

Universidad de El Salvador.
Facultad de Ciencias Naturales y Matemática.
Escuela de Física.



Departamento de Geofísica.

Proyecto Final de Graduación:

Modelo Hidrogeológico Conceptual (MHC) del acuífero transfronterizo
Citalá – Ocotepeque, Región Trifinio El Salvador – Honduras.

Para optar al grado de:
Licenciado en Geofísica

Presentado por:
Luis Adrián Mayén Flamenco.

Docente Director:
M.Sc. César Armando Alvarado Batres.

Ciudad Universitaria, octubre de 2019.

AUTORIDADES UNIVERSITARIAS

RECTOR:

MAESTRO ROGER ARMANDO ARIAS ALVARADO

SECRETARIO GENERAL:

LIC. CRISTOBAL HERNÁN RÍOS BENÍTEZ

FISCAL GENERAL:

LIC. RAFAEL HUMBERTO PEÑA MARTÍN

FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MATEMÁTICA

DECANO:

LIC. MAURICIO HERNÁN LOVO

DIRECTOR DE ESCUELA

M.SC. CÉSAR ARMANDO ALVARADO BÁTRES

CIUDAD UNIVERSITARIA, OCTUBRE DE 2019

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado principalmente a mi familia, fuente de inspiración para salir adelante en cada reto que se ha presentado en la vida. Todo el esfuerzo es para y por ustedes.

A todos aquellos que desean hacer crecer al país a través de la ciencia, este trabajo busca ser fuente de inspiración para seguir adelante.

A los que venimos de abajo y queremos llegar hasta el cielo, este trabajo también es para ustedes.

Adrián Mayén

AGRADECIMIENTOS

A las instituciones que fueron parte de este trabajo de investigación:

UNESCO/PHI, CTPT, MARN, UICN, UES y Municipalidades de Citalá, San Ignacio, Concepción, Santa Fe, Nueva Ocotepeque y Sinuapa.

Al Grupo de Investigación en Hidrogeología de la UES:

En especial a Kevyn Pineda, Aarón Estevez, Osmín Barrera, Leonel Méndez.

Profesores de la Universidad de El Salvador:

M.Sc. Luis Castillo, M.Sc. César Alvarado y demás profesores que fueron parte de mi formación como Geofísico.

Amigos de la Escuela de Física:

Adriel Renderos, Josué Quintanilla, Kevin Vega, Ángel Zaldaña, Amanda Nerio, Alex Merlos, Sandra Alvarenga, Valerie Domínguez y Christian Palacios

Mi familia:

Especialmente a mi madre, Sandra Flamenco, que sin su apoyo no hubiera sido posible llegar tan lejos.

¡¡GRACIAS TOTALES!!

ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE TABLAS	V
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VII
RESUMEN	XIV
1. INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVOS	3
Objetivo General.....	3
Objetivos Específicos.....	3
2. MARCO TEÓRICO.....	4
2.1. Estado del Arte	4
2.1.1. Estudio del OIEA (OIEA & Plan Trifinio, 2009).....	4
2.1.2. Estudio información Hidrogeológica, (Samayoa, 2014).....	6
2.1.3. Estudio Geofísico de Geociencias Aplicada (Geociencia Aplicada, 2015).....	7
2.1.4. Estudio Integrado del ATOC, (UICN, 2015).....	8
2.2. Acuíferos Transfronterizos.....	9
2.3. Ubicación de la Zona de Estudio.....	12
2.4. Clima de la región	14
2.4.1. Precipitación	15
2.4.2. Temperatura	18
2.4.3. Clasificación climática.....	20
2.5. Uso del suelo	21
2.6. Geología y Geomorfología.....	23
2.6.1. Geología de la región ATOC	24
2.6.1.1. Formación Atima (Ky)	25

2.6.1.2.	Formación Subinal (Kva)	26
2.6.1.3.	Rocas Plutónicas (I)	27
2.6.1.4.	Formación Padre Miguel (PM)	28
2.6.1.5.	Rocas Volcánicas Recientes (Qv1 o Tr1)	29
2.6.1.6.	Depósitos Aluviales (Qal)	30
2.6.2.	Geomorfología de la zona ATOC	31
	Proceso de levantamiento en la región del Trifinio: Montecristo – Las Pilas - Gracias.....	32
2.7.	Hidrogeología.....	34
2.7.1.	Unidad Hidrogeológica “Acuíferos Porosos”:.....	34
2.7.2.	Unidad Hidrogeológica “Acuíferos Fracturados”:.....	35
2.7.3.	Unidad Hidrogeológica “Rocas Fracturadas de Baja Porosidad”:.....	35
2.7.4.	El acuífero del valle de Ocoatepeque - Citalá	36
2.8.	Balance Hídrico.....	36
2.8.1.	Balance Hídrico de Suelos (Método de Schosinsky).....	37
2.8.1.1.	Coeficiente de Retención del follaje (Cfo).....	38
2.8.1.2.	Infiltración.....	39
	Permeámetro de Guelph.....	41
	Método del doble Anillo	43
2.8.1.3.	Capacidad de Campo y Punto de Marchitez	44
	Capacidad de Campo	44
	Punto de Marchitez	45
	Profundidad de Raíces	46
2.8.1.4.	Evapotranspiración Potencial.....	46
2.8.1.5.	Cálculos del Balance Hídrico	47
2.8.1.6.	Recarga Potencial.....	49

2.9.	Sistemas de Información Geográficos.....	49
2.10.	Métodos Geofísicos	51
2.10.1.	Resistividad Eléctrica y Tomografía Eléctrica 2D.....	51
2.10.2.	Propiedades Eléctricas de las rocas.....	51
2.10.3.	Resistividad de las rocas y los minerales.	52
2.10.4.	Clasificación de los materiales.....	53
2.10.5.	Isotropía y Anisotropía.....	54
2.10.6.	Métodos de resistividad eléctrica.	54
2.10.7.	Arreglos electródicos para el cálculo de la resistividad.	57
2.10.7.1.	Arreglo Wenner.	58
2.10.7.2.	Arreglo Schlumberger.	58
2.10.7.3.	Arreglo Dipolo-Dipolo.	59
2.10.8.	Sondeos Eléctricos Verticales (SEV).....	60
2.10.9.	Tomografía Eléctrica 2D (TE2D).	62
2.10.10.	Inversión de datos de resistividad eléctrica.....	65
2.10.10.1.	Programa DCINV	65
2.10.10.2.	Programa Res2DInv.	66
2.11.	Modelo Hidrogeológico.....	68
3.	METODOLOGÍA.....	70
3.1.	Fase de Gabinete	71
3.2.	Fase de Campo	73
3.2.1.	Toma de datos TE2D	73
3.2.2.	Pruebas de Infiltración por permeámetro de Guelph	78
3.3.	Procesamiento de datos	82
3.3.1.	Actualización del mapa de Uso de Suelo.....	82

3.3.2.	Creación de polígonos de Thiessen.....	84
3.3.3.	Cálculo del coeficiente de infiltración por Permeámetro de Guelph.....	86
3.3.4.	Balance Hídrico por metodología de Schosinsky.....	90
3.3.5.	Inversión de los datos de resistividad eléctrica (SEV y TE2D).....	94
3.3.6.	Líneas equipotenciales de flujo.....	97
3.3.7.	Creación de columnas litológicas con información de pozos.....	98
4.	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	100
4.1.	Interpretación de datos geofísicos.....	100
4.1.1.	Sondeos Eléctricos Verticales.....	100
4.1.2.	Tomografías Eléctricas 2D.....	111
4.1.3.	Correlación geológica de los puntos de muestreo.....	124
4.2.	Balance Hídrico de Suelos.....	126
4.3.	Modelo Hidrogeológico Conceptual.....	134
4.3.1.	Unidad Geológica <i>Q'al</i>	134
4.3.1.1.	Subunidad de materiales superficiales permeables/semipermeables.....	134
4.3.1.2.	Subunidad acuífera superficial.....	137
4.3.1.3.	Subunidad de materiales arcillosos o consolidados.....	138
4.3.2.	Unidad Geológica <i>Pm</i>	138
4.3.2.1.	Basamento del acuífero superficial ATOC.....	138
4.3.3.	Esquema Modelo Hidrogeológico Conceptual (MHC) ATOC.....	139
5.	CONCLUSIONES.....	143
6.	RECOMENDACIONES.....	145
7.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	147
	ANEXOS.....	150

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Resumen de fuentes de información sobre investigaciones realizadas en acuíferos transfronterizos contemplados en el mapa mundial (Fuente: Modificado de (IGRAC & UNESCO - IHP, 2015)).....	10
Tabla 2. Precipitación promedio Anual (mm) calculada para las estaciones representativas de la región próxima al ATOC. Periodo 1950 – 2006 (Fuente: Estaciones meteorológicas de la región, modificado de (OIEA & Plan Trifinio, 2009)).	16
Tabla 3. Valores de precipitación promedio mensual (mm) de las estaciones cercanas a la región ATOC. Periodo 1975 – 2006 (fuente: Estaciones meteorológicas de la región, modificado de (OIEA & Plan Trifinio, 2009)).	17
Tabla 4. Valores promedio anuales de temperatura registrados en las estaciones cercanas al ATOC. Periodo de análisis 1975 - 2006 (Fuente: información meteorológica de estaciones de la región, modificado de (OIEA & Plan Trifinio, 2009)).	18
Tabla 5. Valores de temperatura (°C) promedio mensual de las estaciones cercanas a la región ATOC (Fuente: Estaciones meteorológicas de la región, modificado de (GIZ & CTPT, 2011)).	19
Tabla 6. Distribución de los usos de suelo de la región ATOC. (Fuente: Procesamiento de capas de uso de suelo).....	23
Tabla 7. Estratigrafía de la región Trifinio (Modificado de Taracena 2015 en (UNESCO-PHI/UICN, 2016)).....	25
Tabla 8. Componentes del Coeficiente de Infiltración (Ci) (Fuente: (Schosinsky & Losilla, 2000))	40
Tabla 9. Categorías de medios porosos usados para la estimación de $\alpha *$ (Fuente: Elrick et al, 1989 en (Gabriels, Lobo, & Pulido, 2011))	43
Tabla 10. Capacidad de campo en porcentaje por peso de suelo seco de diferentes texturas de suelos (Fuente: Modificado de (Grassi, 1976) en (Schosinsky, 2006)).....	45
Tabla 11. Profundidad de raíces de diferentes cultivos (Fuente: (Grassi, 1976) en (Schosinsky, 2006)).....	46
Tabla 12. Resumen de Parámetros calculados para el balance hídrico de suelos por la metodología de Schosinsky (Fuente: Elaboración propia con base a la información de (Schosinsky, 2006))..	48
Tabla 13. Resumen de los distintos métodos geoelectrónicos utilizados en Hidrogeología (Fuente: (Astier, 1975)).....	51

Tabla 14. Resistividades promedio de las rocas (Fuente: Modificado de (Telford, Geldart, & Sheriff, 1990)).....	53
Tabla 15. Resumen de las características principales de las Tomografías Eléctricas 2D realizadas en la campaña de campo (Fuente: Elaboración Propia).....	75
Tabla 16. Tabla de puntos de toma de datos de las pruebas de infiltración por medio del método de Permeámetro de Guelph (Fuente: Elaboración Propia).	80
Tabla 17. Categorías de los materiales a ingresar en la hoja de cálculo de Soil Mosture (Fuente: Soil Mosture)	87
Tabla 18. Valores de entrada para el cálculo de f_c a partir de la hoja de cálculo Soil Mosture ...	88
Tabla 19. Clasificación de suelos basados en la capacidad de infiltración (Fuente: (Deras Cortéz, 2003))......	89
Tabla 20. Tipo de suelo basado en la infiltración básica según la clasificación de (Deras Cortéz, 2003) (Fuente: Elaboración Propia).....	89
Tabla 21. Parámetros de entrada utilizados en el cálculo del balance hídrico del ATOC por método de Schosinsky (Fuente: Elaboración propia con datos de (Schosinsky, 2006)).	92
Tabla 22. Distribución de balances hídricos por polígono y uso de suelos en el ATOC. (Fuente: Elaboración Propia)	94
Tabla 23. Pozos perforados con información litológica disponible dentro de la región ATOC (Fuente: (UICN, 2015))	98
Tabla 24. Parámetros principales de los SEV reprocesados para la identificación de nivel freático del acuífero superficial del ATOC (Fuente: Modificado de (Geociencia Aplicada, 2015)).....	100
Tabla 25. Cálculos de la RP para el ATOC con sus respectivos parámetros (Fuente: Elaboración Propia).....	129
Tabla 26. Parámetros de entrada para el balance hídrico de los polígonos de la región ATOC a detalle (Fuente: Elaboración propia).....	131

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Acuíferos Transfronterizos del mundo. Recopilados a partir de la información de diferentes estudios científicos y gubernamentales, edición 2015 (Fuente: IGRAC, modificado de (IGRAC & UNESCO - IHP, 2015))).	11
Figura 2. Acuíferos transfronterizos de la región centroamericana. (Fuente: (IGRAC & UNESCO - IHP, 2015)).	12
Figura 3. Mapa de Ubicación de la Región Trifinio (Fuente: Elaboración Propia).	13
Figura 4. Ubicación del Acuífero Transfronterizo Ocoatepeque-Citalá y los municipios que se ven incluidos dentro de él (Fuente: Elaboración Propia).	15
Figura 5. Mapa de distribución espacial de precipitación promedio anual del ATOC y sus alrededores (Fuente: Información Meteorológica de las estaciones de la zona (OIEA & Plan Trifinio, 2009), elaboración propia).	16
Figura 6. Comportamiento de las precipitaciones promedio en las estaciones cercanas a la región ATOC (Fuente: Información meteorológica de las estaciones incluidas en (OIEA & Plan Trifinio, 2009)).	17
Figura 7. Mapa de temperatura promedio anual para la región del ATOC y sus alrededores (Fuente: información meteorológica de las estaciones de la zona (OIEA & Plan Trifinio, 2009), Elaboración del mapa propia).	19
Figura 8. Gráfica de las temperaturas promedio mensuales registradas en las estaciones cercanas al ATOC (Fuente: (GIZ & CTPT, 2011), elaboración propia).	20
Figura 9. Mapa de Clasificación climática según el método de Thornwaite. (Fuente: (GIZ & CTPT, 2011)).	21
Figura 10. Distribución del uso del suelo en la región del ATOC. (Fuente: Base de datos Plan Trifinio. Elaboración propia)	22
Figura 11. Mapa geológico de la región relacionada al ATOC. (Elaboración propia)	24
Figura 12. Afloramiento de la capa Subinal, carretera a Esquipulas (Fuente: (UNESCO-PHI/UICN, 2016)).	27
Figura 13. Diorita cerca de Citalá, ubicada en corte de Carretera entre Citalá - Metapán (Fuente: (OIEA & Plan Trifinio, 2009))	28
Figura 14. Afloramiento de rocas correspondientes al Grupo Padre Miguel (Fuente: (UNESCO-PHI/UICN, 2016)).	29

Figura 15. Afloramiento de tobas masivas correspondientes a la unidad de vulcanismo reciente. (Fuente: (UNESCO-PHI/UICN, 2016)).....	30
Figura 16. Depósitos aluviales correspondientes a la unidad Qal de la región trifinio (Fuente: Fotografía propia).	31
Figura 17. Elementos geomorfológicos de importancia en la región del ATOC. Basado en la descripción de (Manton, 1987). En rojo se detalla el límite del ATOC, la línea punteada blanca muestra los segmentos de falla relacionados al levantamiento del terreno y la formación de grabenes con rumbo N – S (Elaboración Propia).....	33
Figura 18. Mapa hidrogeológico de la región Trifinio (Fuente: (OIEA & Plan Trifinio, 2009)).	35
Figura 19. Mapa hidrogeológico del ATOC. (Fuente: Elaboración propia).....	36
Figura 20. Parámetros de entrada, calculados y resultantes de la metodología de Schosinsky para el Balance Hídrico de Suelos (Fuente: Elaboración propia).	38
Figura 21. Esquema del Permeámetro de Guelph (Fuente: (Elrick & Reynolds, 1992) en (Gabriels, Lobo, & Pulido, 2011)).....	41
Figura 22. Escala del factor C en función de h/a (Fuente: Reynolds & Elrick, 1987 en (Gabriels, Lobo, & Pulido, 2011)).....	42
Figura 23. Esquema del infiltrómetro de doble anillo (Fuente: (Hartmann, 2000) en (Gabriels, Lobo, & Pulido, 2011)).....	43
Figura 24. Diagrama de evapotranspiración potencial y real en un área con suelo grueso con almacenamiento limitado (Fuente: Modificado de (Fetter, 2000)).....	47
Figura 25. Representación básica de la información en SIG (Fuente: (de By, y otros, 2004))	50
Figura 26. Modelo de Elevación Digital. Se muestra que la imagen está compuesta de celdas que contienen la información de altura generalizada por celda (Fuente: (de By, y otros, 2004)).....	50
Figura 27. Arreglo de una toma de datos de resistividad eléctrica (Fuente: (Estrada, 2012)).....	54
Figura 28. Inyección de corriente por medio de un electrodo puntual y su distribución en un medio homogéneo (Fuente: (Telford, Geldart, & Sheriff, 1990))	55
Figura 29. Circuito final indicando los electrodos de inyección de corriente (A y B) y los electrodos de medición de potencial (M y N) (Fuente: (Estrada, 2012)).....	56
Figura 30. (a) Vista en planta del desplazamiento de las isolíneas de corriente. (b) Vista vertical del movimiento de las isolíneas. (c) Variación del potencial en la superficie a lo largo de una línea recta a través de los puntos fuente de corriente (Fuente: (Telford, 1990))	57

Figura 31. Esquema básico del arreglo electródico Wenner (Fuente: Figura 31)	58
Figura 32. Esquema básico de un arreglo electródico Schlumberger (Fuente: (Estrada, 2012)).	59
Figura 33. Esquema básico del arreglo electródico Dipolo - Dipolo (Fuente: (Estrada, 2012)).	60
Figura 34. Ejemplo de la ubicación de los puntos medidos mediante un SEV. (Fuente: (Reynolds, 2011)).....	61
Figura 35. Resultado del procesamiento, modelación e interpretación de un SEV. La información litológica de pozos ayuda a signar el tipo de roca que subyace en el punto de realización del estudio (Fuente: (Sundararajan, Sankaran, & Al-Hosni, 2012))	62
Figura 36. Arreglo de electrodos para un estudio de TE2D y la secuencia de medición que utiliza para crear la pseudosección. (Fuente: (Loke, 1999)).....	63
Figura 37. Pseudosecciones de resistividad aparente de un mapeo 2D utilizando TE2D con sus diferentes arreglos para un bloque rectangular enterrado. (a) Arreglo Wenner. (b) Arreglo Polo-Polo. (c) Arreglo Dipolo-Dipolo. (d) Modelaje del cuerpo que genera la anomalía eléctrica (Fuente: (Loke, 1999))	64
Figura 38. Ejemplo del formato que debe de poseer el archivo con los valores resultantes del SEV. (Fuente: (Pirttijärvi, 2007)).....	66
Figura 39. Modelo de bloques y datos de resistividad aparente (Fuente: (Carrasco García, 2011))	67
Figura 40. Esquema de los parámetros y procesos para crear un Modelo Hidrogeológico Conceptual (Fuente: modificado de (Anderson, Woessner, & Hunt, 2015)).....	69
Figura 41. Fases metodológicas de la investigación (Fuente: Elaboración Propia).	70
Figura 42. Resistivímetro ABEM-TERRAMETER SAS-1000. Equipo utilizado para la adquisición de datos de la investigación (Fuente: Autoría Propia).....	72
Figura 43. Ubicación de Tomografías Eléctricas 2-D realizadas en el área de estudio (Fuente: Elaboración propia).....	74
Figura 44. Perfil correspondiente a Citalá Río (Línea Roja), extensión de 300 metros debido a la cercanía del río Lempa. (Fuente: Elaboración Propia).	74
Figura 45. Ubicación de los electrodos de inyección de corriente y medición de voltaje para los arreglos Wenner - L y 32SX (Fuente: Elaboración Propia).....	77
Figura 46. Proceso de hidratación de electrodos durante la toma de datos de resistividad eléctrica (Fuente: Elaboración propia).	78

Figura 47. Ubicación de las pruebas de infiltración por medio del Permeámetro de Guelph (Fuente: Elaboración Propia).	79
Figura 48. Proceso de a) Montaje, b) Preparación del agujero, c) Instalación y d) Toma de datos del permeámetro de Guelph (Fuente: Elaboración Propia).....	82
Figura 49. Secuencia de actualización del mapa de uso de suelo de la región ATOC. 1) Uso de suelo propuesto por la CTPT basado en clasificación por imagen satelital; 2) Imagen satelital de alta resolución para constatar y clasificar el uso de suelo; 3) Mapa de uso de suelo generalizado con los usos de suelo compatibles con la metodología de Schosinsky (Fuente: Elaboración Propia)	83
Figura 50. Polígonos de Thiessen correspondientes a las estaciones meteorológicas cercanas a la región del ATOC (Fuente: Elaboración Propia).	84
Figura 51. Polígonos de Thiessen generados a partir de las pruebas de infiltración realizadas en la región del ATOC (Fuente: Elaboración Propia).	85
Figura 52. Polígonos de Thiessen de las pruebas de infiltración recortados y ajustados a la región del ATOC (Fuente: Elaboración Propia).	86
Figura 53. Interfaz de usuario de la hoja de cálculo de Soil Moisture para obtener el coeficiente de infiltración de suelo a partir de Permeámetro de Guelph (Fuente: Elaboración Propia con información de Soil Moisture).	87
Figura 54. Polígonos de Thiessen de los tipos de suelo con base a la capacidad de infiltración del suelo (Fuente: Elaboración propia).	90
Figura 55. Trasposición de los mapas de información más importantes para la generación del balance hídrico de suelos del ATOC. Sup.Izq: Mapa uso de suelo; Sup. Cent.: Polígonos de Thiessen de Estaciones; Sup.Der.: Polígonos de Thiessen de tipo de suelo basado en infiltración (Fuente: Elaboración Propia).	91
Figura 56. Hoja de cálculo de Balance Hídrico de Suelos; en azul se presentan todos los parámetros de entrada con sus respectivas unidades (Fuente: Modificado de (Schosinsky, 2006)).	93
Figura 57. Procedimiento de selección, procesamiento de datos y generación del modelo de capas de resistividad a partir del software DCINV. 1)Formateo de datos de SEV; 2) y 3) carga de los datos con formato; 4) visualización de los datos SEV en la interfaz de usuario de DCINV; 5) panel de modificación de espesores y resistividades; 6) modelo de resistividades y espesores de capa en formato .jpg (Fuente: Elaboración propia).....	95

