74 | 80 |
| | C | Pobres | 47 | 67 | 81 | 88 |
| | C | Regulares | 25 | 59 | 75 | 83 |
| | C | Buenas | 6 | 35 | 70 | 79 |
| Prados permanentes Montes con pastos (ganadero-forestal) | - | - | 30 | 58 | 71 | 78 |
| | - | Pobres | 45 | 66 | 77 | 83 |
| | - | Regulares | 36 | 60 | 73 | 79 |
| | - | Buenas | 25 | 55 | 70 | 77 |
| Bosques (forestales) | - | Muy pobres | 56 | 75 | 86 | 91 |
| | - | Pobres | 46 | 68 | 78 | 84 |
| | - | Regulares | 36 | 60 | 70 | 76 |
| | - | Buenas | 26 | 52 | 63 | 69 |
| | - | Muy buenas | 15 | 44 | 54 | 61 |
| Caseríos | - | - | 59 | 74 | 82 | 86 |
| Caminos de tierra | - | - | 72 | 82 | 87 | 89 |
| Caminos en firme | - | - | 74 | 84 | 90 | 92 |

2) EXISTENCIA DE OBRAS O MEDIDAS DE CONSERVACIÓN

Dado un determinado uso de la tierra, la realización o no de prácticas de conservación normalmente es determinante del volumen de escorrentía generado por la lluvia. Bajo la epígrafe "laboreo" aparecen las posibles medidas agronómicas destinadas a la corrección de la erosión hídrica: inexistencia (R), curvas de nivel (C) y aterrazamientos (C-T).

Números de las curvas de escorrentía para complejos hidrológicos uso agronómicos-tipo de suelo para condiciones de humedad.

| Cubierta del suelo | | | Números de curva correspondientes a los grupos hidrológicos del suelo | | | |
|---|---------|---|---|----|----|----|
| Clase | Laboreo | Condiciones hidrológicas para la infiltración | A | B | C | D |
| Barbecho | - | - | 77 | 86 | 91 | 94 |
| Cultivos alineados | R | Pobres | 72 | 81 | 88 | 91 |
| | C | Buenas | 67 | 78 | 85 | 89 |
| | C | Pobres | 70 | 79 | 84 | 88 |
| | C | Buenas | 65 | 75 | 82 | 86 |
| | C-T | Pobres | 66 | 74 | 80 | 82 |
| | C-T | Buenas | 62 | 71 | 78 | 81 |
| Cultivos no alineados o con surcos pequeños o mal definidos | R | Pobres | 65 | 76 | 84 | 88 |
| | C | Buenas | 63 | 75 | 83 | 87 |
| | C | Pobres | 63 | 74 | 82 | 85 |
| | C | Buenas | 61 | 73 | 81 | 84 |
| | C-T | Pobres | 61 | 72 | 79 | 82 |
| | C-T | Buenas | 59 | 70 | 78 | 81 |
| Cultivos densos de leguminosas o prados en alternativa | R | Pobres | 66 | 77 | 84 | 88 |
| | C | Buenas | 58 | 72 | 81 | 85 |
| | C | Pobres | 64 | 75 | 83 | 85 |
| | C | Buenas | 55 | 69 | 78 | 83 |
| | C-T | Pobres | 63 | 73 | 80 | 83 |
| | C-T | Buenas | 51 | 67 | 76 | 80 |
| Pastizales (pastos naturales) | - | Pobres | 68 | 79 | 86 | 89 |
| | - | Regulares | 49 | 69 | 79 | 84 |
| | - | Buenas | 39 | 61 | 74 | 80 |
| | C | Pobres | 47 | 67 | 81 | 88 |
| | C | Regulares | 25 | 59 | 75 | 83 |
| | C | Buenas | 6 | 35 | 70 | 79 |

Significado de los códigos R, C y C-T

Laboreo del terreno.- La forma en que se realice las labores del terreno inducen en la escorrentía, de modo que en la clasificación expuesta, las letras que aparecen en la segunda columna, tienen el siguiente significado.

R= Cuando las labores de la tierra, la siembra y las restantes faenas son ejecutadas sin tener en cuenta la pendiente del terreno.

C= Cuando el cultivo es por curvas de nivel.

C-T= Cuando el cultivo es por curvas de nivel y existen además terrazas abiertas para la conservación del suelo

En terrenos de pendiente inferior a 2% se considera como si fuera por curvas de nivel.

3) CONDICIONES HIDROLÓGICAS PARA LA FILTRACIÓN

Además de la práctica o no de medidas de conservación, existe otros aspectos del manejo de las tierras que repercuten sobre el estado físico del suelo y, por lo tanto, sobre su tasa de infiltración. Lógicamente son específicas, presentándose hasta 5 posibles alternativas: muy pobre, pobre, regular, buena y muy buena.

Pastizales o pastos naturales: Se clasifican en tres grupos teniendo en cuenta consideraciones hidrológicas y no la producción del forraje. Se consideran **pobres** los que son abundantemente pastados, con escasa materia orgánica sobre el terreno, o cuando las plantas cubren menos del 50% de la superficie total.

Regulares, aquellos cuya cubierta vegetal alcanza un 50% y un 75% de la superficie del terreno y son moderadamente pastados.

Buenos, los que su cubierta vegetal supera el 75% de la superficie del terreno y son ligeramente pastados.

Prados permanentes: No son pastados, es decir, su vegetación es permanente cubriendo el 100% de las superficie del terreno.

Montes con pastos: Se establecen también tres clases, basadas en factores hidrológicos y no en la producción.

Se consideran **pobres**, cuando se dan labores al terreno o cuando son abundantemente pastados o incluso quemados, de modo que la superficie del terreno aparezca libre de arbustos, matas, pastos y restos vegetales.

Se consideran **regulares**, cuando son pastados, pero nunca labrados o quemados, de modo que la superficie del terreno presente pastos y mantillo.

Por último, son **buenos** aquellos en que, protegidos del pastoreo, el terreno aparece cubierto de matas, abundantes pastos naturales y restos orgánicos de toda clase.

Bosques: Las cinco clases hidrológicas establecidas se basan en la consideración de la profundidad y grado de consolidación de las capas de mantillo y de humus del bosque, de modo que cuanto mayor sea el espesor de dichas capas y menos compactas e impermeables aparezcan, tanto mejor será la condición hidrológica resultante para la infiltración.

4) PERMEABILIDAD DEL SUELO

Sea cual sea la clase de uso, las medidas de conservación adoptadas y el manejo realizado en nuestra explotación, un aspecto primordial en la producción de escorrentía lógicamente es la naturaleza del suelo, su mayor o menor permeabilidad. Bajo el nombre de "Grupo hidrológico del suelo" situaremos nuestro suelo en una de las 4 clases de permeabilidad en atención a su profundidad y textura: elevada (Grupo A), moderada (Grupo B), escasa (Grupo C) y nula o prácticamente nula (Grupo D).

Grupo A, es el que ofrece menor escorrentía. Incluye los suelos que presentan mayor permeabilidad, incluso cuando están saturados. Comprenden los terrenos profundos sueltos con predominio de arena o grava y con muy poco limo o arcilla (Arenosos, arenosos-limosos, loes, etc.)

Grupo B, incluye los suelos de moderada permeabilidad cuando están saturados comprendiendo los terrenos arenosos menos profundos que los del Grupo A, otros de textura franco-arenosa de mediana profundidad y los francos profundos.

Grupo C, incluye los suelos, que ofrecen poca permeabilidad cuando están saturados, por presentar un estrato impermeable que dificulta la infiltración o porque en conjunto, su textura es franco-arcillosa o arcillosa.