Figura 58. Procedimiento de inversión de datos de TE2D. a) Lectura de datos crudos en formato .DAT; b) proceso de inversión de datos crudos para apreciar errores; c) modelo de resistividad con datos crudos; d) Inspección de datos crudos para exterminio de datos y posterior modelación de datos corregidos; e) Modelo de resistividades con datos corregidos (Fuente: Elaboración propia).	96
Figura 59. Resultado de la inversión de datos de TE2D. Parte superior: interpolación de datos de campo; parte media: sección transversal de resistividad aparente; parte inferior: modelo de resistividad (Fuente: Elaboración propia).	96
Figura 60. Líneas equipotenciales y dirección de flujo del acuífero superficial ATOC (Fuente: Elaboración propia).	97
Figura 61. Columna estratigráfica del Pozo "El Poy 1", ejemplificación de la creación de las columnas estratigráficas de la región ATOC (Fuente: Elaboración Propia).	99
Figura 62. Inversión de datos y resultados del modelo de capas de resistividad del SEV-20HN (Fuente: Elaboración propia)	102
Figura 63. Inversión de datos y resultados del modelo de capas de resistividad del SEV-21HN (Fuente: Elaboración propia)	103
Figura 64. Inversión de datos y resultados del modelo de capas de resistividad del SEV-22SLV (Fuente: Elaboración propia)	104
Figura 65. Inversión de datos y resultados del modelo de capas de resistividad del SEV-23HN (Fuente: Elaboración propia)	105
Figura 66. Inversión de datos y resultados del modelo de capas de resistividad del SEV-24HN (Fuente: Elaboración propia)	106
Figura 67. Inversión de datos y resultados del modelo de capas de resistividad del SEV-26HN (Fuente: Elaboración propia)	107
Figura 68. Inversión de datos y resultados del modelo de capas de resistividad del SEV-27HN (Fuente: Elaboración propia)	108
Figura 69. Inversión de datos y resultados del modelo de capas de resistividad del SEV-28SLV (Fuente: Elaboración propia)	109
Figura 70. Inversión de datos y resultados del modelo de capas de resistividad del SEV-30HN (Fuente: Elaboración propia)	111

Figura 71. Resultado de inversión de datos de TE2D del sitio ATOC - 001 (Fuente: Elaboración Propia).....	112
Figura 72. Resultado de la inversión de datos de la TE2D del perfil ATOC-002 (Fuente: Elaboración Propia).	113
Figura 73. Resultados de la inversión de TE2D del perfil ATOC-003 (Fuente: Elaboración propia)	114
Figura 74. Resultados de la inversión de datos de TE2D del perfil ATOC-004 (Fuente: Elaboración Propia).....	115
Figura 75. Resultados de inversión de datos de TE2D del perfil ATOC - 005 (Fuente: Elaboración propia).....	116
Figura 76. Resultados de inversión de datos de TE2D del perfil ATOC - 006 (Fuente: Elaboración propia).....	117
Figura 77. Resultados de inversión de datos de TE2D del perfil ATOC - 007 (Fuente: Elaboración propia).....	118
Figura 78. Resultados de inversión de datos TE2D del perfil ATOC - 008 (Fuente: Elaboración propia).....	119
Figura 79. Resultados de la inversión de datos de TE2D para el perfil ATOC - 009 (Fuente: Elaboración propia).....	120
Figura 80. Resultados de la inversión de datos de TE2D para el perfil ATOC - 010 (Fuente: Elaboración propia).....	121
Figura 81. Resultados de la inversión de datos de TE2D del perfil ATOC - 011 (Fuente: Elaboración propia).....	122
Figura 82. Resultados de la inversión de datos de TE2D del perfil ATOC - 012 (Fuente: Elaboración Propia)	123
Figura 83. Resultados de la inversión de datos de TE2D del perfil ATOC-013 (Fuente: Elaboración propia).....	124
Figura 84. Ubicación de los perfiles de TE2D en el marco geológico del ATOC (Fuente: elaboración propia)	125
Figura 85. Estadísticas de la predominancia de usos de suelo para las pruebas de balance hídrico de Schosinsky (Fuente: Elaboración propia)	126

Figura 86. Análisis gráfico del estado de la recarga del ATOC basado en precipitación y ETP (Fuente: Elaboración propia).	130
Figura 87. Resultados de Balance Hídrico de Suelos por metodología de (Schosinsky, 2006) para cada tipo de textura de suelo del ATOC (Fuente: Elaboración propia).....	133
Figura 88. Sección geológica transversal del ATOC, basado en información de puntos de muestreo o información de pozos (Fuente: Elaboración propia).....	135
Figura 89. Sección transversal simplificada. Detalle de las 3 subunidades relacionadas con la unidad geológica Q'al; línea punteada negra: unidad superficial; línea punteada azul, límite unidad acuífera; línea marrón: límite unidad de consolidado poco permeable (Fuente: Elaboración propia)	136
Figura 90. Modelo Hidrogeológico Conceptual del Acuífero Transfronterizo Ocotepeque - Citalá, región Trifinio, El Salvador - Honduras (Fuente: Elaboración propia)	141
Figura 91. Vista en perfil de las unidades que conforman el ATOC y los parámetros más importantes del balance hídrico de suelos; los espesores no están a escala y sirven para tener una idea de la disposición de los diferentes materiales (Fuente: Elaboración Propia).....	142

RESUMEN

El Acuífero Transfronterizo Ocotepeque – Citalá (ATOC), es una unidad acuífera categorizada como acuífero poroso de extensión limitada (OIEA & Plan Trifinio, 2009) de 75.82 km^2 , ubicado en la región de la cuenca alta del Río Lempa, entre los países de Honduras y El Salvador. Su importancia radica en que este concentra poblaciones que producen y abastecen de productos agrícolas a diferentes regiones del El Salvador, Guatemala y Honduras; además de contar con núcleos poblacionales extensos y de importancia dada su cercanía a las fronteras entre los tres países antes mencionados.

La investigación realizada permitió la creación del modelo hidrogeológico conceptual del acuífero superficial de esta región, basándose en la recolección de datos de bibliográficos y de campo como pruebas de infiltración y prospección geofísica, que permitieron describir de manera detallada las características principales del acuífero. De la misma manera, se recopiló información hidrológica y meteorológica para la realización de un balance hídrico de suelos a través de la metodología de (Schosinsky, 2006), el cual permitió conocer el valor de la recarga potencial del acuífero.

Dentro de la unidad acuífera que se engloba en la unidad geológica *Q'al* (OIEA & Plan Trifinio, 2009) se identificaron a partir de correlación de registros de pozos y el análisis de resultados de los valores de resistividad 4 subunidades o estratos que describen el acuífero superficial; Una capa superficial permeable, una capa de materiales conglomerados con saturación, una tercer capa de material consolidado y un basamento; de la misma manera los resultados del balance hídrico demostraron que el acuífero cuenta con una recarga potencial de $84.7 \text{ Mm}^3/\text{año}$ (equivalente a 1123 mm/año), siendo las zonas posibles de recarga acuífera las regiones altas de la región ATOC, más próximas a los macizos Montecristo y El Pital, como también las regiones próximas a la zona de fallamiento de tipo Pull – Apart como es el caso de la zona alta de la Aldea Santa Anita.

1. INTRODUCCIÓN

La región centroamericana cuenta con una posición geográfica estratégica y privilegiada por sobre muchos otros países alrededor del mundo. Su clima y condiciones orográficas permiten el desarrollo de actividades productivas a diferentes niveles, por ejemplo, la agricultura, ganadería, transporte de productos de primera necesidad por vía terrestre, entre otras. En este aspecto, la integración entre países vecinos es de vital importancia para conseguir el desarrollo de toda la región, dicho desarrollo se alcanza cuando las condiciones de vida de las personas que habitan dichos países aportan los recursos necesarios para su correcto desempeño en la sociedad global.

Una de las condiciones que se necesitan para un desarrollo social pleno es la seguridad hídrica, es decir, la capacidad de una región para proveer y gestionar el recurso hídrico a sus habitantes. La gestión del recurso hídrico está estrechamente vinculada con el conocimiento de las propiedades de los acuíferos, cuerpos de agua y áreas de influencia de estos, las cuales nos permiten describir, entre muchas, la calidad y cantidad disponible del recurso.

La región Trifinio es un espacio territorial conformado por los tres países del triángulo Norte centroamericano (El Salvador, Guatemala y Honduras), el cual cuenta con una cantidad de recursos naturales considerables que se busca preservar, uno de estos es el Acuífero Transfronterizo Ocatepeque – Citalá (ATOC), ubicado dentro de la cuenca alta del Río Lempa, y compartido por los países de Honduras y El Salvador.

El acuífero Ocatepeque – Citalá es uno de los dieciocho acuíferos que comparte fronteras en la región mesoamericana, y es a su vez uno de los 3 acuíferos que comparte fronteras en el territorio salvadoreño (IGRAC & UNESCO - IHP, 2015). El acuífero cuya extensión es de 75.82 km^2 ha sido delimitado y estudiado en anteriores ocasiones, generando así información relacionada con las condiciones hidrogeológicas y ambientales que este posee.

En esta investigación se profundiza en el conocimiento de las condiciones que se encuentra el ATOC, a partir de la realización de un balance hídrico de suelos siguiendo la metodología de (Schosinsky, 2006) que nos permitirá obtener valores de recarga potencial del acuífero basándose en información meteorológica, pruebas de infiltración y uso y tipo de suelo.

Además, se llevó a cabo una campaña de colección de datos de resistividad eléctrica, a partir de prospección geofísica por medio del método de tomografías eléctricas 2D, las cuales permiten conocer las distribuciones de capas o unidades rocosas con base a los valores de resistividad obtenidas.

Con la información obtenida, se ha generado el modelo hidrogeológico conceptual del acuífero superficial de la región ATOC, el cual permite entender las características principales de la unidad hidrogeológica.

La investigación ha sido posible gracias al apoyo del Programa Hidrológico Internacional de la Organización de las Naciones Unidas para la Ciencia y Cultura (UNESCO – PHI), la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN), la coordinación de la Comisión Trinacional del Plan Trifinio, el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales de El Salvador (MARN), las municipalidades de Santa Fe, Concepción, Sinuapa, Nueva Ocotepeque, Honduras y Citalá y San Ignacio por parte de El Salvador, el Grupo de Investigación en Hidrogeología de la Escuela de Física y el Departamento de Geofísica de la Universidad de El Salvador.

Los resultados presentados pretenden generar herramientas que sirvan para la mejora en la gestión del recurso hídrico en la zona del Trifinio, específicamente entre los países que se ven beneficiados del ATOC, además, el modelo conceptual resultante funciona como un punto de partida para crear una iniciativa de un monitoreo integrado de las condiciones hidrogeológicas del acuífero, tratando así de preservar el recurso.

OBJETIVOS

Objetivo General

Elaborar el modelo conceptual del acuífero transfronterizo Citalá – Ocoatepeque a partir del análisis e interpretación de información hidrogeológica de la zona para la descripción y conocimiento de la dinámica del flujo de agua subterránea en el área.

Objetivos Específicos

- Generar modelos de resistividad eléctrica de las secciones transversales de terreno con el fin de correlacionar los valores de resistividad obtenidos con la geometría y espesores del acuífero Citalá – Ocoatepeque.
- Identificar zonas de recarga potencial hídrica por medio de balance hídrico y la metodología de Schosinsky.
- Integrar información geofísica existente con la registrada en la campaña de campo para definir dimensiones acuíferas más precisas del acuífero superficial de la zona Citalá – Ocoatepeque.

2. MARCO TEÓRICO

Para la presente investigación se ha consultado una serie de artículos científicos, libros de texto especializados, informes técnicos de investigaciones realizadas en la región, manuales de usuario y tutoriales de uso de equipos y programas especializados para modelaje y creación de bases de datos, esto con el motivo de fundamentar las metodologías implementadas durante la investigación. A continuación, se presenta el compilado de información que sirve como base teórica del trabajo.

2.1. Estado del Arte

La Cuenca Alta del Río Lempa (CARL) ha sido objeto de estudio por una variedad de autores para la realización de investigaciones relacionadas a la preservación del recurso hídrico. Desde la conformación de la Comisión Trinacional del Plan Trifinio (CTPT) en el año 1997 esta ha buscado el desarrollo en el ámbito ambiental y gestión de territorio (Plan Trifinio, 2016), por lo cual ha sido la principal impulsora de estudios en la zona de la CARL y más específicamente en la región del Acuífero Transfronterizo Ocatepeque – Citalá (ATOC).

A continuación, se presenta una recopilación de algunos estudios de importancia para comprender la situación actual del ATOC.

2.1.1. Estudio del OIEA (OIEA & Plan Trifinio, 2009)

El estudio se llevó a cabo por parte de un equipo trinacional conformado por investigadores de universidades, entidades autónomas gubernamentales y consultores especializados en el tema hídrico y geológico. El proyecto se desarrolló en el año 2009, teniendo como actividades principales la recolección y generación de información hidrológica relacionada a la Cuenca Alta del Río Lempa (CARL).

Hasta la fecha de realización del documento final del estudio, la información referente a la CARL no se encontraba integrada, por ende, encontrar información que profundizara sobre las propiedades del ATOC fue complicado.

Uno de los principales logros del proyecto fue la elaboración del mapa geológico integrado de la región trífino; dicho mapa fue utilizado como base para la generación del mapa hidrogeológico, en donde se describen 3 grandes unidades hidrogeológicas: 1) Acuíferos Porosos, 2) Acuíferos fracturados y, 3) Rocas Fracturadas de baja porosidad y productividad.

Respecto a la región del Valle de Ocotepeque, Honduras, se delimita el acuífero principal (ATOC) como una unidad hidrogeológica de tipo poroso, así mismo se identifica que a los alrededores del ATOC las rocas poseen bajo fracturamiento y productividad baja.

El estudio presenta un primer resultado focalizado para la región de un modelo hidrogeológico conceptual, sin embargo, el nivel de detalle no es muy grande, siendo así la única región donde se contemplan parámetros y análisis completo del modelo conceptual la subcuenca de La Quebradona; las demás zonas estudiadas contemplan una descripción general de la cantidad de lluvia e infiltración, sin dar mayor detalle.

El documento final recopila información que propone que el acuífero de Esquipulas y el ATOC son dos acuíferos separados; además, en el proyecto se realizaron análisis hidrogeoquímicos que permitieron la descripción del tipo de aguas que forman parte de los acuíferos. Las pruebas se concentraron en territorio hondureño, teniendo así que las aguas en la zona son predominantemente cloruradas cálcicas y sódicas.

Otra componente que se desarrolló en la investigación fue la realización de campañas geofísicas, en concreto, sondeos eléctricos verticales (SEV), los cuales tenían como propósito delimitar los espesores de las unidades acuíferas antes mencionadas, realizando así 28 sondeos en toda la región.

El último componente de importancia fue la realización de pruebas isotópicas, mediante las pruebas de concentración de deuterio se encontraron valores con alta variación temporal; para el caso del ATOC, se determinó que el acuífero no juega un papel importante en el flujo base del río, debido a los valores de conductividad eléctrica que se registró durante la época de estiaje. Como una de las conclusiones de la sección de isotopía propone que el flujo base está alimentando por acuíferos en territorio guatemalteco.

2.1.2. Estudio información Hidrogeológica, (Samayoa, 2014)

La investigación realizada por Samayoa se desarrolló en el año 2014, teniendo como objetivo principal la recopilación e integración de la información existente sobre el ATOC, y teniendo como objetivo más específico crear la primera caracterización y diagnóstico del ATOC con la información existente.

El autor identifica un listado de vacíos de información, la mayoría relacionados a desactualización de la información o falta de información a detalle. Es en este documento donde se realiza la primera mención de la ausencia del Modelo Hidrogeológico Conceptual del ATOC y la importancia de tener este elemento para la región.

Adicionado al listado de vacíos de información, se presentan generalidades relacionadas a parámetros de variables climáticas, biofísicas, de cobertura, ocupación y tipo de suelo, la red hidrográfica predominante, geología e hidrogeología. En este segmento del documento se centra la atención en los acuíferos dentro de la CARL.

Uno de los puntos a destacar de esta investigación es la recopilación de perfiles litológicos que ayudan a generar la correlación de las diferentes unidades acuíferas que son predominantes en la zona de la CARL.

Por otra parte, el documento muestra información inédita, proveniente de informes o proyectos en ejecución o que su información aún no ha sido publicada, como es el caso del informe del OIEA referente a la determinación de líneas de flujo, pruebas de bombeo y perforación de pozos; lastimosamente dicha información no es citada como fuente bibliográfica del documento, por lo que la fuente se vuelve incierta.

El documento deja una serie de recomendaciones que hacen énfasis en la necesidad de realizar estudios de geofísica y balances hidrogeológicos, estos estudios permitirían resumir y describir de mejor manera el comportamiento de las aguas subterráneas del ATOC.

2.1.3. Estudio Geofísico de Geociencias Aplicada (Geociencia Aplicada, 2015)

Geociencia Aplicada es una empresa consultora guatemalteca focalizada en realizar estudios ambientales con énfasis en geofísica, geología e hidrogeología. En 2015 se encargaron de la realización de la campaña geofísica para determinar los espesores de las unidades hidrogeológicas del ATOC. La campaña geofísica del 2015 se caracterizó por realizar mediciones de resistividad eléctrica por medio del método de Sondeos Eléctricos Verticales (SEV).

La investigación se centra en la consecución de 5 objetivos claves, todos centrados en la definición de materiales relacionados con el acuífero, hasta ese momento, de la región Esquipulas – Ocoatepeque – Citalá, y las zonas que contaban con mayor potencial de explotación del recurso hídrico.

El proyecto se focalizó, también, en la colecta de información relacionada a niveles piezométricos de pozos, registros litológicos y de testificación eléctrica de estos mismos. Así mismo, se incorporaron los datos de los SEV y medición de piezometría elaborados por Suriano (2004), los cuales constan de una serie de 10 SEVs, los cuales aportan información esencial para la delimitación del acuífero de Esquipulas.

La campaña geofísica principal, constó de 23 SEVs de los cuales 10 se realizaron dentro de la zona delimitada como ATOC, distribuyéndose 8 sondeos en territorio hondureño y 2 sondeos en El Salvador, los sondeos restantes (13 sondeos) se realizaron en la localidad de Esquipulas, Guatemala. Todos los sondeos realizados en esta campaña tuvieron la configuración de arreglo Schlumberger; alcanzado profundidades de hasta 600 metros.

Los resultados del estudio plantearon la definición de 5 horizontes de resistividades principales, que se resumen a continuación:

- Horizonte A: capa correspondiente al suelo, con profundidades de hasta 7.8 m y resistividades que rondan los $50 - 275 \Omega \cdot m$.
- Horizonte B: capa relacionada al acuífero superficial. Posee espesores de unos 10 m. y valores de resistividad promedio de $33.7 \Omega \cdot m$.

- Horizonte C: capa sello del acuífero superior, sus espesores rondan entre 28.8 m – 59 m y resistividad promedio de $215 \Omega \cdot m$.
- Horizonte D: se identifica como acuífero profundo o inferior. Los espesores de este horizonte hidrogeológico son de 53.2 m y resistividad promedio de $33 \Omega \cdot m$.
- Horizonte E: Se considera el basamento geoelectrico de la cuenca de interés.

Como parte complementaria al estudio, se elaboraron mapas de isoelevaciones de los dos acuíferos en cuestión. Así mismo, crearon mapas de isoprofundidad y de líneas de flujo, las cuales indican que el movimiento del agua tiene dirección preferencial hacia el cauce del río Lempa.

2.1.4. Estudio Integrado del ATOC, (UICN, 2015)

Este documento recopila la información generada por las consultorías coordinadas por la UICN en la región trifuinio, específicamente en la zona de influencia del ATOC. Consta de 4 componentes principales: 1) Componente de Hidrología; 2) Componente de Geofísica; 3) Componente de Sistemas de Información Geográfico (SIG); y 4) Componente de Género. Todas las componentes están enfocadas en crear una propuesta de gestión sostenible del agua subterránea.

Entrando en materia asociada a los recursos hídricos el documento contempla un capítulo completo asociado a la componente hidrogeológica, en él se detallan los resultados de modelos hidroclimáticos e hidroedáficos de la Subcuenca Lempa Alto, así como se detalla las características morfométricas, geología (incluyendo mapas) y perfiles geológicos de pozos, donde se tiene información de 10 pozos, 5 pertenecientes a la región del acuífero de Esquipulas, y 5 asociados al acuífero Ocotepeque – Citalá.

Se da un apartado para los parámetros hidráulicos del acuífero y líneas de flujo, aquí se contempla que la dirección preferencial de flujo de agua del acuífero Ocotepeque – Citalá, son de orientación Este – Oeste, en la sección Este del acuífero y, orientación Oeste – Este, en la sección Oeste del acuífero, que se delimita por el cauce del río Lempa.

En la sección de hidrogeología, se detallan las diferentes formaciones acuíferas y zonas de recarga del acuífero, las cuales son concordantes con los resultados presentados por (OIEA & Plan Trifinio, 2009). La información se refuerza gracias al análisis e integración de los resultados de la componente de geofísica.

Respecto a esta componente, en el documento se resume y presenta los resultados de la consultoría realizada por (Geociencia Aplicada, 2015), detallando los lugares donde se realizaron los Sondeos Eléctricos Verticales, la explicación del por qué el acuífero Esquipulas no está interconectado con el ATOC. A su vez, se resume la explicación de los horizontes geoelectrónicos encontrados con la implementación de los SEVs.

Los autores realizan una serie de recomendaciones basadas en los resultados obtenidos en las diferentes consultorías e investigaciones previas, dentro de ellas se encuentra la profundización de los estudios geológicos y geofísicos en la región del ATOC, a su vez, muestran la importancia de la creación del modelo hidrogeológico conceptual para el acuífero del valle de Ocoatepeque – Citalá, con el cual se pretende aportar elementos para la creación de una estrategia de gestión hídrica de la región.

2.2. Acuíferos Transfronterizos

La Organización de las Naciones Unidas (ONU), en el año 2008 en su sexagésimo tercer período de sesiones, aprobó el informe de la Comisión de Derecho Internacional en el que se trabajó el reconocer el Derecho de los acuíferos transfronterizos (ONU, 2009). El acuerdo contiene los artículos que dictan como un acuífero transfronterizo se convierte en un bien para los países en los que este se encuentra ubicado, las directrices para una gestión adecuada, la información necesaria para comprender de manera correcta la dinámica de los acuíferos y sugerencias para mejorar las relaciones entre las regiones que se ven beneficiadas por dicho recurso, así como la manera de protección y preservación de los acuíferos transfronterizos (Ídem).

Alrededor del mundo se registran 366 Acuíferos Transfronterizos (Figura 1) (IGRAC & UNESCO - IHP, 2015), la mayor cantidad de acuíferos compartidos se tienen en la región de Asia – Oceanía, y la región con mayor cantidad de acuíferos compartidos de gran extensión es África.

El mapa de acuíferos transfronterizos generado por (IGRAC & UNESCO - IHP, 2015), detalla los diversos estudios realizados que hacen posible detallar la cantidad de acuíferos por cada continente (Tabla 1).

A nivel del continente americano se han identificado 73 acuíferos (Ibid.), siendo la mayoría de estos acuíferos que son compartidos entre dos países únicamente, 4 de los acuíferos son compartidos por 3 países, de los cuales 1 se encuentran en Centro América (Acuífero Península de Yucatán-Candelaria-Hondo). Además, se tiene el caso de acuíferos que son parte de hasta 6 países en Sudamérica (UNESCO - PHI & OEA, 2007).

Tabla 1. Resumen de fuentes de información sobre investigaciones realizadas en acuíferos transfronterizos contemplados en el mapa mundial (Fuente: Modificado de (IGRAC & UNESCO - IHP, 2015)).

Región	#AT	Fuentes	Código de Región
África	72	UNESCO/BGR (2004)	AF
América	73	TWAP_2015, UNESCO (2007), UNESCO/ISARM (2010)	N, C, CB, S
Asia y Oceanía	129	TWAP_2015, UN-ESCWA and BGR 2013, Zaicheng et al. (2013), UNECE (2007, 2011), UNESCO/ACSAD (1988), UNESCO/ISARM-Asia (2006), UN-ESCWA & BGR (2013)	AS
Europa	92	TWAP_2015, UNECE (1999, 2007, 2011)	EU, EB

En la región centroamericana, el acuífero del valle de Ocotepeque – Citalá es uno de los más importantes, dada su estrecha relación con el Río Lempa, recurso hídrico que forma parte de 3 países, sin embargo, este no es el único acuífero transfronterizo, ni mucho menos el más grande de la región; en la Figura 2, se recopilan los acuíferos transfronterizos presentes en Centro América.

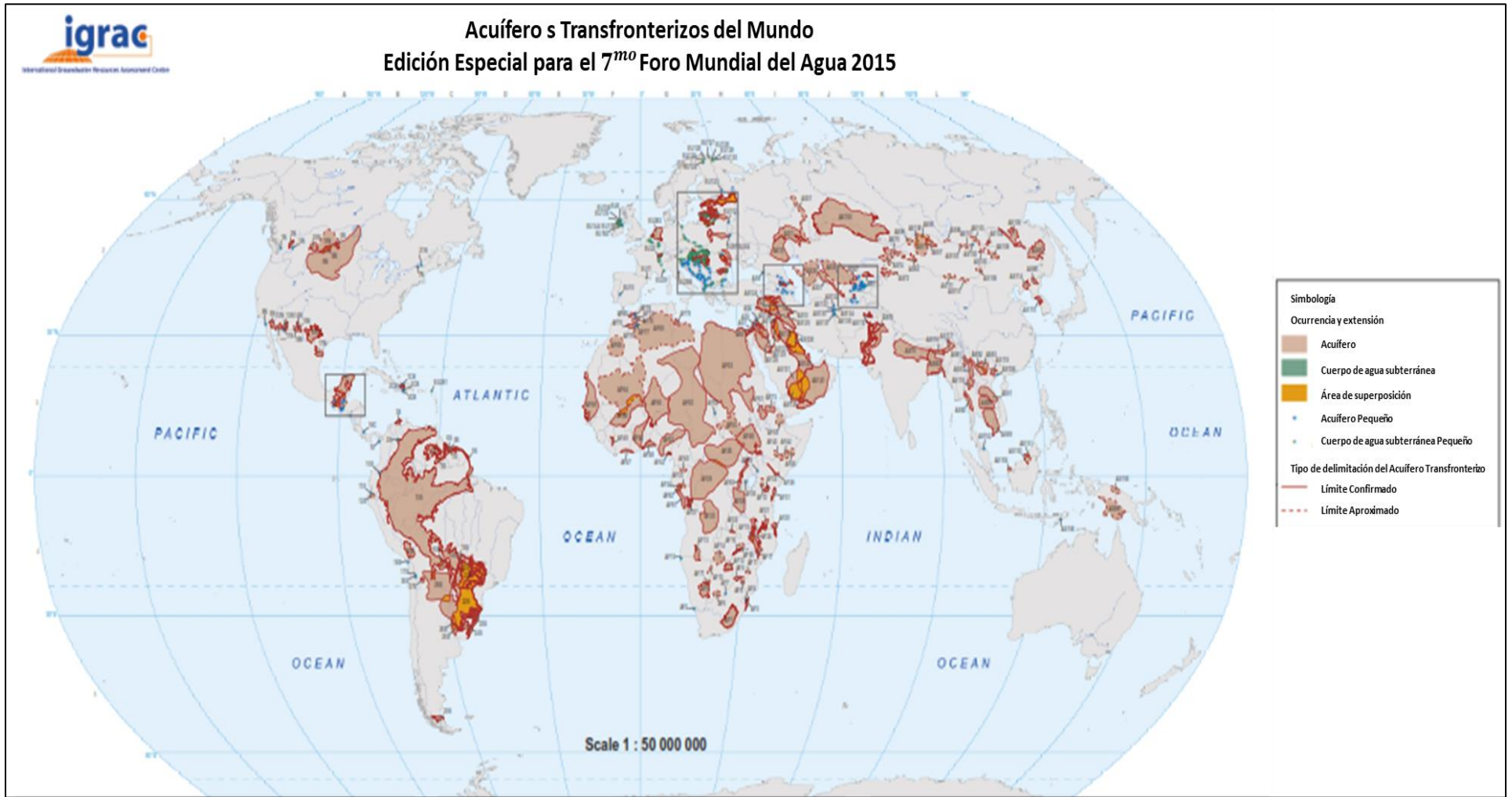


Figura 1. Acuíferos Transfronterizos del mundo. Recopilados a partir de la información de diferentes estudios científicos y gubernamentales, edición 2015 (Fuente: IGRAC, modificado de (IGRAC & UNESCO - IHP, 2015)).

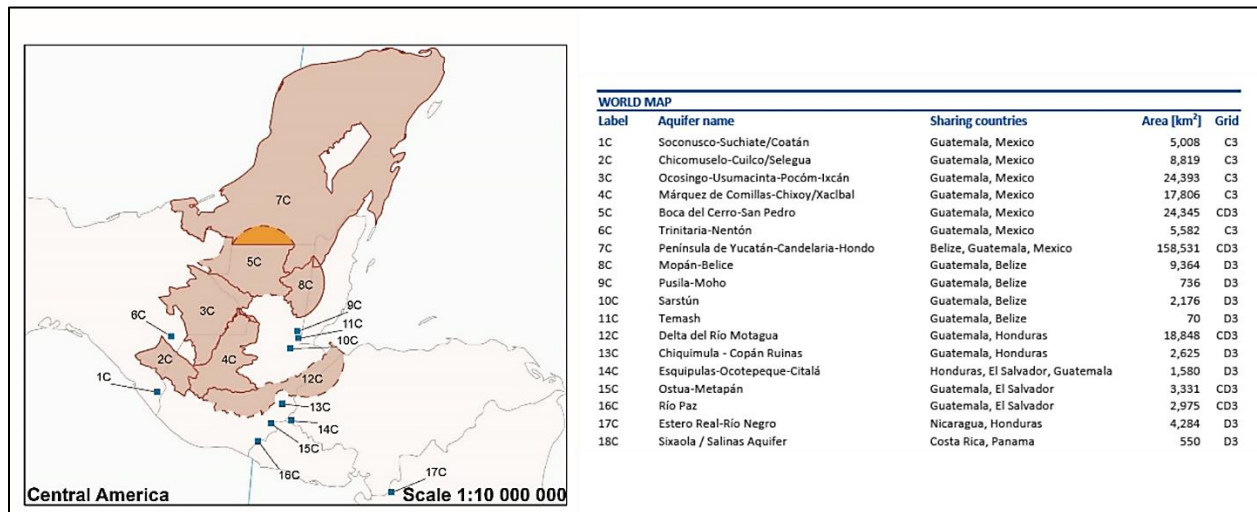


Figura 2. Acuíferos transfronterizos de la región centroamericana. (Fuente: (IGRAC & UNESCO - IHP, 2015)).

2.3. Ubicación de la Zona de Estudio

La región Trifinio es la zona ubicada alrededor del punto de confluencia de los tres países más al Norte de Centro América (Figura 3), conocido como Triángulo Norte. La región Trifinio está constituida por 45 municipios: 8 pertenecientes a El Salvador, 22 a Honduras y 15 a Guatemala, tiene una extensión aproximada de 7384 kilómetros cuadrados, de los cuales corresponden 46.5 % a Guatemala, el 15.6% a El Salvador y el 37.9% a Honduras (SIT-CARL, 2008 en (UNESCO-PHI/UICN, 2016)).

Las principales actividades económicas en la zona del ATOC se centran en la agricultura y ganadería, el comercio se centra en las ciudades más urbanizadas (Sinuapa, Nuevo Ocotepeque). Además, la región se caracteriza por ser un pasillo de transporte de carga entre los diferentes países debido a la cercanía que existe entre los diferentes países.

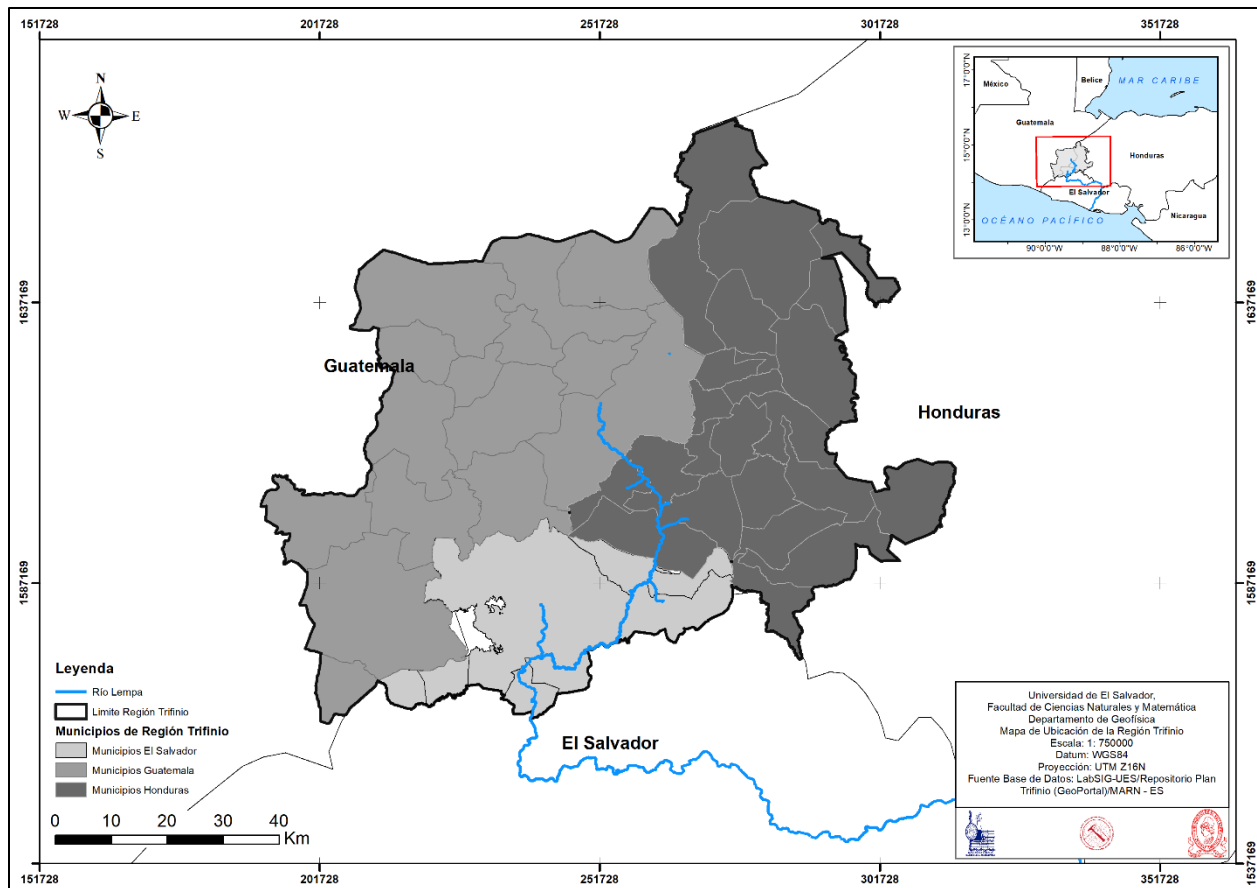


Figura 3. Mapa de Ubicación de la Región Trifinio (Fuente: Elaboración Propia).

Esta región es considerada estratégica por la riqueza de los recursos naturales (tales como recursos hídricos y diversidad biológica de los ecosistemas) que en ella existen y se distingue por ser parte relevante de uno de los sistemas hídricos más importantes de América Central, ya que la región abarca tres cuencas: la cuenca nacional del Río Ulúa en Honduras (15.5%), la cuenca binacional del río Motagua (38.9%) (entre Honduras y Guatemala), y la cuenca Trinacional del Río Lempa (45.6%) (UNESCO-PHI/UICN, 2016).

Además, la región Trifinio contempla el 24.2% de la Cuenca del río Lempa con una extensión de 4343 kilómetros cuadrados (SIT-CARL (2008) en (UNESCO-PHI/UICN, 2016)). Esta sección de la cuenca del río Lempa se le conoce como Cuenca Alta del Río Lempa (CARL) o Subcuenca Lempa Alto. Dentro de la CARL se encuentran dos acuíferos de suma importancia para la Región Trifinio: el Acuífero Esquipulas, ubicado en los municipios de Olopa y Esquipulas, Guatemala, y

el Acuífero Ocotepeque – Citalá, el cual abarca los municipios de Santa Fe, Concepción, Sinuapa y Ocotepeque, Honduras, y Citalá y San Ignacio, El Salvador (Ibid.).

El Acuífero Ocotepeque – Citalá (ATOC), se caracteriza por ser un acuífero transfronterizo, es decir, que sus límites se encuentran dentro de más de un país y, por lo tanto, existen más de un país que se ve beneficiado con la explotación del recurso hídrico que este almacena, siendo en este caso Honduras y El Salvador. El ATOC cuenta con una extensión superficial de 75.44 kilómetros cuadrados, la mayor parte del acuífero se encuentra en territorio hondureño (Figura 4).

2.4. Clima de la región

La región del Trifinio se ve influenciado, en general, por la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) y la actividad ciclónica del Mar Caribe, además por el ingreso y paso de frentes cálidos procedentes del Océano Pacífico. En los valles de la región, como es el caso del valle Ocotepeque – Citalá (principal zona del ATOC), el calentamiento del aire superficial favorece la formación de lluvias convectivas aisladas (INSIVUMEH, 2010 en (GIZ & CTPT, 2011)).

La configuración orográfica, los valles intermontanos, la dirección predominante de los vientos alisios con rumbo noreste y la altura media sobre el nivel del mar, que oscila entre 300 y 3000 msnm, son los principales factores condicionantes del clima de la región del Trifinio, y de la región del ATOC (OIEA & Plan Trifinio, 2009).

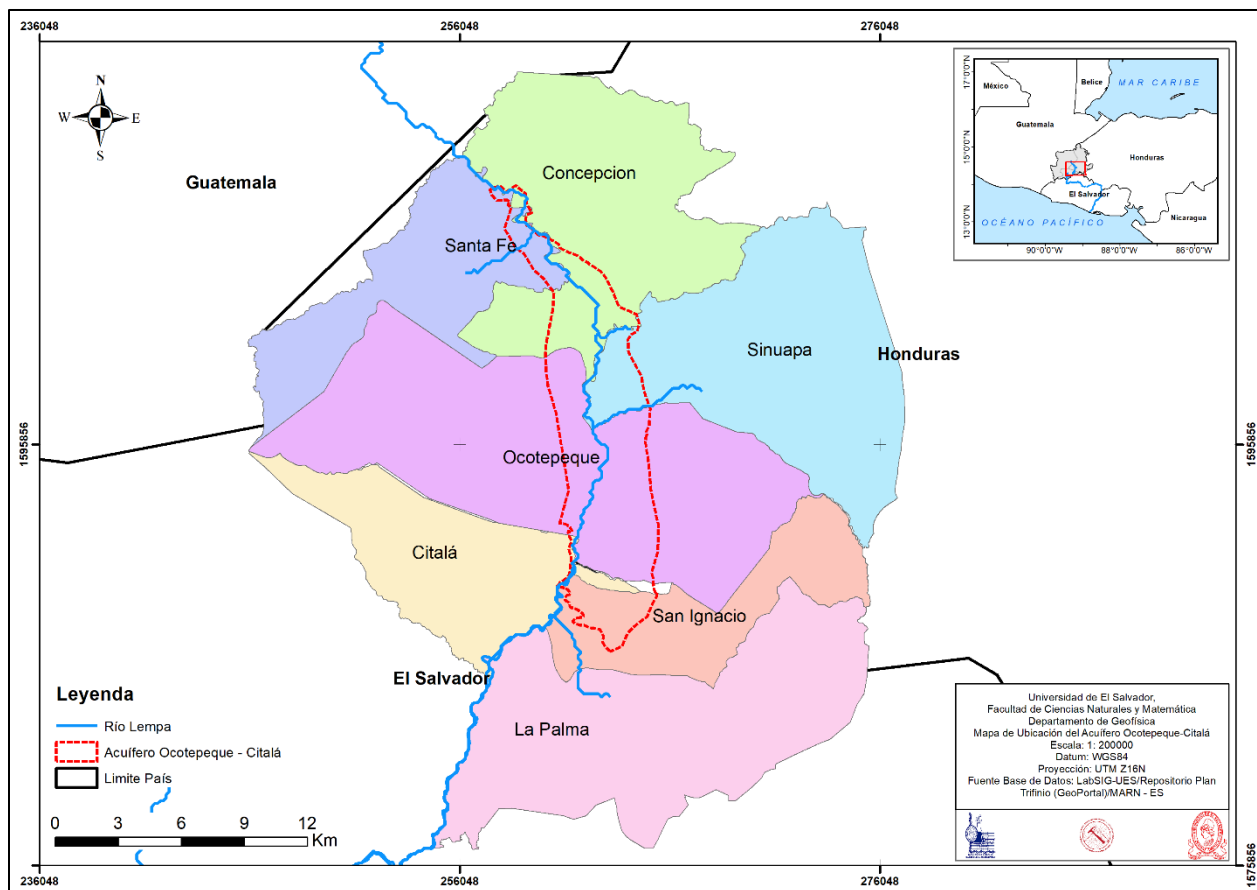


Figura 4. Ubicación del Acuífero Transfronterizo Ocoatepeque-Citalá y los municipios que se ven incluidos dentro de él (Fuente: Elaboración Propia).

2.4.1. Precipitación

En cuanto a la cantidad de lluvias que precipita en la región próxima al ATOC se puede notar en la Tabla 2 que los valores son variantes, con valores promedio anuales que van desde un mínimo de 1296 mm. en la región central del valle, en Nueva Ocoatepeque, Honduras, hasta el valor máximo de 2222 mm. en la zona de La Palma, El Salvador.

De esa manera, podemos ver que la distribución de lluvias en la región próxima del ATOC se concentra en las regiones de los macizos de Montecristo y El Pital, así como sus alrededores (Figura 5). Estos al ser las máximas elevaciones de la zona pueden llegar a concentrar grandes cantidades de humedad. Al contrario, en las planicies interiores como la de Ocoatepeque – Citalá, la cantidad de lluvia se ve significativamente disminuida (Figura 5).

Tabla 2. Precipitación promedio Anual (mm) calculada para las estaciones representativas de la región próxima al ATOC. Periodo 1950 – 2006 (Fuente: Estaciones meteorológicas de la región, modificado de (OIEA & Plan Trifinio, 2009)).

Nombre	País	Precipitación Promedio (mm)
Planes de Montecristo	El Salvador	2181
La Palma	El Salvador	2222
Las Pilas	El Salvador	1453
Esquipulas	Guatemala	1707
Nueva Ocotepeque	Honduras	1296.4

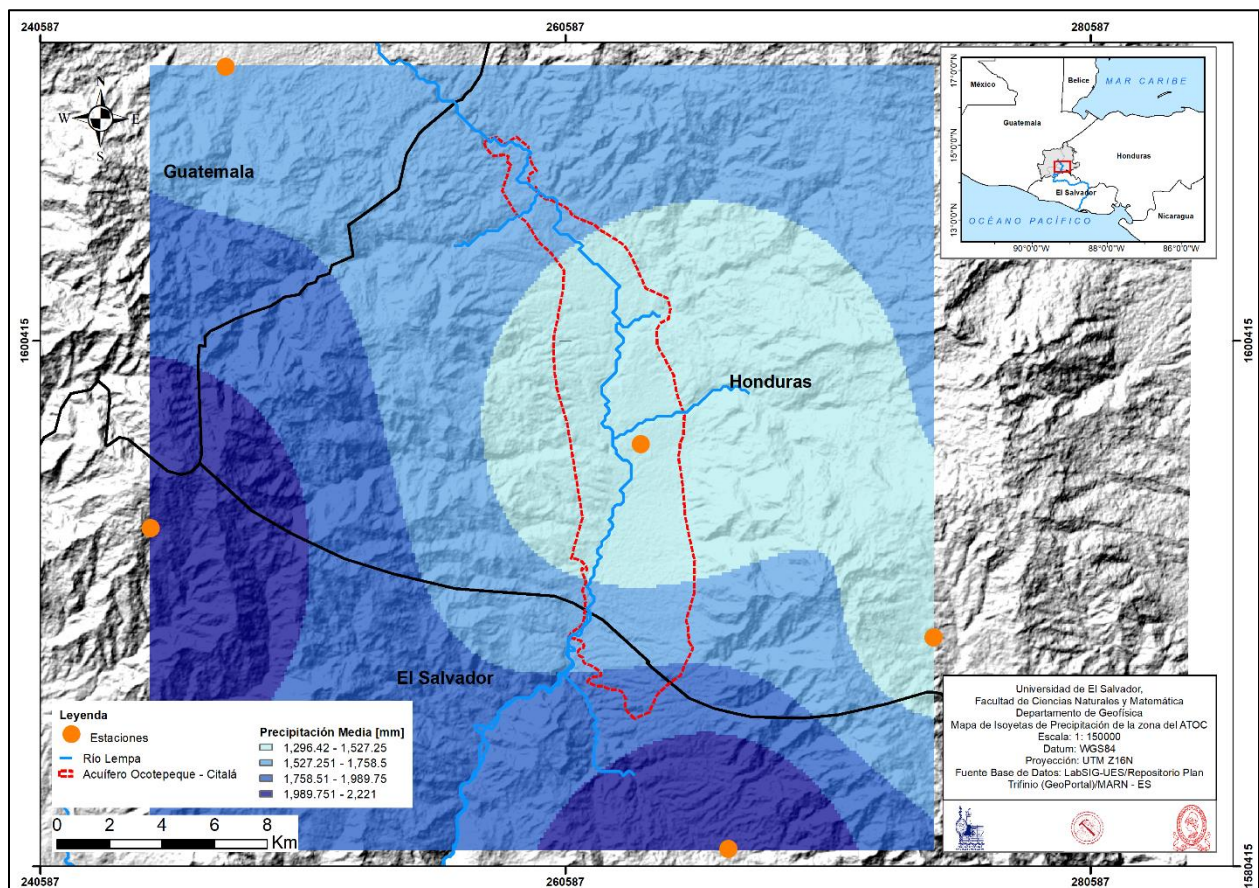


Figura 5. Mapa de distribución espacial de precipitación promedio anual del ATOC y sus alrededores (Fuente: Información Meteorológica de las estaciones de la zona (OIEA & Plan Trifinio, 2009), elaboración propia).