Grupo D, Es el que ofrece mayor escorrentía. Incluye los suelos que presentan gran permeabilidad, tales como los terrenos muy arcillosos profundos con alto grado de tumefacción, los terrenos que presentan en la superficie o cerca de la misma una capa de arcilla muy impermeable y aquellos otros con subsuelo muy impermeable próximo a la superficie.

Anexo 6. Campañas de medición de niveles de agua.

Tabla 1. Resumen del inventario de pozos utilizados en la zona de estudio (Invierno).

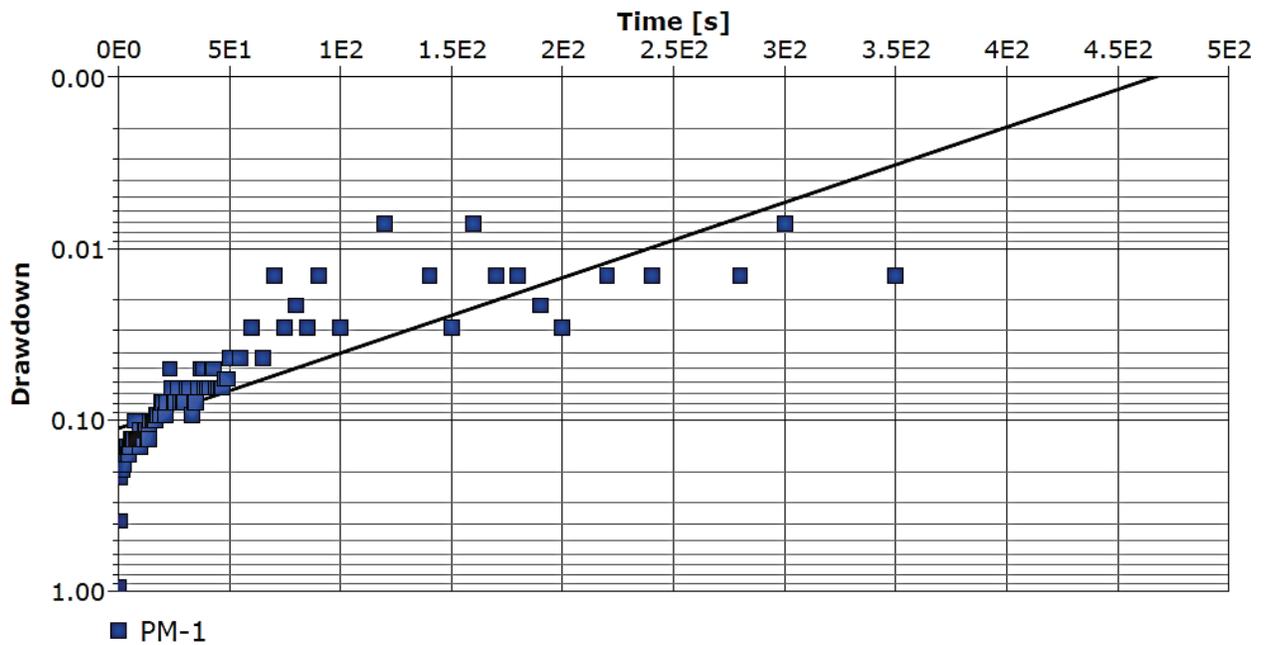
| Código del Pozo | Coordenadas | | Cotas (msnm) | Profundidad del Pozo (m) | Profundidad del Nivel estático (m) | Cota del Nivel Estático (msnm) |
|-----------------|-------------|-------------|--------------|--------------------------|------------------------------------|--------------------------------|
| | ESTE (m) | NORTE (m) | Superficie | | | |
| PE-1 | 684819.783 | 9992376.710 | 274.437 | 17.958 | 9.792 | 264.645 |
| PE-2 | 684804.467 | 9992372.610 | 273.085 | 18.568 | 8.842 | 264.243 |
| PE-3 | 684921.167 | 9992384.488 | 278.567 | 18.200 | 9.278 | 269.289 |
| MPE-1 | 684892.587 | 9992396.836 | 277.691 | 22.550 | 10.011 | 267.680 |
| PI-1 | 684938.602 | 9992389.624 | 279.726 | 24.100 | 9.081 | 270.645 |
| PV-1 | 684851.309 | 9992375.346 | 276.977 | 17.700 | 12.690 | 264.287 |
| PV-2 | 684859.993 | 9992394.637 | 276.126 | 17.000 | 9.494 | 266.632 |
| PV-3 | 684906.225 | 9992393.370 | 278.112 | 17.162 | 9.275 | 268.837 |
| PV-4 | 684838.798 | 9992367.272 | 275.280 | 15.813 | 10.180 | 265.100 |
| PM 1 | 684549.339 | 9992393.214 | 255 | 4.43 | 2.779 | 252.221 |
| PM 2 | 684599.618 | 9992343.457 | 257.6 | 6.87 | 4.250 | 253.350 |
| PM 3 | 684680.143 | 9992258.451 | 258 | 4.8 | 1.774 | 256.226 |
| PM 4 | 684661.916 | 9992277.608 | 262.5 | 9.72 | 6.731 | 255.769 |
| PM 5 | 684792.408 | 9992301.966 | 261.8 | 5.952 | 3.309 | 258.491 |
| PM 8 | 684717.927 | 9992359.355 | 267.9 | 12.474 | 6.677 | 261.223 |
| PM 6 | 684666.657 | 9992471.571 | 255.6 | 4.33 | 1.147 | 254.453 |
| PM 7 | 684673.744 | 9992416.076 | 255.4 | 5.602 | 1.022 | 254.378 |
| PM 9 | 684712.381 | 9992421.666 | 258.7 | 5.492 | 1.778 | 256.922 |
| PM 10 | 684744.898 | 9992447.451 | 260.4 | 5.518 | 3.020 | 257.380 |
| PM11 | 684735.977 | 9992466.544 | 261.8 | 5.91 | 2.777 | 259.023 |
| PM12 | 684856.068 | 9992385.697 | 275.6 | 15.75 | 8.962 | 266.638 |
| PM18 | 684822.572 | 9992299.996 | 260.8 | 7.1 | 0.544 | 260.256 |
| PM19 | 684530.272 | 9992279.779 | 261 | 8.886 | 6.570 | 254.430 |
| PM13 | 684648.13 | 9992396.117 | 257.6 | 5.998 | 3.688 | 253.912 |
| PM14 | 684826.052 | 9992347.923 | 277.5 | 17.086 | 15.965 | 261.535 |
| PM15 | 684684.136 | 9992550.956 | 262.7 | 8.19 | 5.578 | 257.122 |
| PM16 | 685016.663 | 9992530.443 | 265.4 | 7.494 | 3.088 | 262.312 |
| PM17 | 684950.318 | 9992313.024 | 284.4 | 13.37 | 10.718 | 273.682 |
| PB1 | 684917.30 | 9992360.90 | 280.69 | 13.94 | 12.548 | 268.142 |
| PB2 | 684836.10 | 9992372.20 | 274.73 | 15.18 | 9.993 | 264.74 |

Tabla 2. Resumen del inventario de pozos utilizados en la zona de estudio (Verano).