El comportamiento de las precipitaciones en el ATOC a lo largo de la época lluvia posee variaciones que son coincidentes entre cada una de las estaciones de los diferentes países (Figura 6), teniendo así periodos con niveles de lluvia muy bajos, como en los valles interiores de Esquipulas (niveles promedio mínimos de 5 mm) o Nueva Ocotepeque (niveles promedio mínimos de 0.9 mm), y durante la época lluviosa (mayo – octubre) cantidades elevadas de precipitación que llegan hasta los 472 mm en la estación de La Palma (Tabla 3).

Tabla 3. Valores de precipitación promedio mensual (mm) de las estaciones cercanas a la región ATOC. Periodo 1975 – 2006 (fuente: Estaciones meteorológicas de la región, modificado de (OIEA & Plan Trifinio, 2009)).

Estación	País	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Montecristo	El Salvador	12	10	29	86	292	417	294	332	423	201	60	26
La Palma	El Salvador	4	6	27	66	240	472	301	373	434	242	49	6
Las Pilas	El Salvador	5	5	17	47	144	302	218	241	293	143	27	11
Esquipulas	Guatemala	9	5	15	47	153	312	277	269	367	187	44	18
Nva. Ocotepeque	Honduras	0.9	5.1	9.9	43.2	140.3	267.8	198.2	215.9	262.6	123.2	22.1	7.1

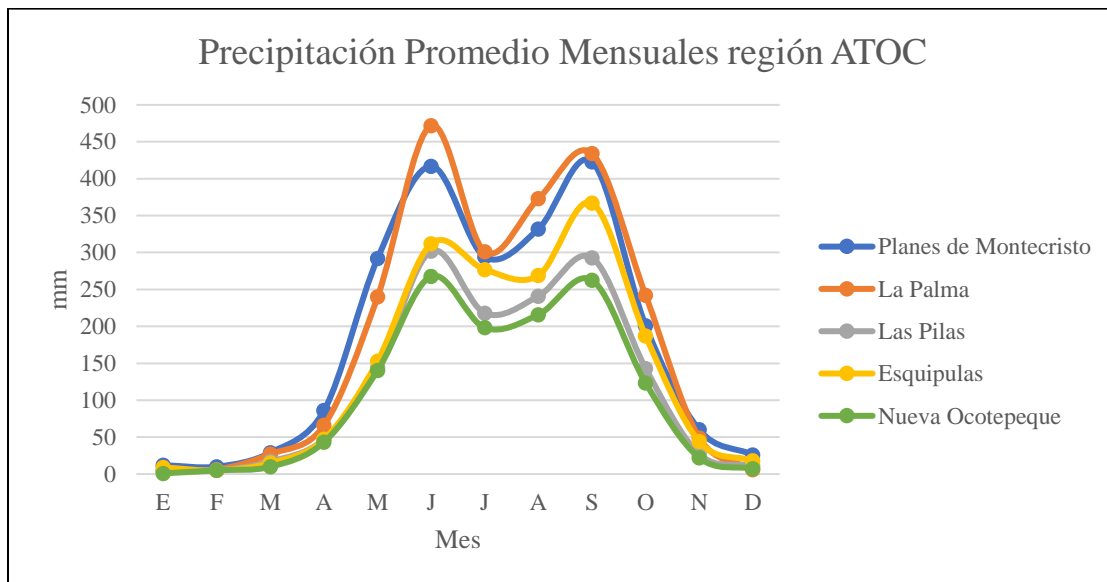


Figura 6. Comportamiento de las precipitaciones promedio en las estaciones cercanas a la región ATOC (Fuente: Información meteorológica de las estaciones incluidas en (OIEA & Plan Trifinio, 2009)).

2.4.2. Temperatura

La temperatura es uno de los principales parámetros atmosféricos para el análisis climático de una región. En la región correspondiente al ATOC, los valores promedios de la temperatura están entre 15.9°C y 24.4°, estos valores corresponden a las estaciones Las Pilas y Nueva Ocotepeque, respectivamente. El resto del detalle de las temperaturas en la región se detalla en la Tabla 4.

Tabla 4. Valores promedio anuales de temperatura registrados en las estaciones cercanas al ATOC. Periodo de análisis 1975 - 2006 (Fuente: información meteorológica de estaciones de la región, modificado de (OIEA & Plan Trifinio, 2009)).

Nombre	País	Temperatura Promedio (°C)
Montecristo	El Salvador	16.1
La Palma	El Salvador	21.1
Las Pilas	El Salvador	15.9
Esquipulas	Guatemala	22.2
Nueva Ocotepeque	Honduras	24.4

Las temperaturas en la región pueden considerarse bastante templadas, muy probablemente influenciadas por las masas boscosas relacionadas al cerro El Pital y Montecristo, los cuales rodean la región de interés. Sin embargo, se logra identificar que las regiones con mayores temperaturas se asocian a los valles intermontanos, como es el caso del valle de Ocotepeque – Citalá (Figura 7), la temperatura tiende a descender según se aumenta en altura y se acerca las cumbres de los dos macizos rocosos antes mencionados.

Referente al comportamiento mensual, la Tabla 5 muestra los valores promedio mensuales de las diferentes estaciones que se encuentran cerca de la región. Cabe destacar que las temperaturas máximas promedio se alcanzan en la zona de los valles, donde puede llegar a los 26°C, como lo detalla la estación de Nueva Ocotepeque, y por otro lado las temperaturas mínimas promedio en la región rondan los 14.3°C.

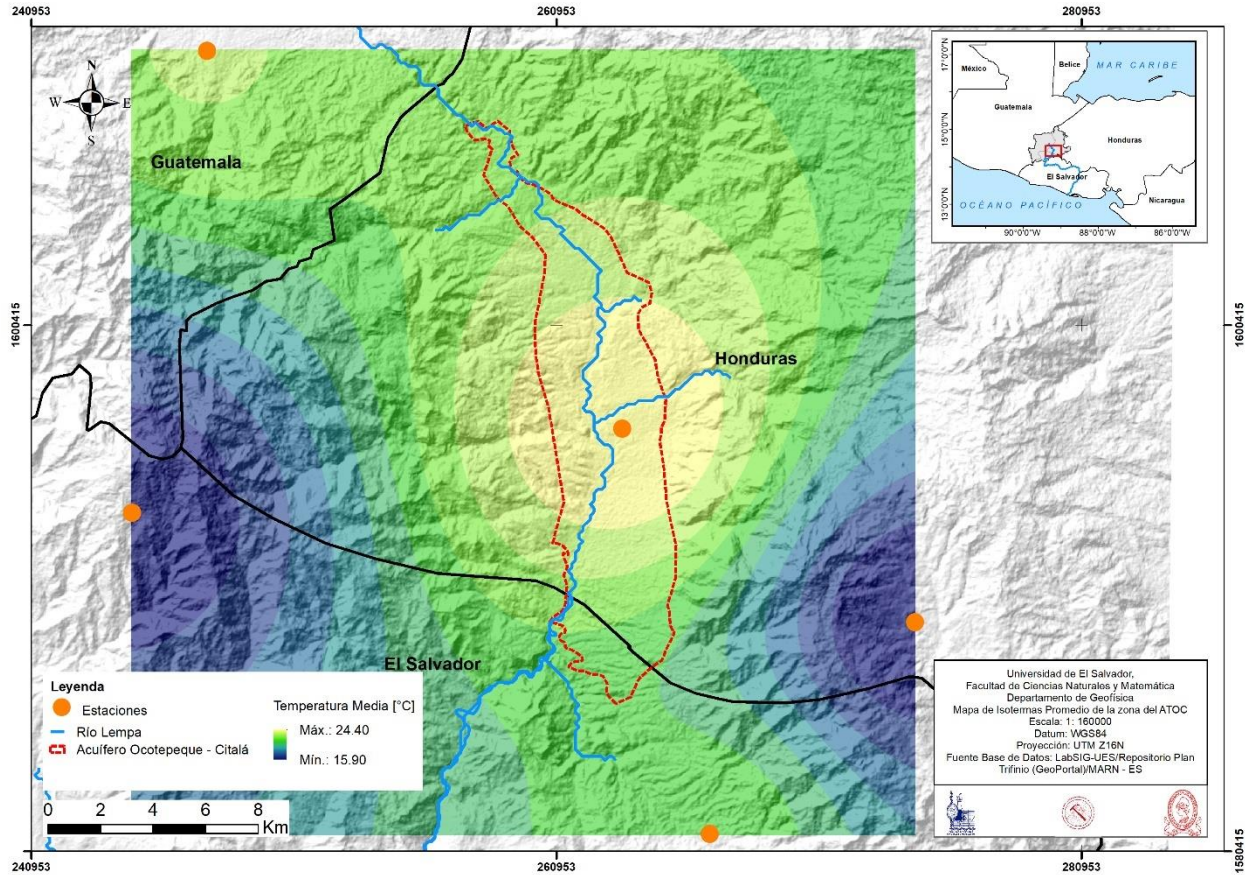


Figura 7. Mapa de temperatura promedio anual para la región del ATOC y sus alrededores (Fuente: información meteorológica de las estaciones de la zona (OIEA & Plan Trifinio, 2009), Elaboración del mapa propia).

Tabla 5. Valores de temperatura (°C) promedio mensual de las estaciones cercanas a la región ATOC (Fuente: Estaciones meteorológicas de la región, modificado de (GIZ & CTPT, 2011)).

Nombre	País	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Montecristo	El Salvador	14.3	15	16.1	17.1	17.1	16.7	16.5	16.7	16.3	15.9	14.9	14.3
La Palma	El Salvador	19.6	20.6	21.9	22.9	22.7	21.9	21.8	21.8	21.3	21.1	20.1	19.7
Las Pilas	El Salvador	14.6	15.2	16.3	17.3	17.6	17.4	17.3	17.5	17.3	16.8	15.6	15.5
Esquipulas	Guatemala	20.1	21.1	22.6	23.9	23.8	23.1	22.8	22.9	22.6	22.1	20.3	19.7
Nva. Ocoatepeque	Honduras	22.2	23.7	25.5	26	25.7	24.8	24.5	24.5	24.2	23.6	22.5	22.6

Comparativamente, las estaciones muestran un comportamiento similar durante los diferentes meses del año (Figura 8), lo que es indicativo de que el clima es muy uniforme en la región.

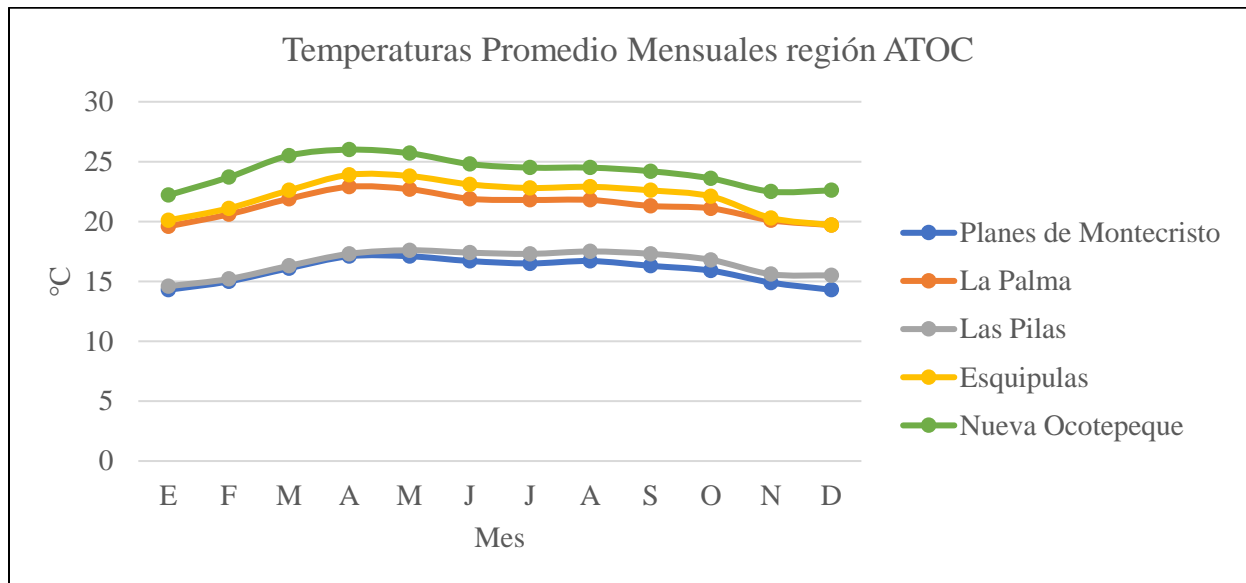


Figura 8. Gráfica de las temperaturas promedio mensuales registradas en las estaciones cercanas al ATOC (Fuente: (GIZ & CTPT, 2011), elaboración propia).

2.4.3. Clasificación climática

Dentro del trabajo desarrollado por (GIZ & CTPT, 2011), se realiza la descripción de la clasificación del clima para la región del Trifinio en general. Utilizando la metodología de (Thornwaite, 1948) se determina que las jerarquías de humedad se pueden caracterizar como muy húmedo, húmedo o semiseco, y para las jerarquías de temperatura, los resultados corresponden a cálido, semicálido o templado (GIZ & CTPT, 2011).

El clima más frecuente en la región Trifinio es el semicálido húmedo, el cual se extiende por la mayor del territorio del Trifinio hondureño, como también en la región Noreste de Guatemala (Figura 9). Para la región del ATOC, la clasificación climática indica que la parte del valle de Ocotepeque – Citalá se encuentra dentro de la clasificación Cálida – Húmedo; las zonas como Concepción, Santa Fe y la región montañosa de Citalá y San Ignacio, entran en categoría Semicálido – Semiseco (Figura 9). En los alrededores del ATOC, solamente las cumbres de los macizos del Pital y Montecristo presentan climas categorizados como Templados – Muy Húmedos ((GIZ & CTPT, 2011).

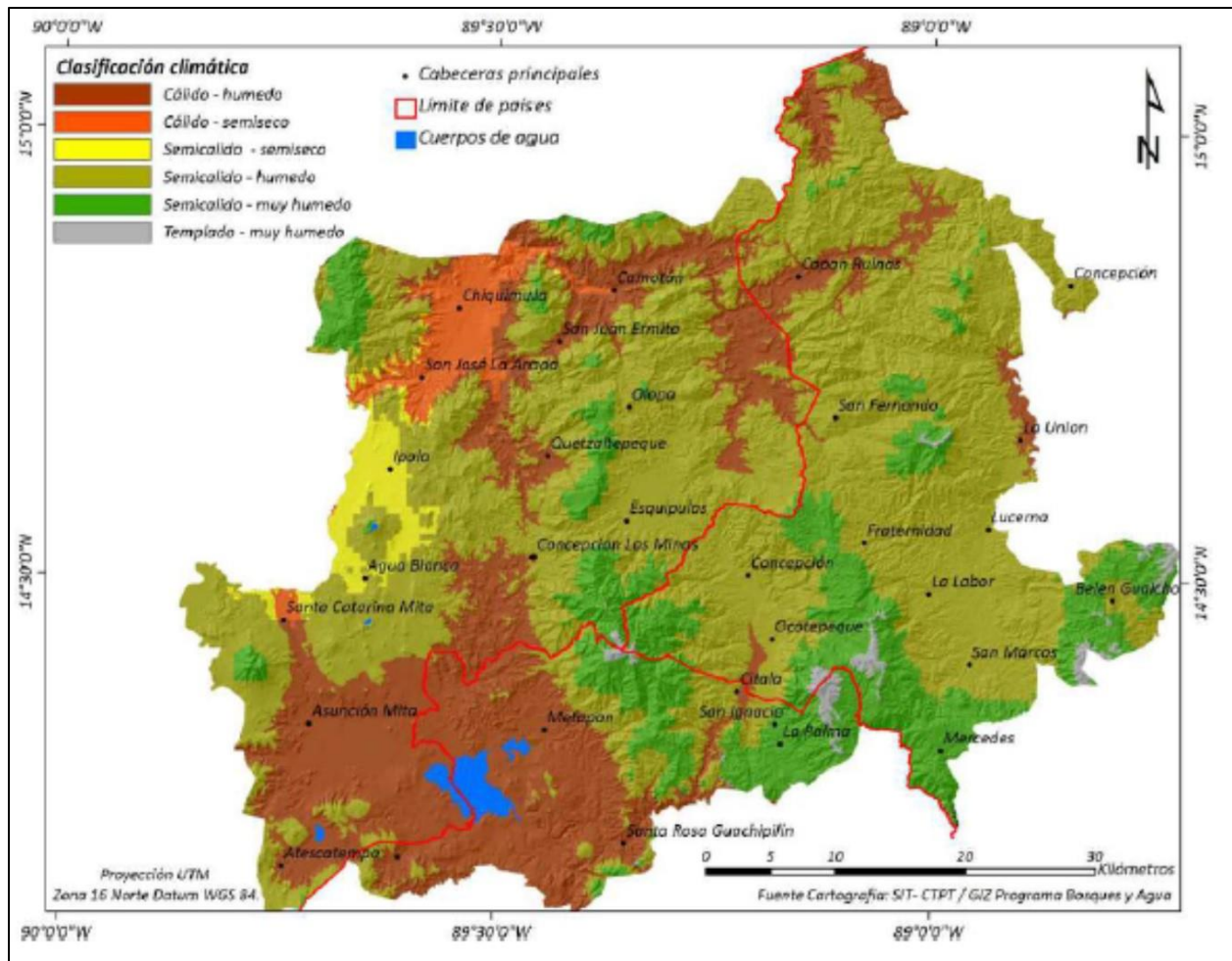


Figura 9. Mapa de Clasificación climática según el método de Thornwaite. (Fuente: (GIZ & CTPT, 2011))

2.5. Uso del suelo

El área correspondiente al ATOC cuenta con una variedad de secciones de terreno con diferente utilidad. Dada la topografía y los diferentes procesos erosivos que se llevan a cabo, podemos encontrar lugares con alto potencial de desarrollo forestal, o también planicies con potencial para cultivos de hortalizas, granos básicos y frutas (Figura 10).

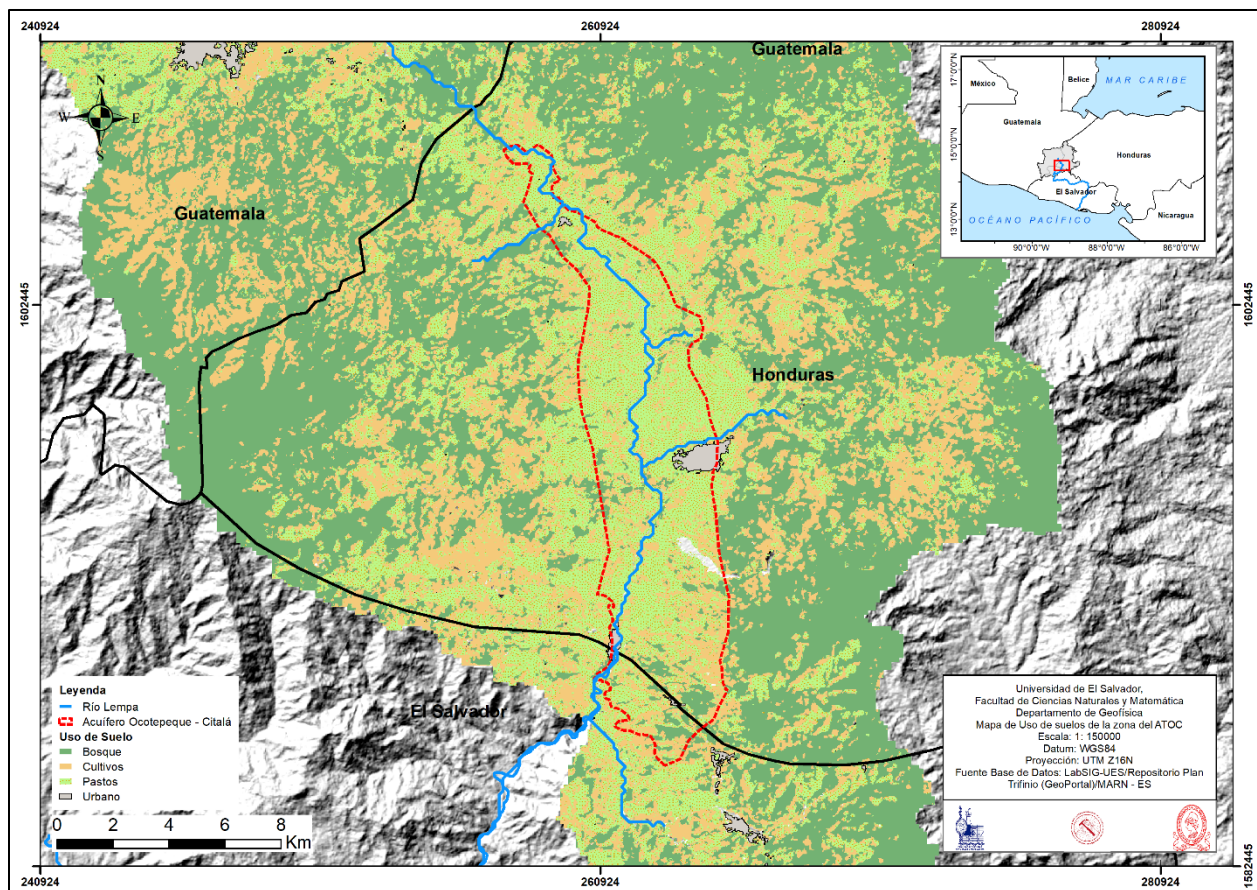


Figura 10. Distribución del uso del suelo en la región del ATOC. (Fuente: Base de datos Plan Trifinio. Elaboración propia)

Dentro de la región ATOC, existe predominantemente el uso de suelo de pastos con una extensión de 46.65 km^2 . El segundo mayor uso de suelo del ATOC, corresponde a Cultivos, con extensión de 19.91 km^2 . En un tercer nivel de extensión están los suelos usados exclusivamente para Bosques (6.36 km^2) y una última categoría correspondiente a las áreas urbanas (1.60 km^2). En la Tabla 6 se detallan los diferentes usos de suelo dentro de la región ATOC, con sus respectivas subcategorías de cobertura específicas y la extensión que estas cubren.

Se puede interpretar la predominancia de pastos y cultivos a las principales actividades económicas de la zona, las cuales van enfocadas en la producción y comercialización de producto agrícolas y crianza de animales de pastoreo.

Tabla 6. Distribución de los usos de suelo de la región ATOC. (Fuente: Procesamiento de capas de uso de suelo).

Uso de Suelo Principal	Cobertura Específica	Extensión [km^2]
Pastos		
	Pastos Cultivados	13.13
	Pastos Naturales	7.02
	Arbustos	26.50
Cultivos		
	Cultivos Permanentes Herb.	0.57
	Cultivos Permanentes Arbust.	0.22
	Granos Básicos	2.19
	Café	0.018
	Sistemas Agroforestales	14.34
	Hortalizas	0.006
	Mosaicos de Cultivos	2.57
Bosque		
	Bosque Latifoliado	0.07
	Bosque de Coníferas	1.43
	Bosque Mixto	4.86
Urbano		
	Zonas Urbanas	1.60

2.6. Geología y Geomorfología

La base teórica de la geología de la región correspondiente al Acuífero Transfronterizo Ocotepaque – Citalá se fundamenta en la integración de los mapas geológicos de los países que conforman la región Trifinio, estudios geológicos específicos e investigaciones a nivel regional de la geotectónica centroamericana. Así, el proyecto vinculado a la investigación de (OIEA & Plan Trifinio, 2009), genera como producto el mapa geológico de la región trifinio, del cual se desprende el mapa geológico de la región del ATOC (Figura 11).

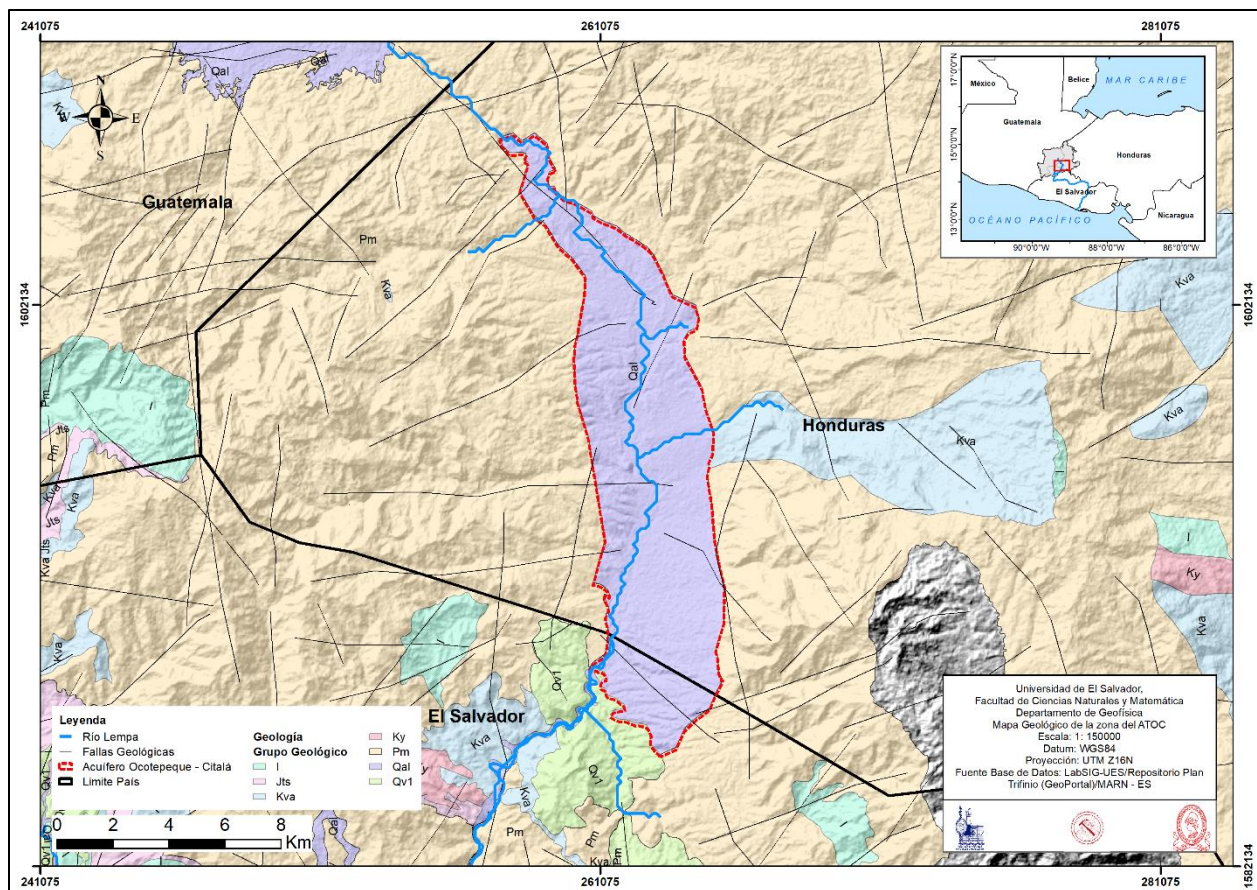


Figura 11. Mapa geológico de la región relacionada al ATOC. (Elaboración propia)

En la parte geomorfológica los estudios han sido más diversos, habiendo descrito los procesos de levantamiento del territorio, formación de cadenas volcánicas y creación de grabenes en la región, asociados al tectonismo relacionado a la dinámica de la colisión de la placa de Cocos con la placa del Caribe. Dicha información generada por diferentes autores se encuentra compilada en el documento final del proyecto RLA/8/308 del OEIA y el Plan Trifinio (2009).

2.6.1. Geología de la región ATOC

Los estudios realizados en la región por (OIEA & Plan Trifinio, 2009) detallan el orden estratigráfico de las rocas en la CARL, las cuales van desde la era del Paleozoico superior hasta el periodo cuaternario de la era cenozoica. La Tabla 7 presenta la estratigrafía principal de la región Trifinio.

Tabla 7. Estratigrafía de la región Trifinio (Modificado de Taracena 2015 en (UNESCO-PHI/UICN, 2016))

Era	Periodo	Unidad	Litología
Cenozoica	Cuaternario	Aluvión	Bloques Volcánicos con matriz tobácea
	Terciario	Grupo Padre Miguel	Andesitas y basaltos con lahares, tobas, areniscas y ceniza volcánica (limo y arcilla)
		Formación Subinal y/o Formación Valle de Ángeles	Conglomerados con areniscas y lutitas, con abundante hematita
Mesozoica	Cretácico	Grupo Yojoa, Formación Atima	Calizas masivas con cristales de calcita
Paleozoica	Carbonífero al Pérmico	Filitas San Diego (Grupo Chuacús)	Filitas con cuarzo, talco, micas, grafito y estaulorita

Los materiales en los alrededores del acuífero Ocotepeque – Citalá son diversos, van desde depósitos sedimentarios de calizas, rocas intrusivas, rocas volcánicas y elementos de deposición debido a la erosión de rocas volcánicas y material de caída (Figura 11). De esta manera podemos enlistar las unidades geológicas que predominan dentro de la zona de acción del ATOC, desde el más antiguo al más reciente. Existe una discordancia entre las abreviaturas de las formaciones geológicas de la región trifinio entre los documentos de (OIEA & Plan Trifinio, 2009) y (UNESCO-PHI/UICN, 2016), sin embargo, se realizó una revisión de la literatura para acoplar la información descrita por cada uno de los autores.

2.6.1.1. Formación Atima (Ky)

Es parte del conocido Grupo Yojoa, el cual se caracteriza por poseer calizas de origen marino dentro de una secuencia Mesozoica que se encuentra en Honduras ((Mills et. Al., 1967 en (OIEA & Plan Trifinio, 2009)); la formación Atima es la más desplegada del grupo Yojoa, y presenta espesores que varían desde 90 a 1430 m en el oriente de Honduras. La edad estimada ronda entre los 119 a 98 millones de años, siendo parte del Cretácico temprano. La edad se asigna

principalmente por la presencia de fósiles de rudistas, moluscos y foraminíferos (Martens et al., 2007 en (UNESCO-PHI/UICN, 2016)).

Las rocas calizas de esta formación son de color gris con abundantes cristales de calcita con alto fracturamiento distribuida en bloques métricos. Esta formación sobreyace discordantemente a las rocas metamórficas del Paleozoico y subyace a la Formación Subinal (Kva) y Grupo Padre Miguel (Pm) (UNESCO-PHI/UICN, 2016).

2.6.1.2. Formación Subinal (Kva)

Correspondiente al Grupo Valle de Ángeles (OIEA & Plan Trifinio, 2009), esta formación está compuesta por sedimentos de capas rojas que afloran en el Occidente de Honduras y se tiene presencia también en El Salvador sobre la carretera que va de Anguiatú a Metapán. Litológicamente hablando, la formación se presenta como una serie de conglomerados dispuestos en capas de coloración rojo, con contenido de clastos subredondeados (entre 1 a 20 cm) de calizas, serpentinita, cuarcita, filita, esquistos, gneis, anfíbolita y fragmentos de rocas volcánicas (Figura 12). La característica coloración rojiza se debe al alto contenido de hematita en las rocas (UNESCO-PHI/UICN, 2016).

Dentro de la secuencia estratigráfica de la región, la formación Subinal sobreyace discordantemente a las rocas metamórficas y calizas de la formación Atima. Por su parte, esta formación subyace a las rocas de la formación Padre Miguel (UNESCO-PHI/UICN, 2016). Según los estudios de (Giunta et al., 2002 en (UNESCO-PHI/UICN, 2016), los espesores de la formación rondan entre 750 a 1000 metros a nivel regional, no obstante, en la región de interés, al Este del ATOC, los espesores rondan entre los 100 a 300 metros.



Figura 12. Afloramiento de la capa Subinal, carretera a Esquipulas (Fuente: (UNESCO-PHI/UICN, 2016)).

2.6.1.3. Rocas Plutónicas (I)

Son aquellas rocas intrusivas que afloran en el área del Trifinio, estas se han podido encontrar en territorio de Guatemala y El Salvador. Las rocas Plutónicas más cercanas al área de influencia del ATOC se encuentran en el cerro El Marrano, jurisdicción de San Ignacio y a lo largo de la carretera de tierra Citalá – Metapán, en la jurisdicción de Citalá; ambos lugares en territorio salvadoreño (OIEA & Plan Trifinio, 2009).

Los intrusivos que se pueden encontrar en estos sitios son de edad Oligocena y su composición va desde dioritas porfídicas y gabro ((Hradecky, y otros, 2005) en (OIEA & Plan Trifinio, 2009)); Las dioritas (Figura 13) alcanzan una extensión de hasta 6.6 km^2 y poseen granulometría media, contando también con niveles intermedios de meteorización y fracturamiento, lo que permite la infiltración y circulación de los fluidos a través de la generación de permeabilidad secundaria de dicho cuerpo intrusivo (OIEA & Plan Trifinio, 2009).



Figura 13. Diorita cerca de Citalá, ubicada en corte de Carretera entre Citalá - Metapán (Fuente: (OIEA & Plan Trifinio, 2009))

2.6.1.4. Formación Padre Miguel (PM)

Esta unidad cuenta con afloramientos en la región oriental de Guatemala, Honduras y El Salvador. Se componen de secuencias de ignimbritas y lavas riolíticas – dacíticas parte de las formaciones Morazán y Chalatenango, las cuales están sobreyaciendo a los depósitos de las formaciones Atima y Subinal, y como presenta Wiesemann (1975) en (OIEA & Plan Trifinio, 2009) son correspondientes al Terciario inferior, aproximadamente con edades de 5 a 2 millones de años. Además, cabe mencionar que los complejos ignimbríticos y lávicos ácidos están intercalados con intrusiones de cuerpos granodioríticos y dioríticos (OIEA & Plan Trifinio, 2009).

Las rocas pertenecientes al complejo Padre Miguel, principalmente las tobas, ignimbritas y lavas félsicas de grano muy fino, poseen una intensa meteorización (Figura 14), derivada de las condiciones climáticas propias de la zona, específicamente por las altas cantidades de precipitaciones en las partes altas, esto facilita el transporte de agua a través de las fracturas en las lavas y brechas. A menudo, las rocas se descomponen y dan lugar a la formación de minerales arcillosos claros (Ibid.).



Figura 14. Afloramiento de rocas correspondientes al Grupo Padre Miguel (Fuente: (UNESCO-PHI/UICN, 2016))

2.6.1.5. Rocas Volcánicas Recientes (Qv1 o Tr1)

Según (UNESCO-PHI/UICN, 2016), esta unidad corresponde a rocas ígneas extrusivas que se localizan en toda la franja volcánica de Guatemala y forman los conos volcánicos recientes a lo largo de la cadena volcánica centroamericana. Esta unidad se encuentra al Sur del ATOC, en territorio salvadoreño correspondiendo a las formaciones Morazán y Chalatenango.

La unidad está compuesta por flujos de lava, tobas masivas y cenizas volcánicas, producto de conos compuestos y cineríticos extintos (). Las lavas son de características andesíticas de color gris, con textura afanítica porfirítica, con fenocristales de plagioclasa y ferromagnesianos, que se presentan en bloques métricos (UNESCO-PHI/UICN, 2016).



Figura 15. Afloramiento de tobas masivas correspondientes a la unidad de vulcanismo reciente. (Fuente: (UNESCO-PHI/UICN, 2016)).

Estratigráficamente la unidad Qv1 sobreyace al grupo Padre Miguel. Los resultados de estudios geofísicos estiman que el espesor de la unidad tiene un promedio de 60 m en el área del valle de Ocoatepeque – Citalá. En cuanto a la edad de esta unidad geológica, se puede ubicar en el Cuaternario Inferior, en la época del Pleistoceno, aproximadamente 1.8 millones de años a 10000 años (Ibid.).

2.6.1.6. Depósitos Aluviales (Qal)

La unidad comprende bloques de materiales volcánicos de forma subredondeada (cantos rodados), con tamaños entre 5 a 50 centímetros, productos de la actividad de las corrientes fluviales de las partes superiores del territorio (Figura 16). La matriz del aluvión es tobácea, de color café claro, con presencia de gravas y arenas, se adicionan a esta los fragmentos de rocas volcánicas grises, producto de rocas como basalto, andesitas y riolitas, cuarzo, feldespatos y obsidiana, con forma subangular y redondeadas (UNESCO-PHI/UICN, 2016).



Figura 16. Depósitos aluviales correspondientes a la unidad Qal de la región trifinio (Fuente: Fotografía propia).

Es la unidad más joven de la región trifinio, correspondiendo al Cuaternario reciente. Estratigráficamente sobreyace concordantemente a las rocas volcánicas del Grupo Padre Miguel y presenta un espesor de unos 30 m. (Ibid.).

2.6.2. Geomorfología de la zona ATOC

En la región trifinio los procesos geomorfológicos que se presentan están vinculados con la dinámica y procesos endógenos y exógenos que se desarrollan a nivel regional. Los procesos endógenos están relacionados con las fuerzas internas y edificadoras de la corteza terrestre. Una de estas fuerzas está relacionada por la tectónica compleja y activa ligada la dinámica de los movimientos transcurrentes sinestrales de las placas de Norteamérica y la del Caribe, a través del sistema de fallas Motagua – Polochic. Las fuerzas dinámicas existentes en la región están ligadas a la generación del Arco Volcánico Pilo – Pleistocénico hasta el Holoceno, además del volcanismo

que se da atrás del arco volcánico. Este último caso es de importancia fundamental para la infiltración, circulación y almacenamiento de aguas subterráneas (OIEA & Plan Trifinio, 2009).

Proceso de levantamiento en la región del Trifinio: Montecristo – Las Pilas - Gracias

El territorio del área del Trifinio se extiende abarcando varios macizos montañosos dentro de las fronteras de Guatemala, El Salvador y Honduras, tales como el Macizo Montecristo y el Macizo El Pital, que son considerados las morfoestructuras principales del Trifinio. La región está principalmente formada por relieve montañoso de altitudes entre 1000 hasta 2700 msnm. La cumbre más alta del área circundante del ATOC es el cerro El Pital, al Este – Sureste del valle de Ocotepeque – Citalá. Ambos macizos montañosos están limitados desde el Este y Oeste por morfologías del tipo graben de rumbo N – S; el más conocido es el graben de Ipala en Guatemala, el cual se data en el cuaternario (Manton, 1987). Hacia el Este de Ipala se encuentran los grabenes de Ocotepeque – Citalá (Figura 17) y Sensenti, también con rumbo N – S y con edad Plio – Pleistoceno; estos grabenes está formados por fallas del tipo “pull apart” (Ibid.).

El levantamiento de la región trifinio trae como consecuencia esfuerzos extensionales que producen estructuras hundidas y elevadas (grabenos y horst), las cuales se orientan preferencialmente de Norte a Sur y modifican el relieve topográfico rejuveneciéndolo, acondicionan los ríos y aumentan la energía cinética de estos y se incrementa la capacidad de erosión (OIEA & Plan Trifinio, 2009).

Alrededor de las morfoestructuras principales, podemos encontrar una serie de niveles de denudación, los cuales se caracterizan por su nivelación y por tener diferentes grados de meteorización de la roca. Su origen corresponde, posiblemente, a los periodos de calma tectónica y a ciclos climáticos que facilitaron la nivelación. A estos niveles de superficie erosionados los conoceremos como paleorelieves ((Sebesta, 2006) en (OIEA & Plan Trifinio, 2009)).

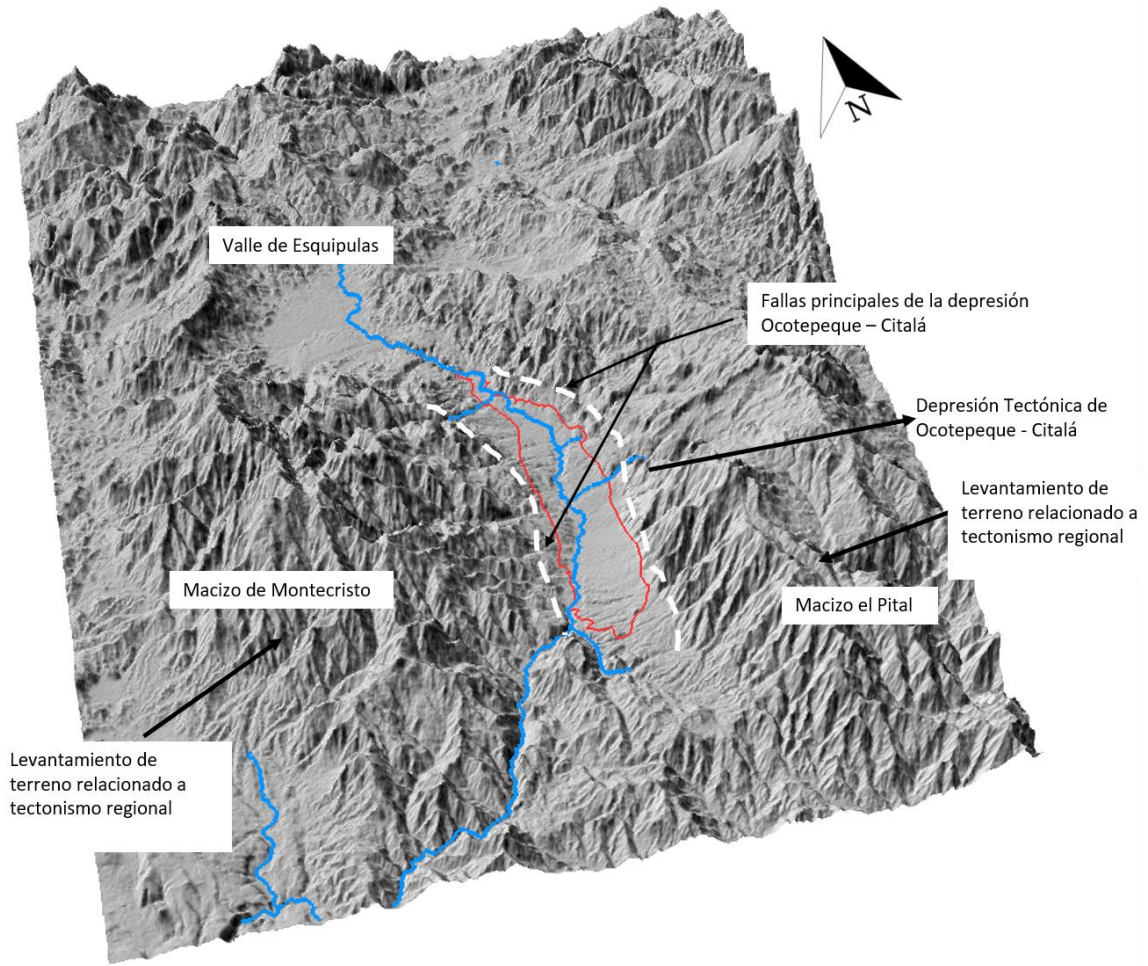


Figura 17. Elementos geomorfológicos de importancia en la región del ATOC. Basado en la descripción de (Manton, 1987). En rojo se detalla el límite del ATOC, la línea punteada blanca muestra los segmentos de falla relacionados al levantamiento del terreno y la formación de grabenes con rumbo N – S (Elaboración Propia).