| Código del Pozo | Coordenadas | | Cotas (msnm) | Profundidad del Pozo (m) | Profundidad del Nivel estático (m) | Cota del Nivel Estático (msnm) |
|-----------------|-------------|-------------|--------------|--------------------------|------------------------------------|--------------------------------|
| | NORTE (m) | ESTE (m) | Superficie | | | |
| PE-1 | 684819.783 | 9992376.710 | 274.437 | 17.958 | 10.196 | 264.241 |
| PE-2 | 684804.467 | 9992372.610 | 273.085 | 18.568 | 9.155 | 263.930 |
| PE-3 | 684921.167 | 9992384.488 | 278.567 | 18.200 | 9.675 | 268.892 |
| MPE-1 | 684892.587 | 9992396.836 | 277.691 | 22.550 | 10.529 | 267.162 |
| PI-1 | 684938.602 | 9992389.624 | 279.726 | 24.100 | 9.540 | 270.186 |
| PV-1 | 684851.309 | 9992375.346 | 276.977 | 17.700 | 13.054 | 263.923 |
| PV-2 | 684859.993 | 9992394.637 | 276.126 | 17.000 | 9.759 | 266.367 |
| PV-3 | 684906.225 | 9992393.370 | 278.112 | 17.162 | 9.967 | 268.145 |
| PV-4 | 684838.798 | 9992367.272 | 275.280 | 15.813 | 10.794 | 264.486 |
| PM 1 | 684549.339 | 9992393.214 | 255 | 4.43 | 3.012 | 251.988 |
| PM 2 | 684599.618 | 9992343.457 | 257.6 | 6.87 | 4.738 | 252.862 |
| PM 3 | 684680.143 | 9992258.451 | 258 | 4.8 | 2.573 | 255.427 |
| PM 4 | 684661.916 | 9992277.608 | 262.5 | 9.72 | 7.430 | 255.070 |
| PM 5 | 684792.408 | 9992301.966 | 261.8 | 5.952 | 3.460 | 258.340 |
| PM 8 | 684717.927 | 9992359.355 | 267.9 | 12.474 | 6.905 | 260.995 |
| PM 6 | 684666.657 | 9992471.571 | 255.6 | 4.33 | 1.333 | 254.267 |
| PM 7 | 684673.744 | 9992416.076 | 255.4 | 5.602 | 1.385 | 254.015 |
| PM 9 | 684712.381 | 9992421.666 | 258.7 | 5.492 | 2.474 | 256.226 |
| PM 10 | 684744.898 | 9992447.451 | 260.4 | 5.518 | 3.227 | 257.173 |
| PM11 | 684735.977 | 9992466.544 | 261.8 | 5.91 | 3.348 | 258.452 |
| PM12 | 684856.068 | 9992385.697 | 275.6 | 15.75 | 9.361 | 266.239 |
| PM18 | 684822.572 | 9992299.996 | 260.8 | 7.1 | 0.880 | 259.920 |
| PM19 | 684530.272 | 9992279.779 | 261 | 8.886 | 7.137 | 253.863 |
| PM13 | 684648.13 | 9992396.117 | 257.6 | 5.998 | 3.987 | 253.613 |
| PM14 | 684826.052 | 9992347.923 | 277.5 | 17.086 | 16.286 | 261.214 |
| PM15 | 684684.136 | 9992550.956 | 262.7 | 8.19 | 5.790 | 256.910 |
| PM16 | 685016.663 | 9992530.443 | 265.4 | 7.494 | 3.583 | 261.817 |
| PM17 | 684950.318 | 9992313.024 | 284.4 | 13.37 | 11.039 | 273.361 |
| PB1 | 684917.30 | 9992360.90 | 280.69 | 13.94 | 12.857 | 267.833 |
| PB2 | 684836.10 | 9992372.20 | 274.73 | 15.18 | 10.393 | 264.337 |

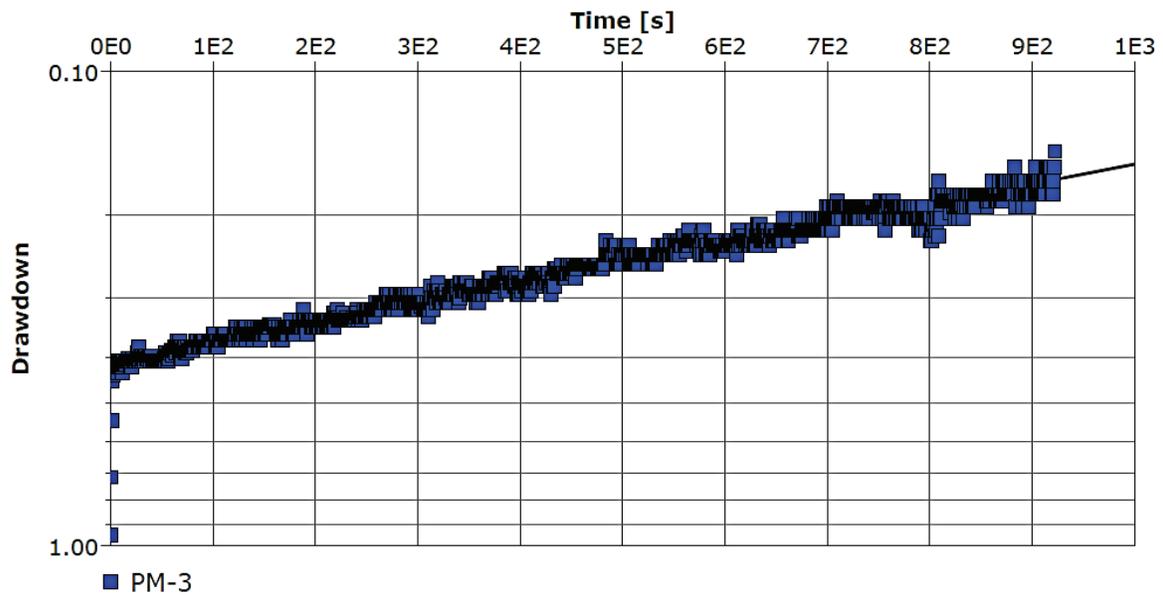
Anexo 7. Resultados de las "Pruebas Slug".

| | | |
|---------------------------|-----------------|--------------------------|
| Location: LA CONCORDIA | Slug Test: PM-1 | Test Well: PM-1 |
| Test Conducted by: GY | | Test Date: 8/28/2014 |
| Analysis Performed by: GY | Slug PM-1 | Analysis Date: 9/13/2014 |
| Aquifer Thickness: 3.00 m | | |



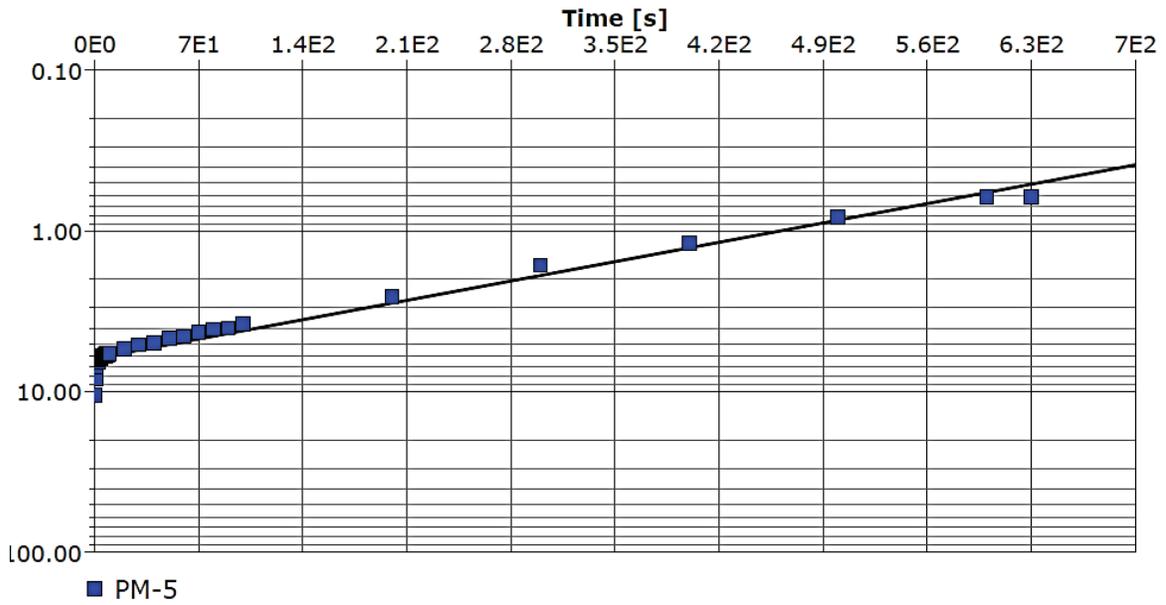
| | |
|------------------|------------------------------|
| Observation Well | Hydraulic Conductivity (m/d) |
| PM-1 | $6.94 \cdot 10^{-1}$ |

| | | |
|---------------------------|-----------------|--------------------------|
| Location: LA CONCORDIA | Slug Test: PM-3 | Test Well: PM-3 |
| Test Conducted by: GY | | Test Date: 8/28/2014 |
| Analysis Performed by: GY | Slug PM-3 | Analysis Date: 9/13/2014 |
| Aquifer Thickness: 2.00 m | | |