El área correspondiente al ATOC el nivel de paleorelieve que se encuentra a unos 1000 msnm, y cubre áreas de gran extensión. El río Lempa y los ríos tributarios erosionan el extenso resto del paleorelieve en la zona y lo denudan continuamente. Según la investigación realizada por (OIEA & Plan Trifinio, 2009) en la localidad de San Ignacio – Citalá – Ocotepeque existen, a su vez, por encima del nivel del cauce del río Lempa, terrazas de gravas, cantos rodados, guijarros y arenas de conos aluviales de varias generaciones. Aunque la edad de estos depósitos es indeterminada aún, pueden ayudar a determinar la edad del paleorelieve aplanado de la zona (Ibid.).

2.7. Hidrogeología

Los estudios hidrogeológicos de la región se resumen a investigaciones realizadas por instituciones estatales de Guatemala, Honduras y El Salvador. El principal alcance de los estudios ha sido localizar acuíferos para perforación de pozos de abastecimiento, delimitación de cuencas, calidad de agua, peligros de contaminación y estudios de balance hídrico (OIEA & Plan Trifinio, 2009).

El proyecto realizado por el OIEA en el año 2009 se encargó de la elaboración del mapa hidrogeológico de la región trifinio; la base del mapa hidrogeológico es el mapa geológico de la región trifinio, en la identificación de las diferentes unidades se realizó una caracterización de los materiales, con los que se pretendía identificar las unidades con potencial acuífera.

Para definir los diferentes horizontes hidrogeológicos se implementaron estudios de resistividad eléctrica por medio de Sondeos Eléctricos Verticales (SEV); estos estudios se realizaron principalmente en los valles de Jutiapa, El Progreso, Laguna de Retana, Monjas, Agua Blanca y Asunción Mita (OIEA & Plan Trifinio, 2009).

El mapa hidrogeológico presenta la existencia de tres grandes unidades hidrogeológicas presentes en los alrededores de la región Trifinio (Figura 19). Estas unidades se definen como: **a) Unidad Hidrogeológica “Acuíferos porosos” (Porosidad Primaria); b) Unidad Hidrogeológica “Acuíferos Fracturados”; c) Unidad Hidrogeológica “Rocas Fracturadas de Baja Porosidad”** (Ibid.).

Las características de estas unidades tal cual lo define (OIEA & Plan Trifinio, 2009) , se detalla a continuación:

2.7.1. Unidad Hidrogeológica “Acuíferos Porosos”:

Se definen como Acuíferos Porosos a aquellos acuíferos que están formado por sedimentos aluvionales, conformados por clastos de tamaño desde cantos rodados, gravas, arenas y con algunas intercalaciones arcillosas, estos aluviones son usualmente transportados por los ríos. Los espesores de los sedimentos en los valles de la región tienen varían entre 29 y 80 m.

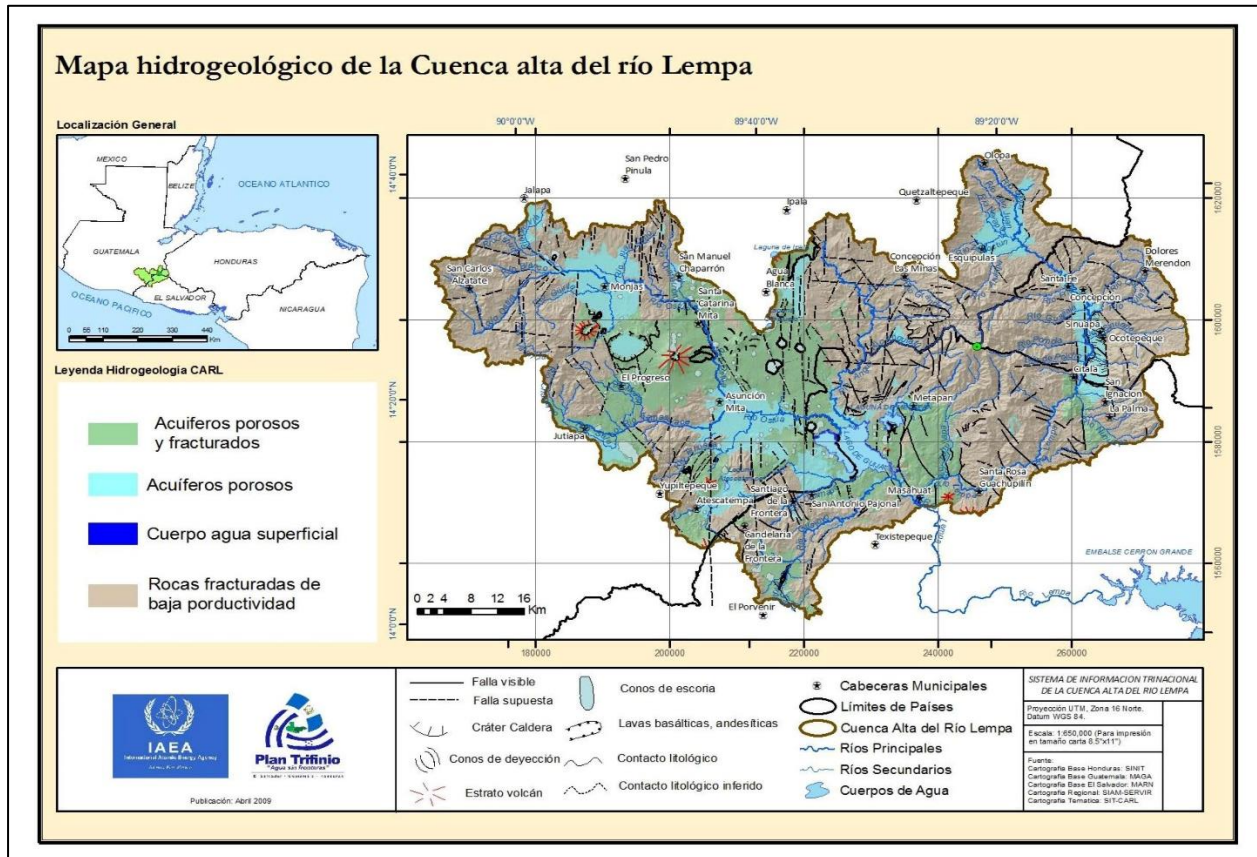


Figura 18. Mapa hidrogeológico de la región Trifinio (Fuente: (OIEA & Plan Trifinio, 2009))

2.7.2. Unidad Hidrogeológica “Acuíferos Fracturados”:

Los Acuíferos Fracturados se constituyen principalmente de vulcanitas y rocas con fracturación que le confiere porosidad secundaria. Su aprovechamiento principal se realiza por medio de manantiales. Las zonas con mayor cantidad de acuíferos fracturados se ubican al Oeste de la CARL.

2.7.3. Unidad Hidrogeológica “Rocas Fracturadas de Baja Porosidad”:

Son la unidad hidrogeológica más grande en la región del Trifinio. Está formada por rocas volcánicas fracturadas con bajo potencial acuífero, sin embargo, esta unidad es aprovechada por la población porque genera numerosos manantiales.

2.7.4. El acuífero del valle de Ocotepeque - Citalá

El acuífero Ocotepeque – Citalá está dentro de la categorización de “Acuíferos Porosos” (Figura 19), característico de materiales de depositación fluvial de entre 6 a 20 m. de espesor (OIEA & Plan Trifinio, 2009), a los alrededores del ATOC, se presencian rocas no acuíferas fracturas de baja porosidad; solamente al Sur del acuífero del valle de Ocotepeque – Citalá, se aprecian unidades acuíferas fracturadas.

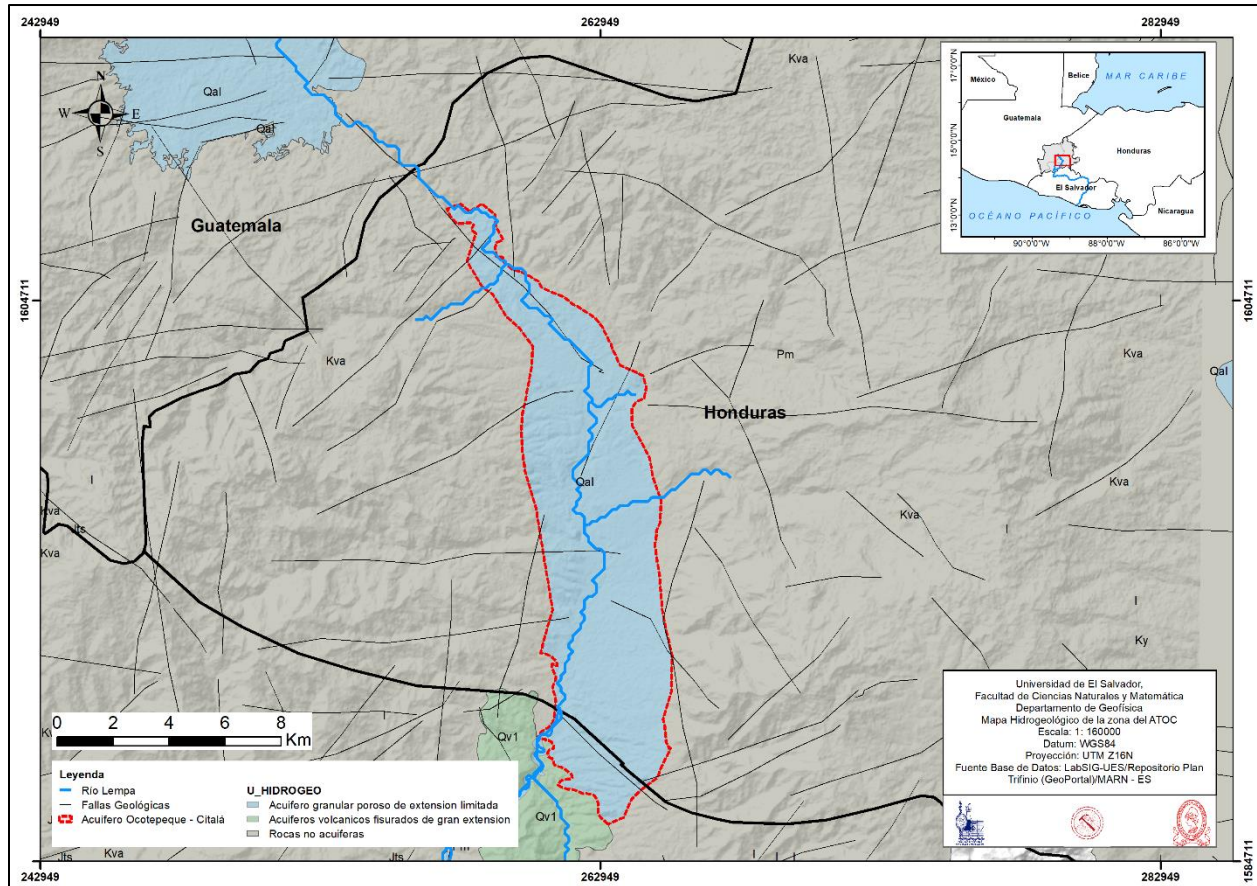


Figura 19. Mapa hidrogeológico del ATOC. (Fuente: Elaboración propia)

2.8. Balance Hídrico

Un estudio de balance hídrico se refiere a la aplicación del principio de conservación de la masa en el contexto hidrogeológico, el cual usualmente se conoce como ecuación de continuidad. Esta ecuación establece que, para un volumen arbitrario y durante un periodo de tiempo cualquiera, la diferencia entre las entradas y salidas totales serán iguales a la diferencia del almacenamiento de agua dentro del volumen establecido (Sokolov & Chapman, 1974).

Consecuentemente, según (Sokolov & Chapman, 1974) el balance hídrico para cualquier cuerpo de agua y cualquier intervalo de tiempo puede representarse por la siguiente fórmula:

$$P - E - Q - \Delta S - \eta = 0 \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde: P, representa la precipitación que cae en la superficie; E, es la evaporación; Q, representa las descargas del río en una cuenca; ΔS , es el almacenamiento de agua y; η , es un término de discrepancia o incertidumbre (Sokolov & Chapman, 1974).

Autores como (Schosinsky, 2006), implementan los principios del balance hídrico para calcular los valores de recarga potencial de un acuífero; así mismo, en su documento propone una metodología para realizar un balance hídrico de suelos que se acopla de buena manera a la región centroamericana. En esta investigación se seguirá la metodología propuesta por Schosinsky para calcular el balance hídrico del acuífero Ocotepeque – Citalá.

2.8.1. Balance Hídrico de Suelos (Método de Schosinsky)

El método de Schosinsky fue desarrollado para determinar la recarga potencial al acuífero mediante un balance de suelos. El balance de suelos se basa en el principio de conservación de la materia. Es decir que el agua que entra al suelo es igual al agua que se almacena, más el agua que sale de él. Las entradas son debidas a la infiltración del agua hacia el suelo, y las salidas se deben a la evapotranspiración de las plantas, más la descarga de los acuíferos por los diferentes métodos que existen (Schosinsky, 2006).

El método utiliza parámetros como la temperatura, precipitación, la precipitación interceptada por el follaje, la capacidad de infiltración del suelo, capacidad de campo y punto de marchitez, cobertura vegetal y la pendiente del terreno como datos de entrada para el cálculo. Schosinsky, considera a su vez datos relacionados a las características de los suelos y las profundidades de raíces para la generación de los valores del balance hídrico.

La Figura 20 presenta el esquema con el que el método de Schosinsky permite el cálculo de la recarga potencial del acuífero.

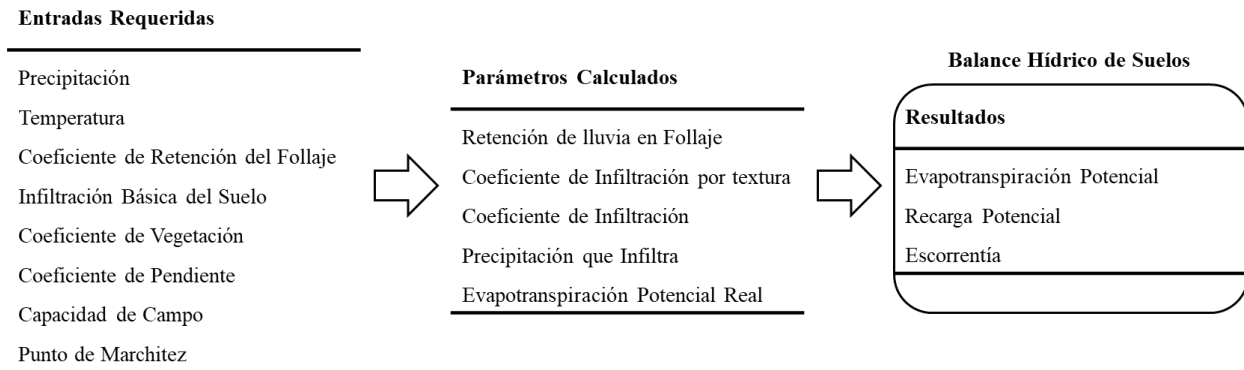


Figura 20. Parámetros de entrada, calculados y resultantes de la metodología de Schosinsky para el Balance Hídrico de Suelos (Fuente: Elaboración propia).

La descripción de los parámetros de entrada más importantes se detalla a continuación, así como los parámetros calculados que utilizan estos datos de entrada, basándose en información proveniente de diferentes fuentes bibliográficas relacionadas al tema.

2.8.1.1. Coeficiente de Retención del follaje (Cfo)

El proceso de infiltración de la precipitación en el suelo no es tan sencillo como se pensaría, para que la precipitación llegue hasta el subsuelo debe de pasar una cantidad de obstáculos que van desde ramas de árboles, raíces, elementos antropogénicos, etc. Por otro lado, aquellas lluvias menores de 5 mm. mensuales, no van a generar infiltración ya que se considera que, en un mes con lluvia, al menos 5 mm son retenidos por el follaje sin llegar al suelo para infiltrar ni escurrir (Schosinsky & Losilla, 2000) . Además, según (Butler, 1957 en (Schosinsky, 2006)) la retención de lluvia en follajes es del 12% de la precipitación mensual. Sin embargo, en bosques muy densos, la retención de la lluvia se considera un 20% (Linsley y otros, 1958 en (Schosinsky, 2006)).

Teniendo en consideración lo anterior, se define el Coeficiente de Follaje (Cfo) como el porcentaje de la lluvia mensual que es retenido en el follaje, expresado en tanto por uno (Schosinsky, 2006). De esta manera, tendremos que $Cfo = 0.20$ para bosques muy densos y, $Cfo = 0.12$ para cualquier otro tipo de ocupación vegetal (Ídem.).

Con el valor de Cfo y la Precipitación (P) de una región específica, se puede determinar el valor de la Retención de lluvia en el follaje (Ret), el cual tiene unidades de [mm/mes], por medio de la Ecuación 2.

Si $P \leq 5 \text{ mm/mes}$, entonces $Ret = P$

Si el producto $(P)(Cfo) \geq 5 \text{ mm/mes}$, $Ret = (P)(Cfo)$ Ecuación 2

Si $P > 5 \text{ mm/mes}$ y el producto $(P)(Cfo) < 5 \text{ mm/mes}$, $Ret = 5$

2.8.1.2. Infiltración

La infiltración es el proceso mediante el cual el agua penetra desde la superficie del terreno hacia el suelo (Chow, Maidment, & Mays, 1994). El agua que penetra atraviesa el terreno y ocupa total o parcialmente los poros del suelo o de las formaciones geológicas subyacentes (Custodio & Llamas, 2001). Son muchos los factores que influyen en la tasa de infiltración, incluyendo la condición de la superficie del suelo, cubierta vegetal, las propiedades del suelo, tales como la porosidad y la conductividad hidráulica, y el contenido de humedad presente en el suelo. La infiltración es un proceso muy complejo que puede describirse mediante ecuaciones matemáticas solamente en forma aproximada (Chow, Maidment, & Mays, 1994).

Entre los factores que más influyen en la infiltración de la lluvia en el suelo, podemos mencionar al coeficiente de infiltración por textura de suelo (Kfc), el cual según (Schosinsky & Losilla, 2000), definen por la ecuación:

$$Kfc = 0.267(\ln(fc)) - 0.000154(fc) - 0.723 \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde fc [mm/día] = infiltración básica del suelo. La cual es obtenida por medio de métodos de campo de infiltración. Se sugiere que el valor se obtenga por medio del método del doble anillo, Porchet o Permeámetro de Guelph. El valor de Kfc , fue derivado para los valores de lluvia mensual. Por lo tanto, la fracción que infiltra debido a la textura del suelo nos permite obtener la infiltración mensual debido a este concepto (Schosinsky, 2006).

La Ecuación 3, posee ciertas condiciones de aplicación basadas en valor de fc . Así, si fc se encuentra entre 16 – 1568 mm/día, aplicaremos la Ecuación 3; sin embargo, para valores de fc menores a 16 mm/día, utilizaremos $Kfc = 0.0148 (fc)/16$. Y para valores mayores a 1568 mm/día, $Kfc = 1$.

Para determinar la cantidad de agua que infiltra mensualmente hacia el suelo, se requiere conocer el Coeficiente de infiltración (Ci); el cual está influenciado por el coeficiente de infiltración por textura del suelo (Kfc), la pendiente del terreno (Kp) y, la cobertura vegetal (Kv). Por medio de la Ecuación 4, propuesta por ((ONU, 1972) en (Schosinsky, 2006)) podemos determinar el valor del Ci .

$$Ci = Kp + Kv + Kfc \quad \text{Ecuación 4}$$

Los valores de los coeficientes de infiltración por pendiente del terreno (Kp) y por cobertura vegetal (Kv) propuestos son resumidos en la Tabla 8, generada por ((ONU, 1972) en (Schosinsky, 2006)).

Tabla 8. Componentes del Coeficiente de Infiltración (Ci) (Fuente: (Schosinsky & Losilla, 2000))

Por pendiente	Pendiente [%]	Kp
Muy plana	0.02 - 0.06	0.30
Plana	0.3 - 0.4	0.20
Algo Plana	1 .0 - 2.0	0.15
Promedio	2.0 - 7.0	0.10
Fuerte	> 7.0	0.06
Por Cobertura Vegetal		Kv
Cobertura con Zacate < 50%		0.09
Terrenos Cultivados		0.10
Cobertura con Pastizal		0.18
Bosques		0.20
Cobertura con Zacate > 75%		0.21

De los tres coeficientes anteriormente mencionados, solo el coeficiente de infiltración por textura del terreno necesita una medición de campo directa para poder hacer el cálculo de su valor; como se mencionó previamente, los métodos sugeridos por (Schosinsky, 2006) para obtener el valor de

(f_c) y consecuentemente Kf_c , son el método de doble anillo, método de Porchet y por medio del permeámetro de Guelph. A continuación, se desarrollará una explicación de cada uno de los métodos.

Permeámetro de Guelph

El permeámetro Guelph se utiliza para la medida en el campo en zona insaturada de la conductividad hidráulica saturada de campo; aunque con el permeámetro Guelph se puede medir la infiltración acumulada y la tasa de infiltración (Gabriels, Lobo, & Pulido, 2011).

El permeámetro de Guelph simula un pozo de carga constante que hace uso del principio Mariotte. Con este aparato se mide la penetración a velocidad constante de agua en el suelo no saturado desde un pozo cilíndrico, en el cual se mantiene una carga constante de agua ((Reynolds & Elrick, 1985) en (Gabriels, Lobo, & Pulido, 2011)). En el suelo se forma un bulbo con dimensiones que depende de tipo de suelo, radio del pozo y de la carga de agua en el pozo (Figura 21).

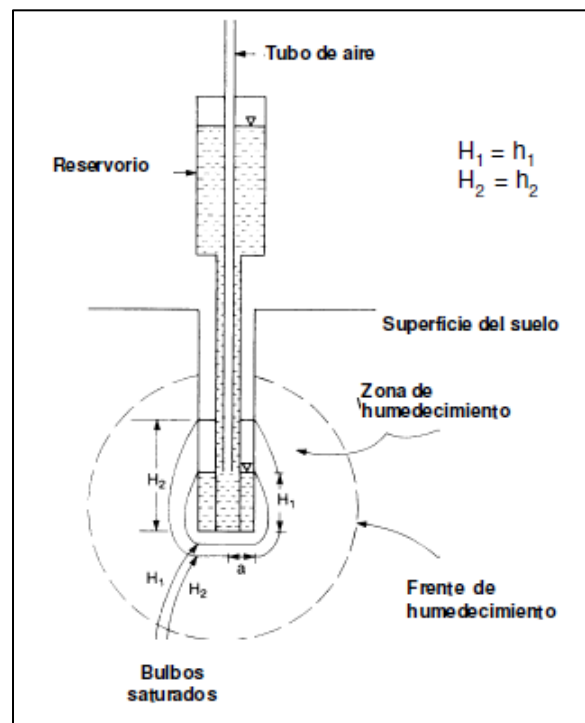


Figura 21. Esquema del Permeámetro de Guelph (Fuente: (Elrick & Reynolds, 1992) en (Gabriels, Lobo, & Pulido, 2011))

El valor de la conductividad hidráulica saturada se puede obtener por medio de la resolución de la ecuación de Richards:

$$K_{fs} = \frac{CAq}{2\pi h^2 + C\pi a^2 + \left(2\pi \left(\frac{h}{\alpha^*}\right)\right)} \quad \text{Ecuación 5}$$

Donde: C, es el factor de forma adimensional que se obtiene de h/a; A, es el área de la sección transversal del reservorio del permeámetro [m^2]; q, es el estado estable de la caída del nivel de agua en el reservorio del permeámetro [$m \cdot s^{-1}$]; h, es la profundidad de agua en el pozo [m]; a, es el radio del pozo [m]; α^* , es el parámetro de textura/estructura [m^{-1}].

El valor del parámetro de textura/estructura (α^*) se puede conocer a través de la Tabla 9; mientras que el factor de forma (C) se puede conseguir por la Figura 22

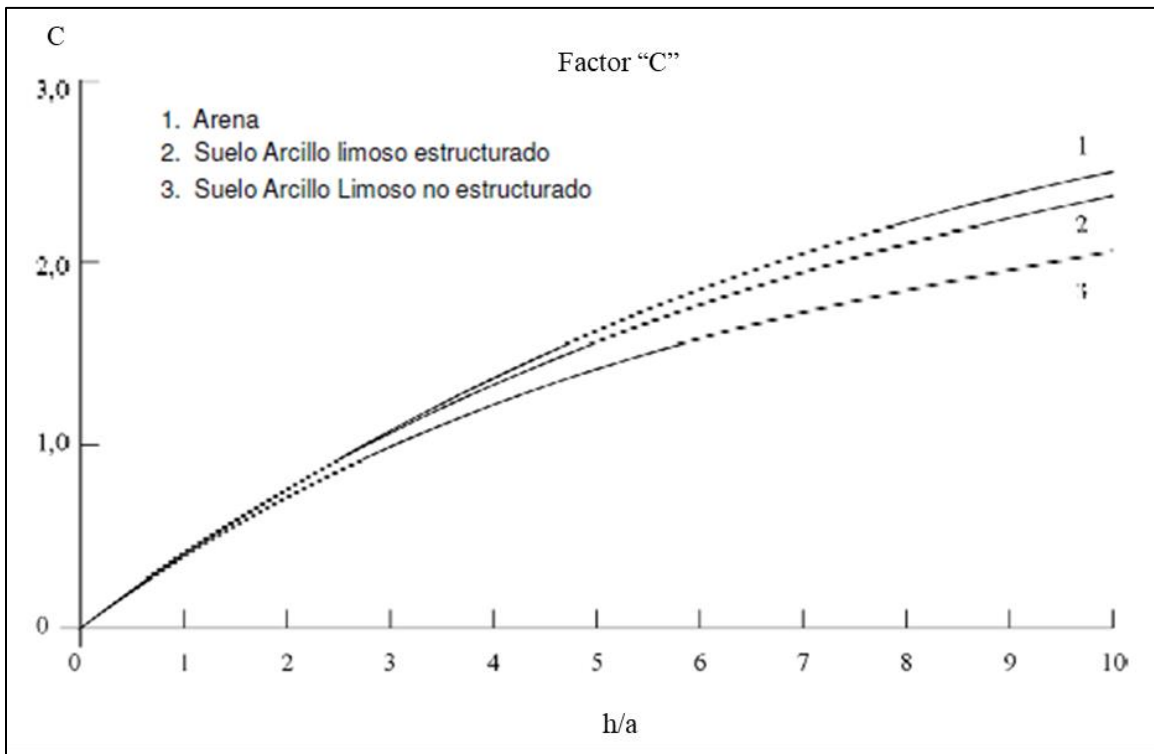


Figura 22. Escala del factor C en función de h/a (Fuente: Reynolds & Elrick, 1987 en (Gabriels, Lobo, & Pulido, 2011)).

Tabla 9. Categorías de medios porosos usados para la estimación de α^* (Fuente: Elrick et al, 1989 en (Gabriels, Lobo, & Pulido, 2011))

Categoría del medio poroso	Valor de α (1/m)
Materiales compactados, arcillosos o limosos poco estructurados, tales como sedimentos marinos o lacustrinos, materiales de relleno, etc.	1
Suelos que tienen textura fina y sin estructura	4
La mayor parte de los suelos estructurados des arcillas, pasando por francos, además incluyendo arenas finas y gruesas desestructurados. Categoría más frecuentemente aplicada a suelos agrícola	12
Suelos pedregosos y arenas gruesas, pueden además incluir algunos suelos con buena estructura con grandes grietas y macroporos.	36

Método del doble Anillo

El método consiste en dos cilindros separados, usados para determinar la tasa de infiltración, la infiltración acumulada y la conductividad hidráulica saturada ((Baufer, 1986; Reynolds et al., 2001) en (Gabriels, Lobo, & Pulido, 2011)). El método consiste en dos anillos concéntricos enterrados en el suelo, los cuales son rellenados de agua una altura x (Figura 23)

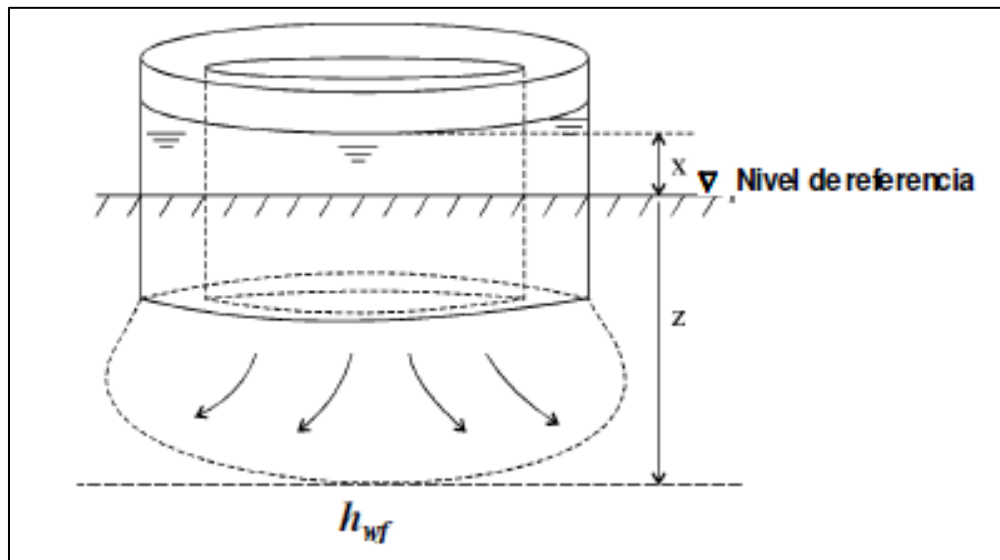


Figura 23. Esquema del infiltrómetro de doble anillo (Fuente: (Hartmann, 2000) en (Gabriels, Lobo, & Pulido, 2011))

Los dos cilindros concéntricos son instalados con el propósito de reducir el flujo lateral en el cilindro interno. La tasa de infiltración en el cilindro interno se asume que sea una indicación del flujo vertical. Consiste en enterrar parcialmente un anillo de diámetro en el suelo y colocar una lámina de agua de inundación constante o variable dentro de él. Se mide cuánta agua penetra en el suelo por unidad de área y tiempo (Gabriels, Lobo, & Pulido, 2011).

La tasa de infiltración final constante puede ser dada usando la ley de Darcy:

$$q = K_T \left(\frac{h_{wf} + z + x}{z} \right) \quad \text{Ecuación 6}$$

Donde: q , es la tasa de infiltración; K_T , corresponde a la conductividad hidráulica de la zona de transmisión; h_{wf} , es el valor absoluto de la carga de presión en el frente de humedecimiento; z , es el espesor de la zona de transmisión; x , carga de agua en el anillo interior del infiltrómetro.

2.8.1.3. Capacidad de Campo y Punto de Marchitez

Entre los parámetros de entrada del balance hídrico de suelos por medio de la metodología de Schosinsky están la Capacidad de Campo (CC) y el Punto de Marchitez (PM), ambos parámetros son indispensables para poder calcular correctamente la evapotranspiración real, el cual es también un parámetro importante para conocer el balance hídrico de la región a estudiar. A continuación, se definirán los conceptos y ecuaciones que rigen dichos argumentos.

Capacidad de Campo

Se define como capacidad de campo a la cantidad de agua contenida en el suelo después de que el exceso de agua gravitatoria se ha drenado y posterior a que el movimiento hacia abajo haya disminuido ((Veihmeyer & Hendrickson, Methods of Measuring Field Capacity and Permanent Wilting Percentage of Soils, 1949) en (Novák & Havrila, 2006)).

El concepto anteriormente enunciado, no es esencialmente tan diferente al sugerido por (Schosinsky, 2006), el cual lo define como “la máxima humedad que puede tener un suelo que no

se encuentre saturado”, esto significa que es cuando la planta tiene la máxima capacidad de transpiración. Los valores de la capacidad de campo de diferentes texturas de suelo se presentan en la Tabla 10, dichos valores se estandarizan para la implementación de la metodología de Schosinsky.

Punto de Marchitez

El otro factor de interés es el punto de marchitez, la definición de este término fue acotada por (Veihmeyer & Hendrickson, 1927) en su investigación, a partir del término “coeficiente de marchitez” de Bring & Shantz, y el cual se resume como “el contenido de agua del suelo por debajo del cual una planta no puede obtener agua del suelo de manera efectiva” (Novák & Havrila, 2006).

Por su parte (Schosinsky, 2006), se refiere al punto de marchitez como “La mínima humedad que puede tener un suelo”, pues esto indica que con humedades menores una planta muere. De esto último se deduce que, en un suelo no saturado, a profundidades mayores que la profundidad de las raíces se encuentra a capacidad de campo.

Al igual que los valores de capacidad de campo, los valores correspondientes a las diferentes texturas de suelo del punto de marchitez se presentan en la Tabla 10.

Tabla 10. Capacidad de campo en porcentaje por peso de suelo seco de diferentes texturas de suelos (Fuente: Modificado de (Grassi, 1976) en (Schosinsky, 2006)).

Textura del Suelo	Porcentaje por peso del suelo seco		
	PMP%	CC%	Densidad Aparente [g/cm^3]
Arenoso	2 – 6	6 – 12	1.55 - 1.80
Franco - Arenoso	4 – 8	10 – 18	1.40 - 1.60
Franco	8 – 12	18 – 26	1.35 - 1.50
Franco - Arcilloso	11 – 15	23 – 31	1.30 - 1.40
Arcilloso - Arenoso	13 – 17	27 – 31	1.25 - 1.35
Arcilloso	15 – 19	31 – 39	1.20 - 1.30

Profundidad de Raíces

La forma natural de extracción de agua del suelo es mediante la transpiración de las plantas. Dicha extracción se realiza mediante las raíces (Schosinsky, 2006); por lo tanto, la extracción de agua se realizará en una franja de suelo que tiene una profundidad igual a la mostrada en la Tabla 11

Tabla 11. Profundidad de raíces de diferentes cultivos (Fuente: (Grassi, 1976) en (Schosinsky, 2006))

Profundidad de Raíces	
Cultivo	Profundidad [m]
Alfalfa (Pastos)	1 - 2
Algodón	1 - 1.7
Banano	0.5 - 0.8
Caña de Azúcar	1.2 - 2
Frijol	0.5 - 0.7
Cebolla	0.3 - 0.5
Cítricos	1.2 - 2.0
Zacate	0.3 - 0.5
Bosques	2.0 - 3.0

2.8.1.4. Evapotranspiración Potencial

El término evapotranspiración potencial fue introducido por Thornwaite (1944) y lo define como “la pérdida de agua, que ocurrirá si en ningún momento hay una deficiencia de agua en el suelo para el uso de la vegetación” (Fetter, 2000).

Según (Schosinsky, 2006) La evapotranspiración en una zona de cultivo se define como la transpiración de la planta, cuando el suelo se encuentra a capacidad de campo, más la evaporación del suelo.

La mayor pérdida de agua debido a la evapotranspiración toma lugar durante los meses de época seca, con pequeñas o casi nulas pérdidas durante la época lluviosa. Debido a que usualmente no se encuentra suficiente agua disponible en suelo, el término **Evapotranspiración real** es usado para describir la cantidad de evapotranspiración que ocurre bajo condiciones de campo (Fetter, 2000).

La Figura 24, muestra la diferencia entre el comportamiento de la evapotranspiración potencial y la evapotranspiración real.

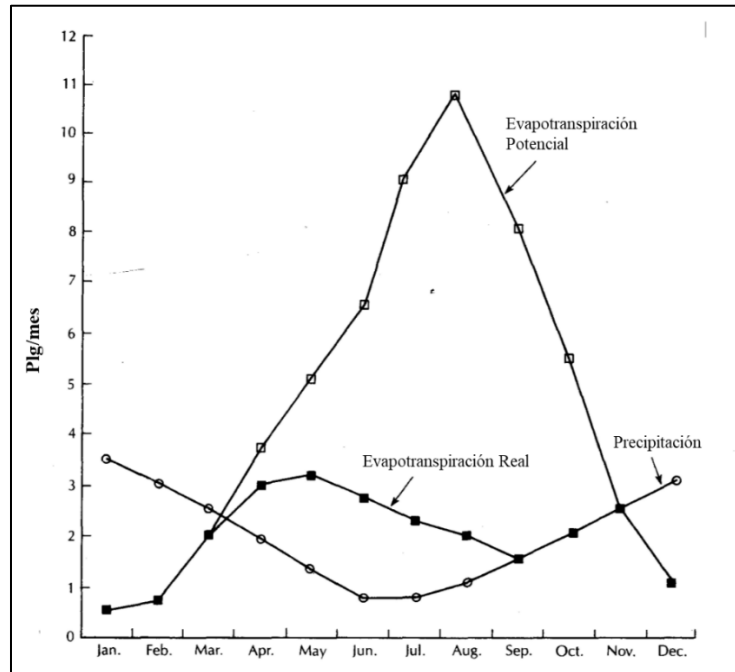


Figura 24. Diagrama de evapotranspiración potencial y real en un área con suelo grueso con almacenamiento limitado (Fuente: Modificado de (Fetter, 2000))

Para el cálculo de la evapotranspiración potencial, existen una serie de ecuaciones, algunas de ellas requieren una serie de datos, que pocas estaciones meteorológicas los tienen. Por este motivo, se utilizará la ecuación de Blaney & Criddle ((ONU, 1972) en (Schosinsky, 2006)):

$$ETP[mm/mes] = (8.10 + 0.46(T))(Ps) \quad \text{Ecuación 7}$$

Donde: ETP , es la evapotranspiración potencial en [mm/mes]; T , es la temperatura media mensual en [°C]; Ps , porcentaje de horas luz solar mensual, con respecto al año [%].

2.8.1.5. Cálculos del Balance Hídrico

Los cálculos necesarios para crear el balance hídrico por medio del método de Schosinsky, se resumen en la Tabla 12; se han omitido los cálculos que solo implican la entrada de datos de campo.

Tabla 12. Resumen de Parámetros calculados para el balance hídrico de suelos por la metodología de Schosinsky (Fuente: Elaboración propia con base a la información de (Schosinsky, 2006)).

Concepto	Símbolo	Ecuación General
Coefficiente de Infiltración por Textura del suelo	K_{fc}	$K_{fc} = 0.267(\ln(fc)) - 0.000154(fc) - 0.723$
Coefficiente de Infiltración	C_i	$\text{Si } K_p + K_v + K_{fc} > 1 \rightarrow C_i = 1$ $\text{Si } K_p + K_v + K_{fc} \leq 1 \rightarrow C_i = K_p + K_v + K_{fc}$
Humedad de Suelo Inicial	H_{si}	$H_{si} = CC$
Retención de Lluvia	Ret	$\text{Si } P < 5 \text{ mm/mes} \rightarrow Ret = P$ $\text{Si } (P)(C_{fo}) \geq 5 \text{ mm/mes} \rightarrow Ret = (P)(C_{fo})$ $\text{Si } P > 5 \text{ mm/mes y } (P)(C_{fo}) < 5 \rightarrow Ret = 5$
Precipitación que infiltra	P_i	$P_i = (C_i)(P - Ret)$
Escorrentía Superficial	ESC	$ESC = P - Ret - P_i$
Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR	C_1	$C_1 = \frac{H_{si} - PM + P_i}{CC - PM}$
Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurra ETR	C_2	$C_2 = \frac{H_{si} - PM + P_i - ETR_1}{CC - PM}$ <p>Donde: $ETR_1 = (C_1)(ETP)$</p>
Humedad Disponible	HD	$HD = H_{si} + P_i - PM$
Evapotranspiración Real	ETR	$ETR = \left(\frac{C_1 + C_2}{2} \right) (ETP)$ $ETR = HD$
Humedad de Suelo Final	H_{sf}	H_{sf}
Recarga Potencial	R_p	$R_p = P_i + H_{si} - H_{sf} - ETR$
Déficit de capacidad de campo	DCC	$DCC = CC - H_{sf}$
Necesidad de Riego	NR	$NR = DCC - ETR + ETP$

2.8.1.6. Recarga Potencial

La recarga al acuífero se lleva a cabo, si la cantidad de agua que infiltra es suficiente para llevar al suelo a capacidad de campo y además satisfacer la evapotranspiración de las plantas. El agua sobrante, una vez satisfecha la capacidad de campo y la evapotranspiración, es la que recarga al acuífero, la que se calcula con la Ecuación 8.

$$R_p = P_i + H_{Si} - H_{Sf} - ETR \quad \text{Ecuación 8}$$

Con los parámetros anteriormente mencionados y los cálculos que se resumen en la Tabla 12, se tiene la información suficiente para determinar el balance hídrico de suelos de una cuenca o acuífero. La metodología de Schosinsky se acopla a las condiciones de toda la región centroamericana, por lo que su implementación en el país es adecuada.

2.9. Sistemas de Información Geográficos

Los Sistemas de Información Geográficos (SIG) son sistemas computarizados que facilitan las fases de entrada, análisis y presentación de datos, especialmente en casos donde la información se encuentra georreferenciada (de By, y otros, 2004).

Un SIG tiene la capacidad de capturar y preparar datos, administrar, almacenar y mantener, manipular y analizar y, por supuesto, presentar la información (Ibid.) que el usuario le provee.

La información de los SIG puede ser representada por al menos tres tipos de información: 1) puntos; 2) líneas; 3) polígonos y; 4) estructuras 3D (Figura 25).

Existe una gran variedad de formatos de archivos geoespaciales, los más famosos de ellos son el *shapefile* (.shp) de la compañía ESRI, así como *geodatabase* (gdb). Entre ellos también se encuentra la información de tipo *ráster*.

(de By, y otros, 2004) definen al ráster como una serie de celdas espaciadas regularmente que contienen información específica, la cual puede estar o no georreferenciada.

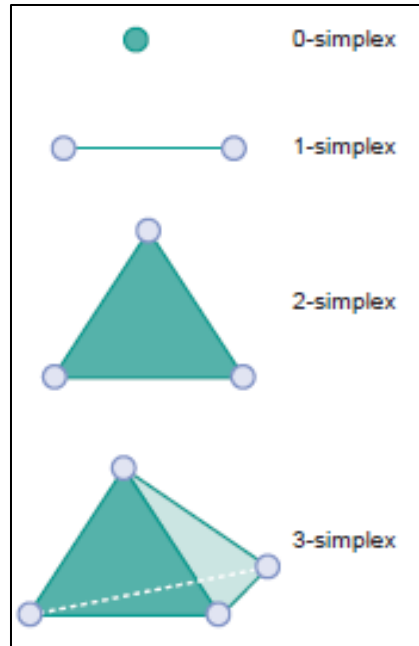


Figura 25. Representación básica de la información en SIG (Fuente: (de By, y otros, 2004))

En el estudio de la hidrogeología los SIG se convierten en una parte fundamental para el desarrollo de diferentes procesos que conllevan la delimitación y cálculos de parámetros relacionados al ciclo hidrológico. Principalmente, se requiere de modelos de elevación digital (DEM, por sus siglas en inglés), con los cuales se puede crear modelos de pendiente, delimitar cuencas y crear modelos de la geomorfología de la región de estudio, entre otros.

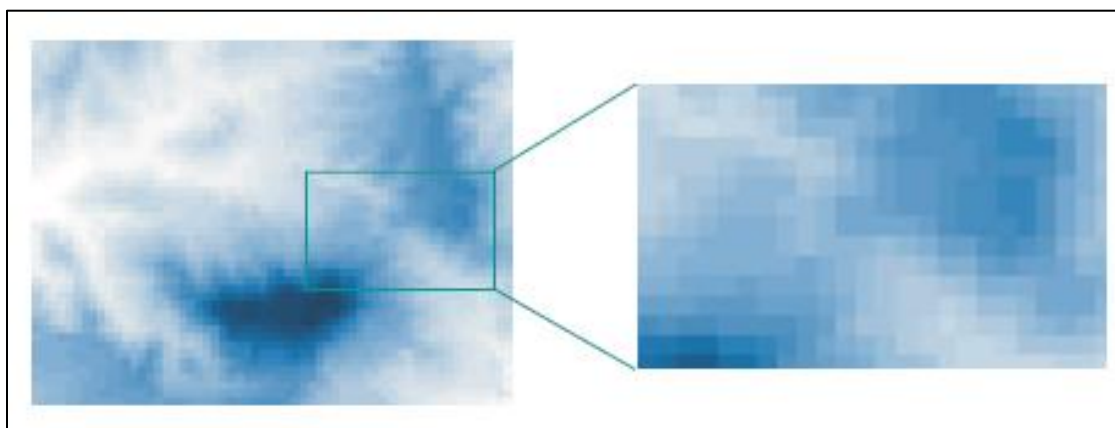


Figura 26. Modelo de Elevación Digital. Se muestra que la imagen está compuesta de celdas que contienen la información de altura generalizada por celda (Fuente: (de By, y otros, 2004))

Además de la información recopilada por satélites, en los SIG necesitamos contar con información vectorial relacionada a la región de estudio, tales como división política, coberturas vegetales, red hidrográfica, tipo y uso de suelos, entre otros que aportan información importante para el cálculo de variables hidrogeológicas.