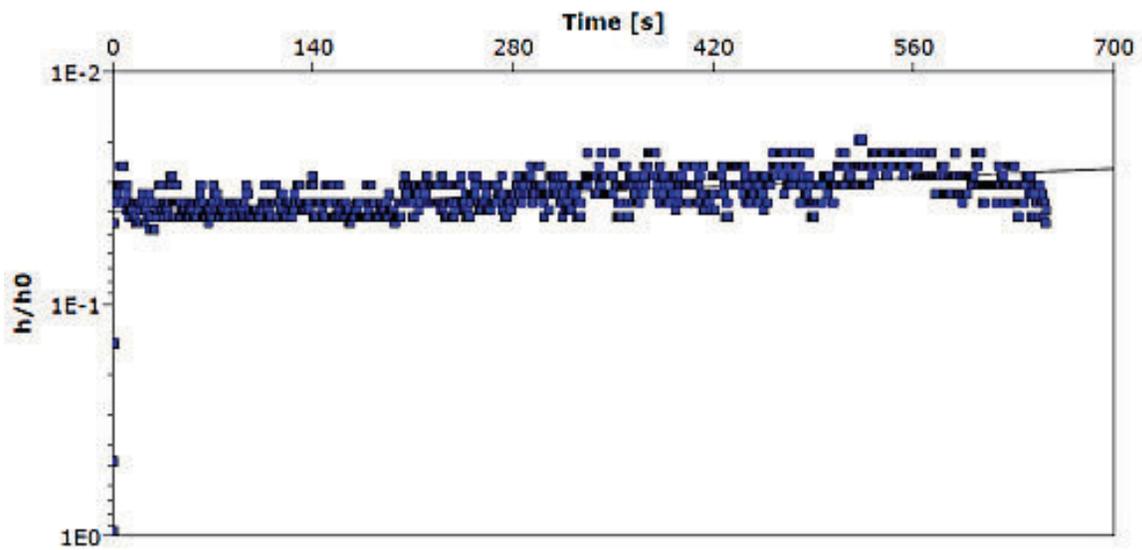
| | |
|------------------|------------------------------|
| Observation Well | Hydraulic Conductivity (m/d) |
| PM-3 | $3.4 \cdot 10^{-2}$ |

| | | |
|---------------------------|-----------------|--------------------------|
| Location: LA CONCORDIA | Slug Test: PM-5 | Test Well: PM-5 |
| Test Conducted by: GY | | Test Date: 8/28/2014 |
| Analysis Performed by: GY | Slug PM-5 | Analysis Date: 9/13/2014 |
| Aquifer Thickness: 1.50 m | | |



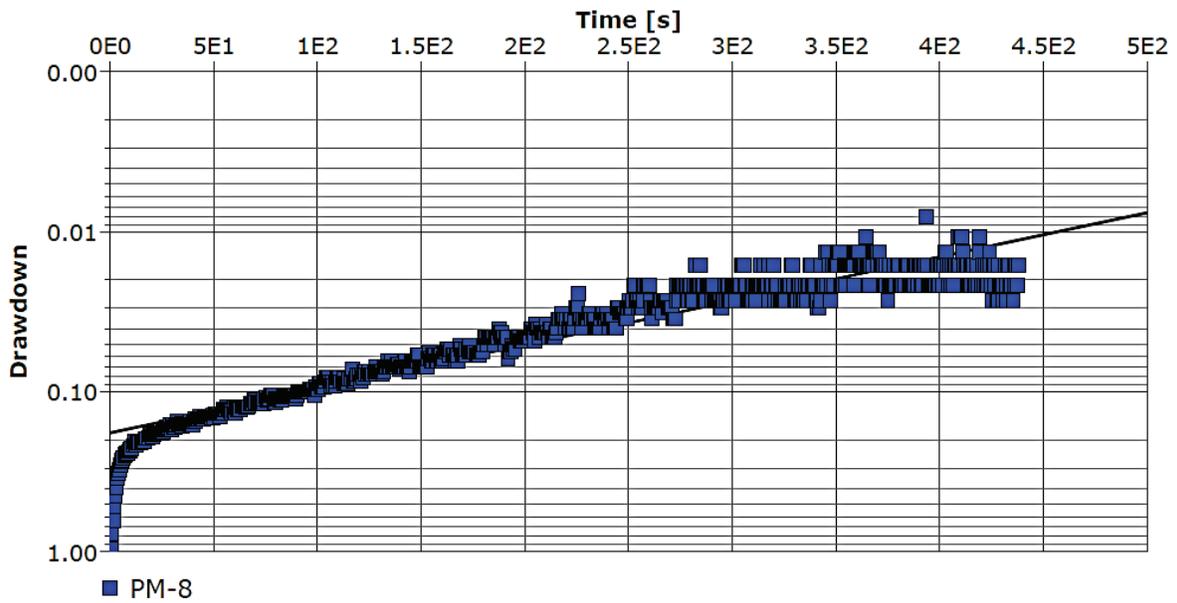
| | |
|------------------|------------------------------|
| Observation Well | Hydraulic Conductivity (m/d) |
| PM-5 | $3.11 \cdot 10^{-1}$ |

| | | |
|---------------------------|-----------------|--------------------------|
| Location: LA CONCORDIA | Slug Test: PM-7 | Test Well: PM-7 |
| Test Conducted by: GY | | Test Date: 8/28/2014 |
| Analysis Performed by: GY | Slug PM-7 | Analysis Date: 9/13/2014 |
| Aquifer Thickness: 1.50 m | | |



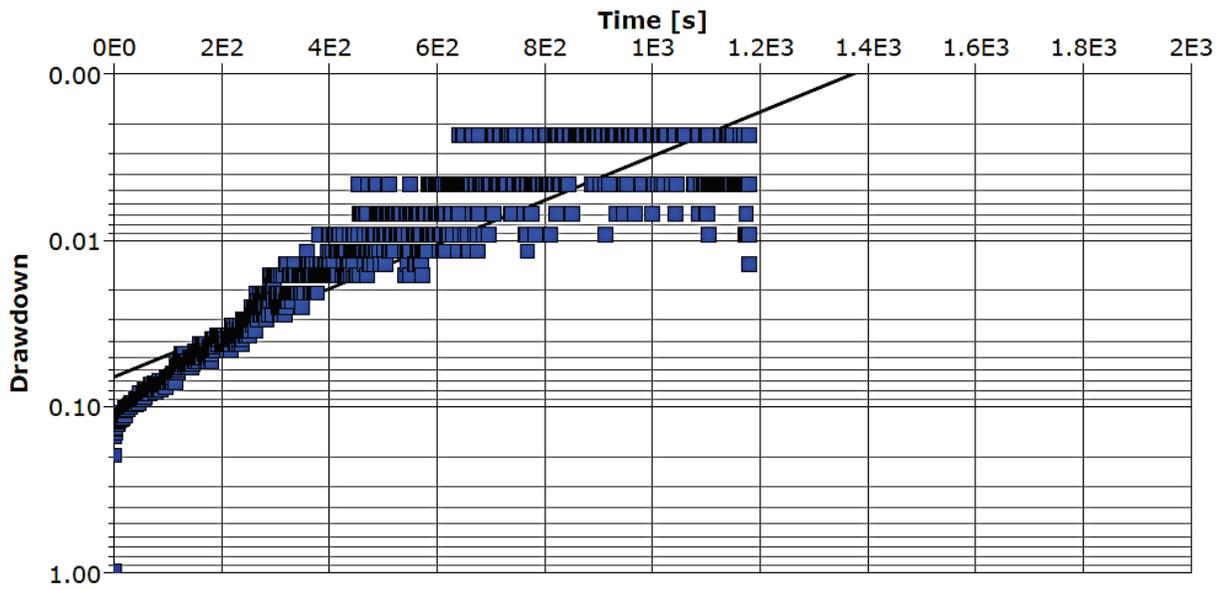
| | |
|------------------|------------------------------|
| Observation Well | Hydraulic Conductivity (m/d) |
| PM-7 | 2.14×10^{-2} |

| | | |
|---------------------------|-----------------|--------------------------|
| Location: LA CONCORDIA | Slug Test: PM-8 | Test Well: PM-8 |
| Test Conducted by: GY | | Test Date: 8/28/2014 |
| Analysis Performed by: GY | Slug PM-8 | Analysis Date: 9/13/2014 |
| Aquifer Thickness: 8.50 m | | |



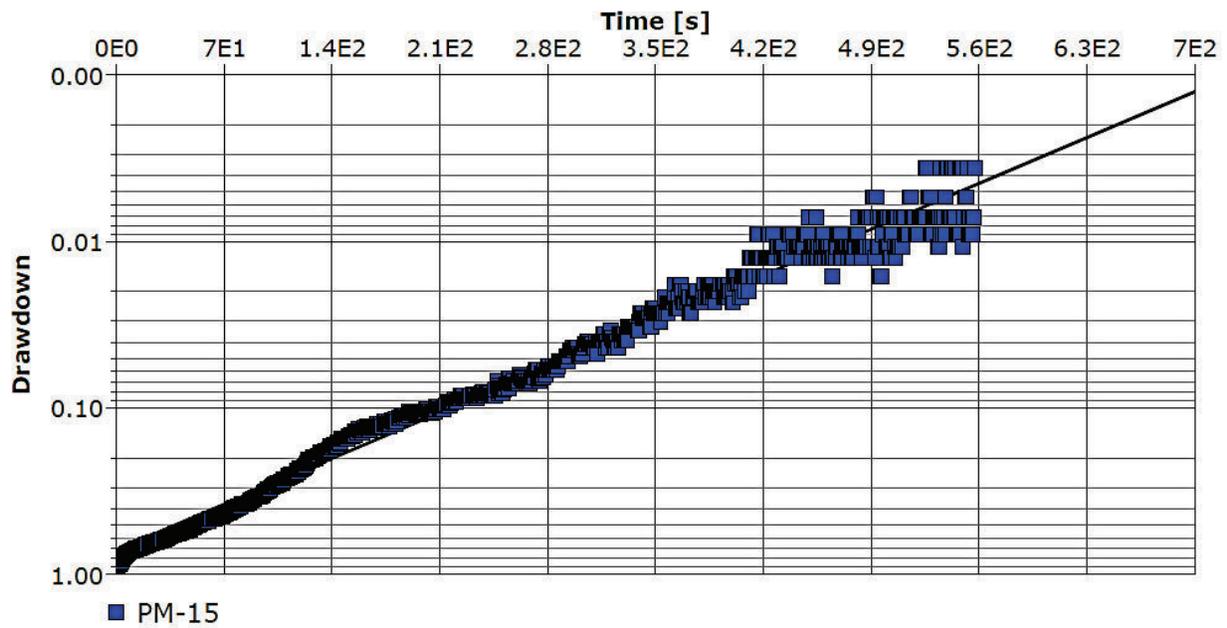
| | |
|------------------|------------------------------|
| Observation Well | Hydraulic Conductivity (m/d) |
| PM-8 | $1.01 \cdot 10^{-1}$ |

| | | |
|---------------------------|------------------|--------------------------|
| Location: LA CONCORDIA | Slug Test: PM-10 | Test Well: PM-10 |
| Test Conducted by: GY | | Test Date: 8/28/2014 |
| Analysis Performed by: GY | Slug PM-10 | Analysis Date: 9/13/2014 |
| Aquifer Thickness: 2.50 m | | |



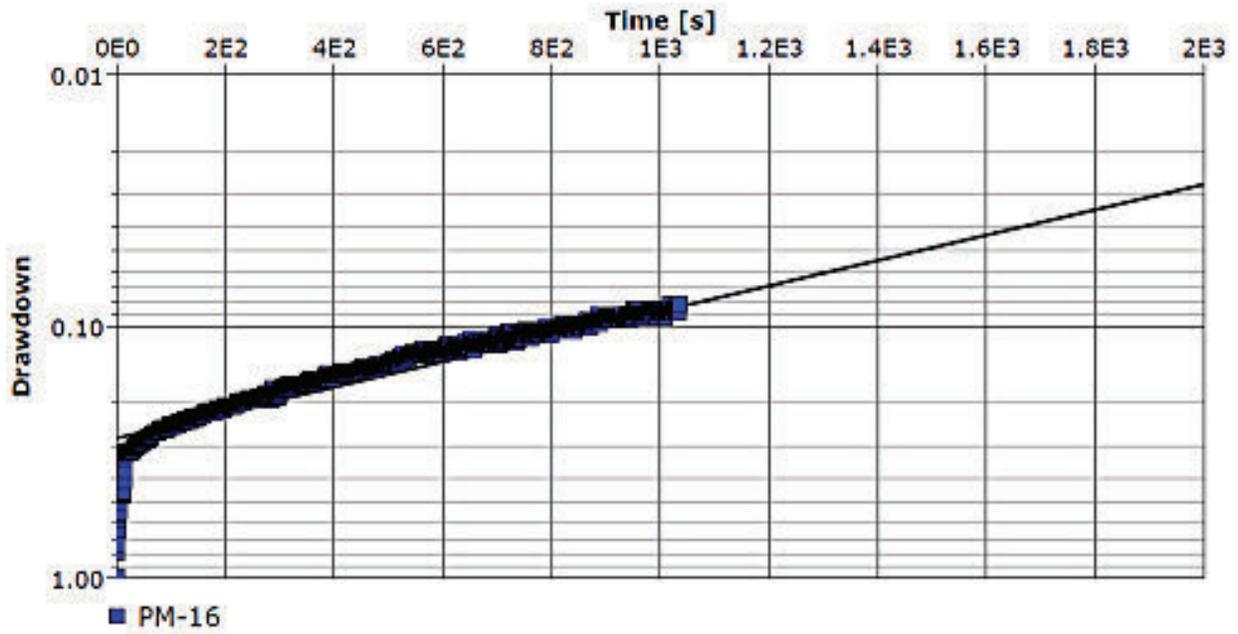
| | |
|------------------|------------------------------|
| Observation Well | Hydraulic Conductivity (m/d) |
| PM-10 | $1.07 \cdot 10^{-1}$ |

| | | |
|---------------------------|------------------|--------------------------|
| Location: LA CONCORDIA | Slug Test: PM-15 | Test Well: PM-15 |
| Test Conducted by: GY | | Test Date: 8/28/2014 |
| Analysis Performed by: GY | Slug PM-15 | Analysis Date: 9/13/2014 |
| Aquifer Thickness: 3.50 m | | |



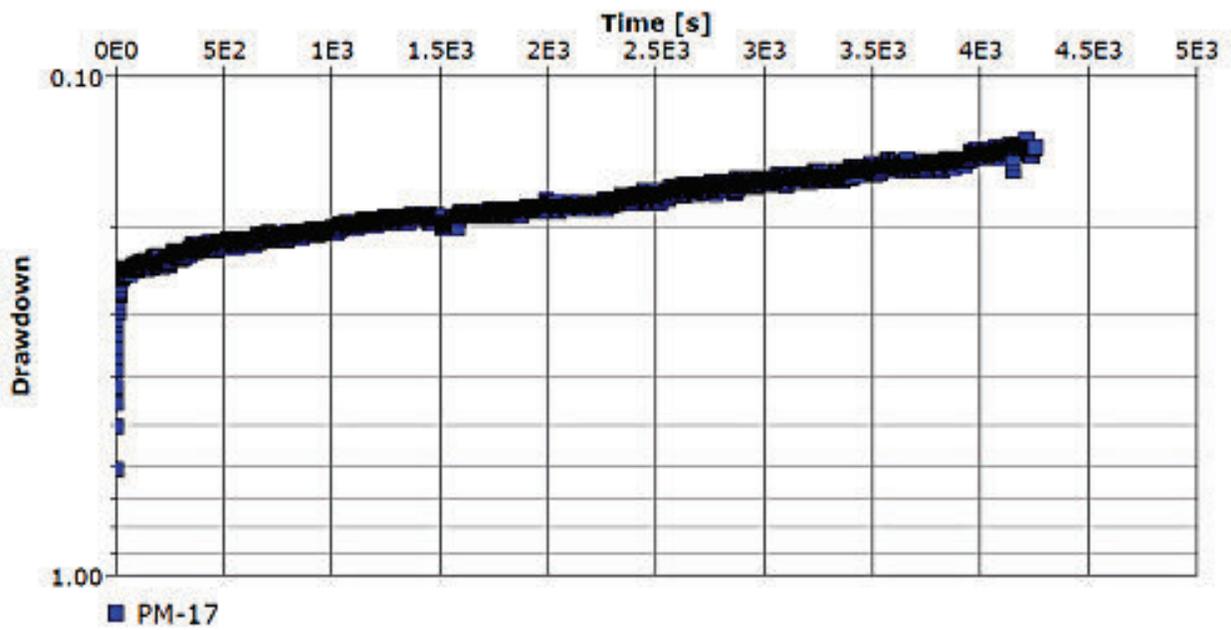
| | |
|------------------|------------------------------|
| Observation Well | Hydraulic Conductivity (m/d) |
| PM-15 | $2.77 \cdot 10^{-1}$ |

| | | |
|---------------------------|------------------|--------------------------|
| Location: LA CONCORDIA | Slug Test: PM-16 | Test Well: PM-16 |
| Test Conducted by: GY | | Test Date: 8/28/2014 |
| Analysis Performed by: GY | Slug PM-16 | Analysis Date: 9/13/2014 |
| Aquifer Thickness: 1.50 m | | |



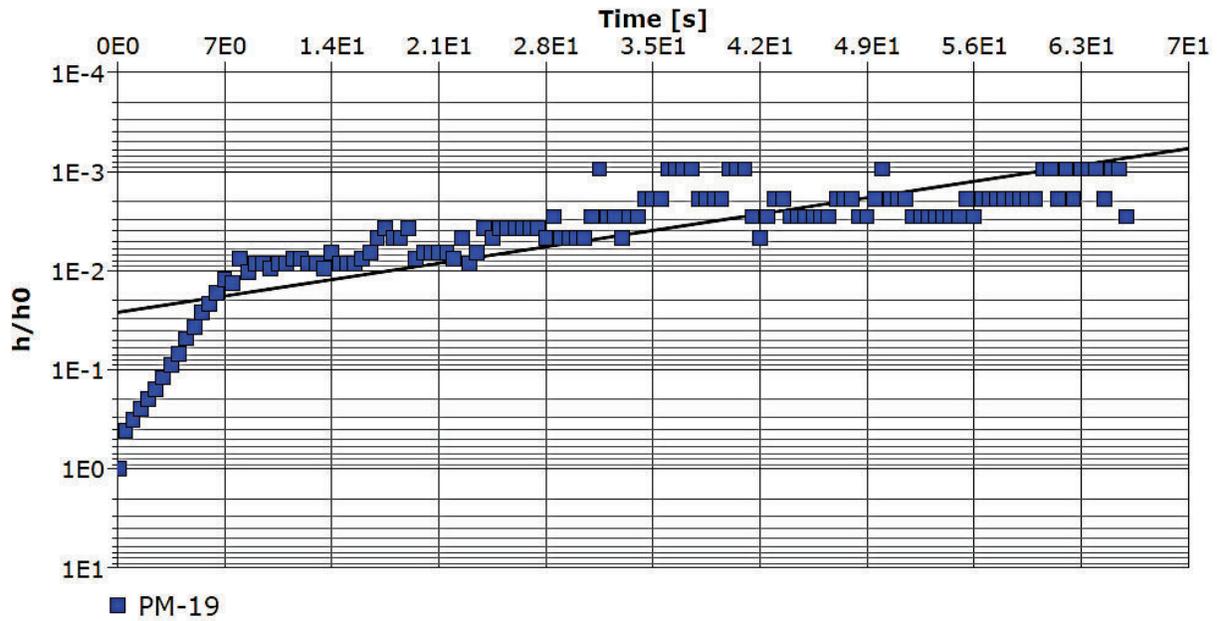
| | |
|------------------|------------------------------|
| Observation Well | Hydraulic Conductivity (m/d) |
| PM-16 | $4.06 \cdot 10^{-2}$ |

| | | |
|---------------------------|------------------|--------------------------|
| Location: LA CONCORDIA | Slug Test: PM-17 | Test Well: PM-17 |
| Test Conducted by: GY | | Test Date: 8/28/2014 |
| Analysis Performed by: GY | Slug PM-17 | Analysis Date: 9/13/2014 |
| Aquifer Thickness: 9.50 m | | |



| | |
|------------------|------------------------------|
| Observation Well | Hydraulic Conductivity (m/d) |
| PM-17 | 4.17×10^{-3} |

| | | |
|---------------------------|------------------|--------------------------|
| Location: LA CONCORDIA | Slug Test: PM-19 | Test Well: PM-19 |
| Test Conducted by: GY | | Test Date: 8/28/2014 |
| Analysis Performed by: GY | Slug PM-19 | Analysis Date: 9/13/2014 |
| Aquifer Thickness: 3.50 m | | |



| | |
|------------------|------------------------------|
| Observation Well | Hydraulic Conductivity (m/d) |
| PM-19 | $1.9 \cdot 10^{-1}$ |

Anexo 8. Resultados de análisis de los parámetros físico-químicos.

| Nombre del Pozo | Fecha | RESULTADOS DE LABORATORIO | | | | | | | | | |
|-----------------|------------|---------------------------|---------------------------|-----------------------------|---------|---------|---------|--------|----------|------------------------|-------|
| | | Físicos (uS/cm) | | Aniones y No metales (mg/L) | | | | | | Metales Totales (mg/L) | |
| | | Conductividad* (us/cm) | Alcalinidad total (CaCO3) | Bicarbonato | Cloruro | Nitrato | Sulfato | Calcio | Magnesio | Potasio | Sodio |
| PM-16 | 02/12/2015 | 112.00 | 55.00 | 67.00 | 0.43 | 2.20 | 0.81 | 20.00 | 1.80 | 0.75 | 3.40 |
| PM-3 | 02/12/2015 | 67.00 | 44.00 | 26.90 | 0.83 | 0.89 | 0.93 | 6.40 | 0.92 | 0.66 | 4.16 |
| PM-17 | 02/12/2015 | 66.00 | 36.70 | 54.00 | 2.96 | 1.16 | 0.89 | 17.30 | 1.30 | 0.71 | 5.23 |
| PM-02 | 02/12/2015 | 34.00 | 17.00 | 28.90 | 0.16 | 0.72 | 0.89 | 7.20 | 0.98 | 0.62 | 3.00 |

Tabla 1. Parámetros químicos de la campaña realizada el 2015.

| Nombre del Pozo | Fecha | RESULTADOS DE CAMPO | | | | | | | Color |
|-----------------|------------|---------------------|------------------|-----------------|-----------------------|----------|-----------------|-------------|-------|
| | | Ph | Temperatura (°C) | Salinidad (ppt) | Oxígeno Disuelto mg/l | ORP (mV) | Turbiedad (NTU) | | |
| PM-16 | 02/12/2015 | 6.760 | 25.900 | 0.070 | 1.660 | 25.000 | 28.230 | Incoloro | |
| PM-3 | 02/12/2015 | 6.500 | 25.000 | 0.710 | 1.380 | 22.300 | 21.367 | Incoloro | |
| PM-17 | 02/12/2015 | 6.540 | 24.600 | 0.044 | 1.640 | 43.370 | 27.921 | Incoloro | |
| PM-02 | 02/12/2015 | 6.140 | 25.300 | 0.030 | 1.500 | 51.200 | 42.320 | Café oscuro | |

Tabla 2. Parámetros físicos de la campaña realizada el 2015.

| Estación | Fecha | Volumen extraído (l) | PH | Conductividad (mS/cm) | Temperatura (°C) | Salinidad (%) | Oxígeno Disuelto (mg/l) | Turbiedad (NTU) |
|----------|------------|----------------------|-------|-----------------------|------------------|---------------|-------------------------|-----------------|
| PM-14 | 29/08/2014 | 2,000 | 6,530 | 0,660 | 25,000 | 0,230 | 0,320 | 22,300 |
| PM-5 | 30/08/2014 | 20,500 | 6,000 | 0,077 | 24,500 | 0,040 | 1,300 | 8,200 |
| PM-18 | 30/08/2014 | 26,500 | 6,230 | 0,142 | 24,000 | 0,070 | 1,220 | 4,300 |
| PM-19 | 30/08/2014 | 26,5 | 6,700 | 0,053 | 25,000 | 0,030 | 1,780 | 2,400 |
| PM-3 | 30/08/2014 | 16,500 | 6,500 | 0,423 | 25,000 | 0,150 | 1,190 | 7,900 |
| PM-4 | 30/08/2014 | 17,300 | 6,130 | 0,216 | 25,000 | 0,120 | 1,470 | 5,300 |
| PM-2 | 30/08/2014 | 14,500 | 6,620 | 0,650 | 25,000 | 0,030 | 1,760 | 13,600 |
| PM-1 | 30/08/2014 | 10,500 | 7,115 | 0,220 | 25,600 | 0,100 | 1,470 | 8,800 |
| PM-13 | 30/08/2014 | 12,5 | 6,150 | 0,239 | 24,000 | 0,110 | 0,200 | 5,000 |
| PM-7 | 30/08/2014 | 22,500 | 6,380 | 0,372 | 25,000 | 0,170 | 0,990 | 7,000 |
| PM-6 | 31/08/2014 | 16,500 | 6,189 | 0,069 | 25,000 | 0,030 | 1,450 | 2,300 |
| PM-15 | 31/08/2014 | 10,500 | 6,520 | 0,204 | 24,300 | 0,040 | 1,500 | 22,100 |
| PM-11 | 31/08/2014 | 26,500 | 6,000 | 0,050 | 25,000 | 0,020 | 1,700 | 9,800 |
| PM-10 | 31/08/2014 | 18,500 | 6,070 | 0,092 | 25,000 | 0,040 | 1,100 | 5,500 |
| PM-9 | 31/08/2014 | 22,500 | 6,050 | 0,070 | 25,000 | 0,030 | 0,710 | 2,600 |
| PM-8 | 31/08/2014 | 17,000 | 6,770 | 0,840 | 25,600 | 0,390 | 1,090 | 8,800 |
| PM-16 | 31/08/2014 | 12,000 | 6,800 | 0,165 | 25,300 | 0,100 | 1,270 | 9,800 |
| PM-17 | 31/08/2014 | 3,000 | 6,560 | 0,203 | 24,000 | 0,120 | 1,080 | 15,600 |

Tabla 3. Parámetros físicos de la campaña realizada el 2014.

Anexo 9. Criterios de Factibilidad técnica, socio - ambientales, económicas y la matriz de alternativas de selección.

| Parámetros | Criterio de evaluación | Justificación |
|-----------------------------------|---|---|
| Heterogeneidad | 1 = La técnica es poco viable para ser implementada en base a la heterogeneidad del sitio 5= La técnica es ideal para ser implementada en base a la heterogeneidad del sitio | Si el sitio de estudio tiene características heterogéneas es posible discriminar alternativas que puedan ser aplicadas de manera puntual y no dependa de una malla de ensayos para que esta sea efectiva. |
| Tipo de acuífero | 1 = La técnica es poco viable para ser implementada según el tipo de acuífero 5= La técnica es ideal para ser implementada según el tipo de acuífero | Las condiciones y características del acuífero de estudio (acuífero libre), hacen necesario la selección de la alternativa más adecuada para este tipo de acuíferos. |
| Carga contaminante | 1 = La técnica es poco viable para ser implementada en base a la carga contaminante derramada en el sitio 5= La técnica es ideal para ser implementada en base a la carga contaminante derramada en el sitio | La selección de alternativas de remediación depende de la carga contaminante a tratar, que en este caso es LLFNA y se caracteriza principalmente por "flotar" sobre el nivel freático. |
| Radio de influencia | 1 = La técnica es poco viable para ser implementada en base al radio de influencia del tratamiento en el sitio 5= La técnica es ideal para ser implementada en base al radio de influencia del tratamiento en el sitio | La alternativa seleccionada debe proporcionar un radio de influencia suficiente para tratar el sitio seleccionado para aplicar en el sistema remedial. |
| Profundidad de tratamiento | 1 = La técnica es poco viable para ser implementada en base a la dificultad de su implementación en el sitio 5= La técnica es ideal para ser implementada en base a la dificultad de su implementación en el sitio | La alternativa seleccionada debe ser de fácil implementación, control, operación, mantenimiento y monitoreo. |

Tabla 1. Criterios de Factibilidad Técnica.

| Parámetros | Criterio de evaluación | Justificación |
|--|--|---|
| Desbroce y excavación | <p>1 = significa que la técnica necesita de desbroce mayor y excavación profunda</p> <p>5= significa que la técnica es ideal y necesita de desbroce menor y excavación poco profunda (<1 m)</p> | Las alternativas consideran en mayor o menor escala la necesidad del desbroce y excavación para la implementación del proyecto remedial |
| Emisiones a la atmosfera | <p>1 = significa que la técnica emite una gran cantidad de vapores nocivos a la atmosfera</p> <p>5= significa que la técnica no emite una gran cantidad de vapores nocivos a la atmosfera</p> | Dependiendo de la alternativa de remediación, es necesario evaluar la cantidad de vapores nocivos que se emiten a la atmósfera y partir de este parámetro seleccionar la alternativa menos dañina |
| Descarga de efluentes | <p>1 = significa que la técnica requiere de la descarga de efluentes líquidos</p> <p>5= significa que la técnica no requiere de la descarga de efluentes líquidos</p> | Varias técnicas de remediación implicarían la necesidad de descarga de efluentes. |
| Producción de residuos solidos | <p>1 = significa que la técnica produce una gran cantidad de residuos sólidos</p> <p>5= significa que la técnica no produce una gran cantidad de residuos sólidos</p> | La selección de alternativas de remediación depende de la carga contaminante a tratar, que en este caso es LLFNA y se caracteriza principalmente por "flotar" sobre el nivel freático. |
| Afectación al sistema ecológico | <p>1 = significa que la técnica afecta mayormente al sistema ecológico presente (plantas, animales, microorganismos, etc.)</p> <p>5= significa que la técnica afecta mayormente al sistema ecológico presente (plantas, animales, microorganismos, etc.)</p> | La alternativa seleccionada debe proporcionar un radio de influencia suficiente para tratar el sitio seleccionado para aplicar el sistema remedial. |
| Uso de químicos no biodegradables | <p>1 = significa que la técnica requiere del uso extenso de compuestos químicos no biodegradables</p> <p>5= significa que la técnica no requiere del uso extenso de compuestos químicos no biodegradables</p> | Algunas metodologías requieren el uso de químicos no biodegradables |

Tabla 2. Criterios de Factibilidad Socio-ambiental.

| Parámetros | Criterio de evaluación | Justificación |
|----------------------------------|---|---|
| Área de implementación | 1 = significa que la técnica ocupara en superficie un área extensa para su implementación 5= significa que la técnica ocupara en superficie un área mínima para su implementación | Dependiendo de la tecnología a aplicarse será necesario adecuar ciertos sitios para la implementación de equipos y materiales en áreas generalmente reducidas |
| Consumo energético | 1 = significa que la técnica requiere un consumo energético elevado para su operación 5= significa que la técnica requiere un consumo energético mínimo para su operación | Cada tecnología remedial requiere de consumo energético en mayor o menor grado dependiendo de la disponibilidad de esta en el sitio. |
| Afectación por ruido | 1 = significa que la técnica generara ruido que sobrepase los niveles máximos permisibles 5= significa que la técnica es ideal y no generara ruido | Varias alternativas de remediación podrían generar ruido que cause afectación a las comunidades cercanas y a la fauna del sitio. |
| Explosión a contaminantes | 1 = significa que la técnica provocara una exposición prolongada de contaminantes tanto a trabajadores como a vecinos 5= significa que la técnica es ideal y no provocara exposición de contaminantes ni a trabajadores ni a vecinos | Varias alternativas de remediación implican la exposición en mayor o menor grado a la contaminación de los trabajadores o comunidades cercanas |

Tabla 2. Criterios de Factibilidad Socio-ambientales (continuación).

| Parámetros | Criterio de evaluación | Justificación |
|--|---|---|
| Recurso humano calificado y no calificado | 1 = significa que la técnica necesita de capital para cubrir el trabajo de personal especializado y no especializado 5= significa que la técnica es ideal y necesita de bajo capital para cubrir el trabajo de personal especializado y no especializado | A mayor complejidad de la tecnología de remediación, es necesario contar con mayor capacidad de personal calificado y no calificado |
| Implementación | 1 = significa que la técnica requiere de costos muy elevados de implementación 5= significa que la técnica requiere de costos relativamente bajos de implementación | A mayor complejidad de la tecnología de remediación será necesario mayor capital para su implementación |
| Operación | 1 = significa que la técnica requiere de costos muy elevados de operación 5= significa que la técnica requiere de costos relativamente bajos de operación | La operación de las alternativas de remediación implica costos relacionados con traslados, logística, horas hombre, etc. |
| Mantenimiento | 1 = significa que la técnica requiere de costos muy elevados de mantenimiento 5= significa que la técnica requiere de costos relativamente bajos de mantenimiento | El mantenimiento de los sistemas remediales implican costos relacionados con traslados, logística, horas hombre, etc. |

Tabla3. Criterios de Factibilidad Económica.

Anexo 10. Matriz de alternativas de remediación
(En azul las alternativas que tienen los promedios ponderados más altos, en amarillo los promedios ponderados más bajos).

| Alternativas de remediación | Factibilidad Técnica | | | | | Factibilidad Socio-ambiental | | | | | | | | | | Factibilidad Económica | | | | | SUMA | |
|--|----------------------|------------------|--------------------|---------------------|----------------------------|------------------------------|--------------------------|-----------------------|--------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|------------------------|--------------------|----------------------|----------------------------|------------------------|---|----------------|-----------|---------------|------|----------|
| | Heterogeneidad | Tipo de acuífero | Carga contaminante | Radio de influencia | Profundidad de tratamiento | Desbroce y excavación | Emisiones a la atmósfera | Descarga de efluentes | Producción de residuos sólidos | Afectación al sistema ecológico | Uso de químicos no biodegradables | Área de implementación | Consumo energético | Afectación por ruido | Exposición a contaminantes | Promedio | Recurso humano calificado y no calificado | Implementación | Operación | Mantenimiento | | Promedio |
| Bombeo y tratamiento de agua subterránea (P&T) | 4 | 5 | 4 | 4 | 5 | 3 | 4 | 4 | 5 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4.1 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 12.7 |
| Aireación (IAS) | 3 | 4 | 4 | 4 | 4 | 3 | 3 | 5 | 5 | 3 | 5 | 4 | 3 | 2 | 5 | 3.8 | 4 | 3 | 4 | 3 | 3.5 | 11.1 |
| Extracción de vapores del suelo (SVE) | 3 | 4 | 4 | 4 | 4 | 3 | 3 | 5 | 5 | 3 | 4 | 3 | 2 | 3 | 3 | 3.6 | 4 | 3 | 4 | 3 | 3.5 | 10.9 |
| Extracción múltiple de fases (MPE) | 4 | 4 | 4 | 4 | 5 | 3 | 3 | 3 | 5 | 3 | 3 | 3 | 2 | 2 | 2 | 2.9 | 4 | 4 | 3 | 3 | 3.5 | 10.6 |
| Enjuague del suelo (ISF) | 4 | 4 | 3 | 4 | 4 | 3 | 5 | 4 | 5 | 3 | 5 | 3 | 4 | 4 | 4 | 3.8 | 3 | 4 | 3 | 4 | 3.5 | 11.1 |
| Oxidación química in-situ (ISCO) | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 3 | 4 | 3 | 5 | 3 | 5 | 4 | 4 | 3 | 3 | 3.7 | 2 | 4 | 3 | 5 | 3.5 | 11.2 |
| Biorremediación | 3 | 3 | 2 | 3 | 4 | 3 | 4 | 5 | 5 | 4 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 4.8 | 2 | 4 | 4 | 4 | 3.5 | 11.3 |
| Fitorremediación | 3 | 2 | 2 | 3 | 2 | 4 | 4 | 5 | 5 | 4 | 5 | 4 | 5 | 5 | 5 | 4.7 | 1 | 3 | 3 | 3 | 2.5 | 9.6 |
| Atenuación natural | 2 | 3 | 2 | 2 | 4 | 4 | 5 | 5 | 5 | 4 | 5 | 4 | 5 | 5 | 5 | 4.7 | 2 | 3 | 1 | 4 | 2.5 | 9.8 |
| Barreras pasivas y reactivas | 4 | 4 | 3 | 1 | 3 | 1 | 5 | 3 | 1 | 3 | 4 | 3 | 4 | 4 | 4 | 3.2 | 2 | 1 | 3 | 3 | 2.25 | 8.45 |