2.10. Métodos Geofísicos

A continuación, se presenta la base teórica del método a utilizar en la investigación, así como parte de la teoría que conlleva la inversión y modelaje de los datos de resistividad eléctrica.

2.10.1. Resistividad Eléctrica y Tomografía Eléctrica 2D.

El principio en el que se basa este método consiste en interpretar los distintos materiales del subsuelo, a partir de las variaciones de la *resistividad* al paso de la corriente eléctrica. Y según la corriente sea generada y aplicada al suelo o provenga de fuentes existentes, habrá dos categorías de métodos: los de *Corrientes Artificiales* y los de *Corrientes Naturales*. A su vez, según el tipo de corriente que circule por el suelo, los métodos se subdividen en los de *Corriente Continua* y los de *Corriente Alterna* (Estrada, 2012)

Tabla 13. Resumen de los distintos métodos geoelectricos utilizados en Hidrogeología (Fuente: (Astier, 1975))

Método Geoelectricos	
Fuentes Naturales	Fuentes Artificiales
Potencial Espontáneo (SP)	Equipotenciales.
Corrientes Telúricas.	Relaciones de caída de Potencial
Corrientes Magnetotelúricas.	Resistividades (SEV-Calicatas)
	Polarización Inducida

2.10.2. Propiedades Eléctricas de las rocas.

La *Resistividad* es la propiedad más importante dentro de los métodos geoelectricos. Se define como la resistencia medida en Ohmios entre dos caras opuestas de un cubo de material con dimensiones unitarias (Ecuación 9) (Estrada, 2012).

$$\rho = \frac{RS}{L}$$

Ecuación 9

La ley fundamental en que se basa toda la geoelectrica es la *Ley de Ohm* (Ecuación 10), mediante la cual se relaciona el *Potencial Eléctrico V* (Tensión o Voltaje) con la *Intensidad de Corriente I* y la *Resistencia R* del medio por el cual circula la corriente.

$$V = I \cdot R$$

Ecuación 10

Muchas de las propiedades eléctricas de las rocas son significativas en la prospección eléctrica. Estas propiedades son: potencial eléctrico natural, conductividad eléctrica (o su inverso, la resistividad eléctrica), y la constante dieléctrica, de estas, la conductividad eléctrica es la más importante de todas (Telford, Geldart, & Sheriff, 1990)

La *Conductividad* es la inversa de la Resistividad (en el presente trabajo se hablará indiferentemente de conductividad y resistividad, con el entendido que una es el inverso de la otra). Se distinguen dos clases de conductividad: La *metálica o electrónica*, que es la que tienen todos los materiales metálicos que pueden transportar electrones, y la *electrolítica* es la que se presenta en minerales y rocas aislantes que conducen la electricidad a través del *agua de impregnación* que llena los poros.

2.10.3. Resistividad de las rocas y los minerales.

De todas las propiedades físicas de las rocas y minerales, la resistividad eléctrica muestra la más grande variación de todas (Telford, Geldart, & Sheriff, 1990). La resistividad de un material metálico puede ser tan pequeña como del orden de $10^{-5} \Omega \cdot m$, completamente contrastante con la resistividad de una roca consolidada, de granos muy soldados y compactados, tal como el gabro, cuyo valor de resistividad ronda en el orden de $10^7 \Omega \cdot m$. Los valores límites registrados son, inclusive, más pequeños, teniendo así la plata nativa una resistividad de $1.6 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$, el valor más bajo, y el sulfuro puro con resistividades de $10^{16} \Omega \cdot m$ (Ídem).

2.10.4. Clasificación de los materiales.

Un material es comúnmente denominado *conductor* cuando posee una resistividad menor a $10^{-5} \Omega \cdot m$, *aislante* cuando tiene una resistividad mayor a $10^7 \Omega \cdot m$. Estos valores de frontera nos permiten agregar una categoría extra, los *semiconductores*, que son aquellos cuyos valores de resistividad están entre los valores antes mencionados (ibid. Pp. 289).

Dentro de una clasificación menos precisa, rocas y minerales pueden ser considerados como buenos, intermedios y malos conductores.

Se debe tener en cuenta que la resistividad de las rocas varía con la edad y la litología presente, esto debido a la porosidad que puede presentar la roca y, a su vez también, a la cantidad de sales contenidas en el agua que constituye la roca.

La Tabla 14 se presenta un resumen de valores de resistividad promedio para una serie de rocas.

Tabla 14. Resistividades promedio de las rocas (Fuente: Modificado de (Telford, Geldart, & Sheriff, 1990))

Material	Resistividad ($\Omega \cdot m$)	Conductividad (Siemens/m)
Rocas Ígneas y Metamórficas		
Granito	$5 \times 10^3 - 10^6$	$10^{-6} - 2 \times 10^{-4}$
Basalto	$10^3 - 10^6$	$10^{-6} - 10^{-3}$
Pizarra	$6 \times 10^2 - 4 \times 10^7$	$2.5 \times 10^{-8} - 1.7 \times 10^{-3}$
Mármol	$10^2 - 2.5 \times 10^8$	$4 \times 10^{-9} - 10^{-2}$
Cuarcita	$10^2 - 2 \times 10^8$	$5 \times 10^{-9} - 10^{-2}$
Rocas Sedimentarias		
Arenisca	$8 - 4 \times 10^3$	$2.5 \times 10^{-4} - 0.125$
Esquisto	$20 - 2 \times 10^3$	$5 \times 10^{-4} - 0.005$
Caliza	$50 - 4 \times 10^2$	$2.5 \times 10^{-3} - 0.02$
Sedimentos y Agua		
Arcilla	$1 - 100$	$0.001 - 1$
Aluvión	$10 - 800$	$1.25 \times 10^{-3} - 0.1$
Agua Subterránea	$10 - 100$	$0.01 - 0.1$
Agua de Mar	0.2	5

2.10.5. Isotropía y Anisotropía.

La *Isotropía* es la propiedad de los cuerpos de que alguna magnitud física, por ejemplo, la conductividad, sea la misma en todas las direcciones. La *anisotropía* es lo opuesto, es decir que las propiedades varíen según la dirección. A los fines geofísicos, encontraremos *macroisotropía* y *macroanisotropía*. Esto es que, suelos anisótropos pueden en conjunto tener isotropía y suelos isótropos pueden tener macroanisotropía al estar dispuestos en capas como consecuencia de su formación geológica (Estrada, 2012)

2.10.6. Métodos de resistividad eléctrica.

Todos los métodos de corriente eléctrica utilizan una fuente artificial de corriente, la cual es introducida en el suelo a través de electrodos puntuales o por medio de grandes líneas de contacto, este último método es rara vez usado hoy en día. El procedimiento básico, o más común, que se implementa en una campaña de resistividad eléctrica consiste en que la corriente generada por una batería se transmite a través de *cables aislados* dispuestos sobre el suelo, y en sus extremos se conectan a *electrodos* (varillas de cobre o acero) que se clavan para cerrar el circuito eléctrico. Con otros dos electrodos independientes se mide la tensión resultante a través de un voltímetro (Ibid.).

La Figura 27 ejemplifica de manera sencilla el arreglo típico de un experimento de medición de resistividad eléctrica.

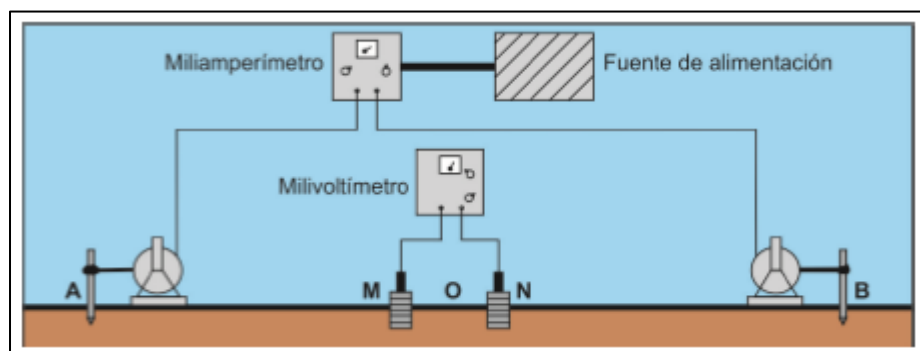


Figura 27. Arreglo de una toma de datos de resistividad eléctrica (Fuente: (Estrada, 2012))

Respecto a la distribución de la corriente en el suelo, primero consideremos un electrodo puntual desde el cual sale la corriente. Si el suelo es homogéneo e isótropo el flujo o la densidad de

corriente es la misma en todas las direcciones, por lo tanto, asumimos que la corriente fluye radialmente en todas las direcciones (Figura 28), tal como se propagan los rayos sísmicos. A una determinada distancia r tendremos una media esfera de ese radio, porque la otra mitad es el aire que es aislante. Entonces el área atravesada por las líneas de corriente será la de la media esfera, es decir $\frac{4\pi r^2}{2} = 2\pi r^2$. Como la longitud desde la fuente a un punto cualquiera de la media esfera es $L = r$, aplicando la Ley de Ohm tendremos:

$$V = I \cdot R \quad \text{con} \quad R = \frac{\rho \cdot L}{S} \quad \text{y} \quad S = 2\pi r^2, \quad \text{por lo tanto:}$$

$$V = \frac{I \cdot \rho}{2\pi r}$$

Ecuación 11

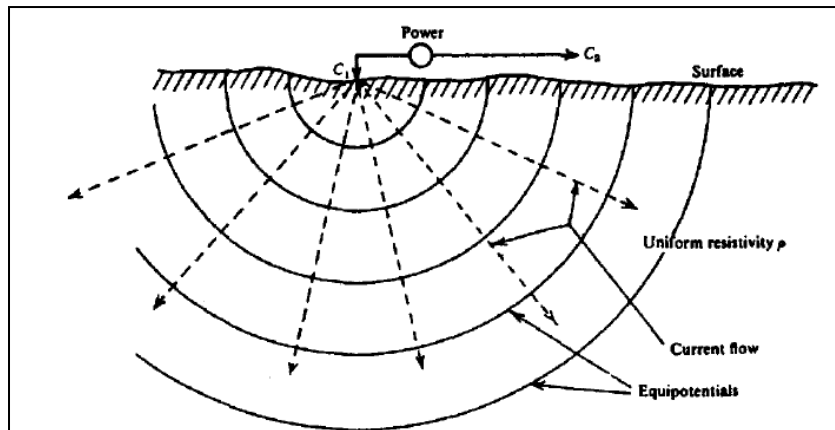


Figura 28. Inyección de corriente por medio de un electrodo puntual y su distribución en un medio homogéneo (Fuente: (Telford, Geldart, & Sheriff, 1990))

Pero este análisis fue realizado considerando un electrodo puntual. Para que circule la corriente necesitamos cerrar un circuito, es decir que la corriente sea introducida en un punto A mediante un *electrodo de corriente*, circule por el material y salga por otro electrodo en el punto B (Figura 29). Como el voltímetro mide diferencia de tensión o de potencial, necesitamos conectarlo en dos puntos M y N mediante dos electrodos de potencial (Estrada, 2012)).

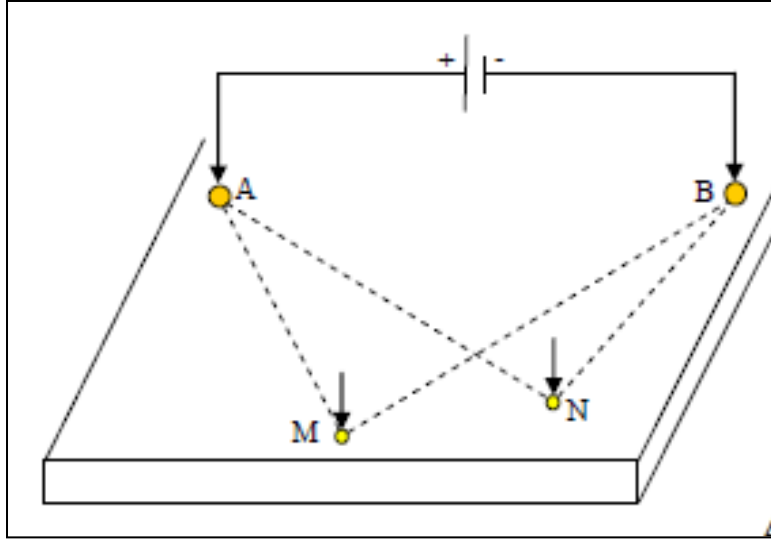


Figura 29. Circuito final indicando los electrodos de inyección de corriente (A y B) y los electrodos de medición de potencial (M y N) (Fuente: (Estrada, 2012))

Pero al realizar este cierre de circuito, el potencial medido se está viendo afectado por las dos inyecciones de corriente (Figura 8), lo cual debe de considerarse para la verdadera medición del voltaje en cualquier punto del arreglo que estemos realizando. Al hacer las debidas consideraciones y procediendo a encontrar el valor del potencial según la configuración anterior tenemos que:

$$\Delta V = V_M - V_N = \frac{I\rho}{2\pi} \left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} - \frac{1}{AN} + \frac{1}{BN} \right) \quad \text{Ecuación 12}$$

La deducción de la ecuación anterior puede encontrarse en ((Telford, Geldart, & Sheriff, 1990) pp. 524).

Con todos los parámetros disponibles para medir, tanto corriente como potencial, gracias a las deducciones realizadas anteriormente, podemos determinar el valor de la resistividad ρ . Teniendo que:

$$\rho = \frac{2\pi}{\left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} - \frac{1}{AN} + \frac{1}{BN} \right)} \cdot \left(\frac{\Delta V}{I} \right)$$

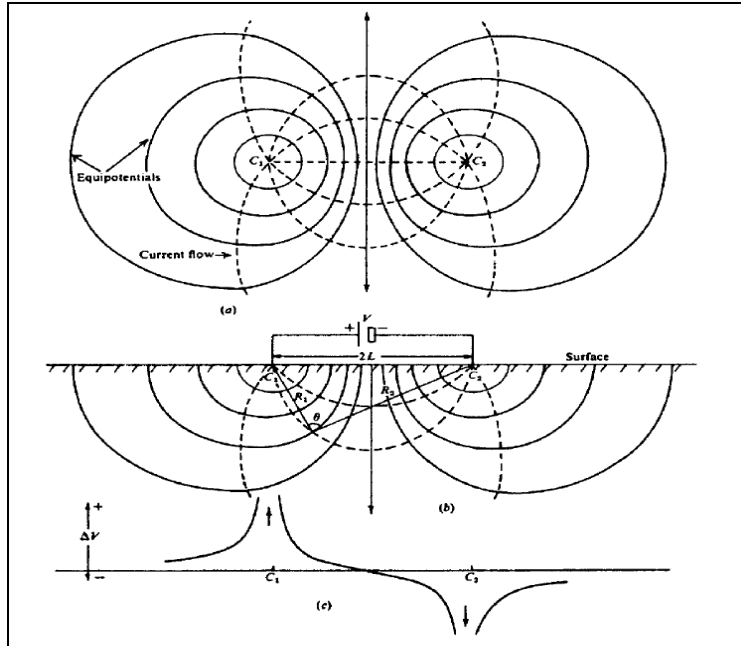


Figura 30. (a) Vista en planta del desplazamiento de las isolíneas de corriente. (b) Vista vertical del movimiento de las isolíneas. (c) Variación del potencial en la superficie a lo largo de una línea recta a través de los puntos fuente de corriente (Fuente: (Telford, 1990))

De lo anterior podemos simplificar la ecuación y escribir:

$$\rho = k \frac{\Delta V}{I} \quad \text{Ecuación 13}$$

Donde k es conocida como la *constante eléctrica* y depende de la configuración de los electrodos.

Debido a la inhomogeneidad, anisotropía y otros factores referentes al terreno, no podemos considerar el ρ deducido anteriormente como la resistividad absoluta, sino más bien, esta se considera una **resistividad aparente** (ρ_a).

2.10.7. Arreglos eléctricos para el cálculo de la resistividad.

En la actualidad existen una gran variedad de arreglos eléctricos que nos permiten realizar mediciones con diferente propósito y profundidad, entre ellos se encuentran:

- Arreglo Wenner.

- Arreglo Schlumberger.
- Arreglo Dipolo-Dipolo.

2.10.7.1. Arreglo Wenner.

Es uno de los arreglos más comunes o populares a la hora de realizar un estudio de resistividad. Su arreglo consta de electrodos de corriente y potencial distanciados uniformemente, es decir la distancia entre cada electrodo (sin importar su función) es la misma. Según queramos profundizar en el subsuelo la distancia a debe de aumentarse, pero manteniéndose de manera uniforme entre cada electrodo (Figura 31).

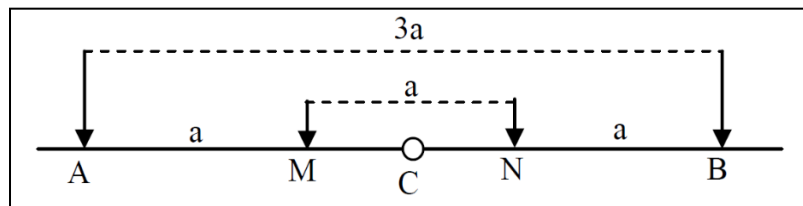


Figura 31. Esquema básico del arreglo electródico Wenner (Fuente: Figura 31)

Al tener la configuración establecida, la relación para conocer la resistividad aparente en un punto C mediante el arreglo Wenner es:

$$\rho_a = \frac{2\pi a \Delta V}{I} \quad \text{Ecuación 14}$$

A pesar de su geometría simple, el arreglo Wenner presenta varios inconvenientes en el trabajo de campo, además de tener algunas desventajas desde el punto de vista teórico (Telford, 1990). Para exploraciones profundas se suele dejar fijo un centro en donde deseamos obtener información, expandiendo los electrodos una gran distancia, trayendo consigo inconvenientes de espacio, terreno, entre otros.

2.10.7.2. Arreglo Schlumberger.

Otro de los arreglos más utilizados en exploración profunda del subsuelo, el arreglo Schlumberger se caracteriza por su espaciamiento electródico irregular (Figura 32), es decir que los electrodos

de corriente y potencial no se encuentran equidistantes tal como en el arreglo Wenner. Una de las ventajas que conlleva este arreglo es la capacidad de conseguir valores de resistividad de capas más profundas.

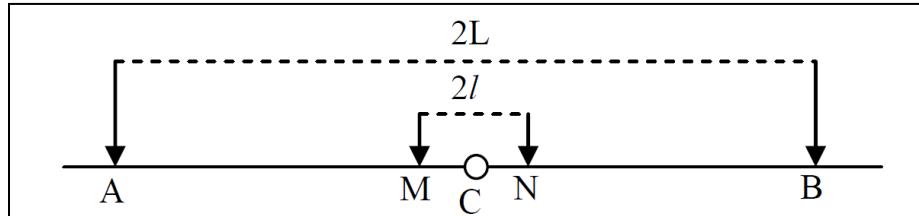


Figura 32. Esquema básico de un arreglo electródico Schlumberger (Fuente: (Estrada, 2012))

Telford, 1990 pp. 536, realiza la deducción de la ecuación para la resistividad aparente obtenida con un arreglo Schlumberger; tras la deducción se tiene que:

$$\rho_a = \frac{\pi L^2}{2l} \left(\frac{\Delta V}{I} \right) \quad \text{Ecuación 15}$$

Una de las ventajas que posee el arreglo electródico Schlumberger es que solo se tienen que mover lateralmente dos electrodos, los de corriente, mientras que los electrodos de potencial se mantienen fijo. Sin embargo, para exploraciones más profundas se suele realizar una apertura de los electrodos de potencial con el fin de evitar el efecto de resistividades superficiales (Telford, 1990). Para este último caso consideraremos un cambio en la fórmula de la resistividad para el arreglo Schlumberger, como sigue:

$$\rho_a = \frac{\pi(L^2 - x^2)^2}{2l(L^2 + x^2)} \left(\frac{\Delta V}{I} \right) \quad \text{Ecuación 16}$$

2.10.7.3. Arreglo Dipolo-Dipolo.

El arreglo Dipolo – Dipolo se caracteriza por ubicar los electrodos de potencial con una separación más pequeña entre ellos y a una distancia considerable de los electrodos de corriente, los cuales están, igualmente, separados por una distancia muy pequeña como se muestra en la Figura 33 (Telford, 1990).

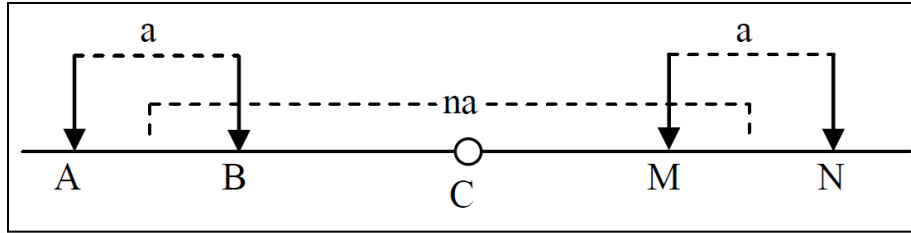


Figura 33. Esquema básico del arreglo eléctrico Dipolo - Dipolo (Fuente: (Estrada, 2012))

Tomando en cuenta la configuración eléctrica del arreglo Dipolo-Dipolo, Telford, 1990 propone una serie de soluciones para conseguir el valor de resistividades para diferentes casos. Dando como resultado de una generalización y acoplado a nuestra figura esquemática para la resistividad aparente:

$$\rho_a = \frac{4\pi an^3 \Delta V}{I} \quad \text{Ecuación 17}$$

En todos los casos antes mencionados los electrodos de potencial y corriente pueden ser intercambiados. Por el principio de reciprocidad, la resistividad aparente debería de ser la misma en cada caso.

2.10.8. Sondeos Eléctricos Verticales (SEV)

El método de Sondeos Eléctricos Verticales se caracteriza por realizar un tendido de cable conductor en el cual a mayor distancia de apertura mayor la profundidad que se alcanza. La posición de la adquisición de datos se ubica en el medio del arreglo eléctrico. Los valores de resistividad aparente (ρ_a) son calculados a partir de las ecuaciones que involucran el factor de forma del arreglo que se esté implementando. Los valores de la resistividad aparente son ploteados o graficados en una hoja de papel logarítmico, con los ejes “x” y “y” representando al espaciamiento eléctrico de corriente ($AB/2$) y el valor medido de la resistividad aparente, respectivamente (Figura 34) (Reynolds, 2011).

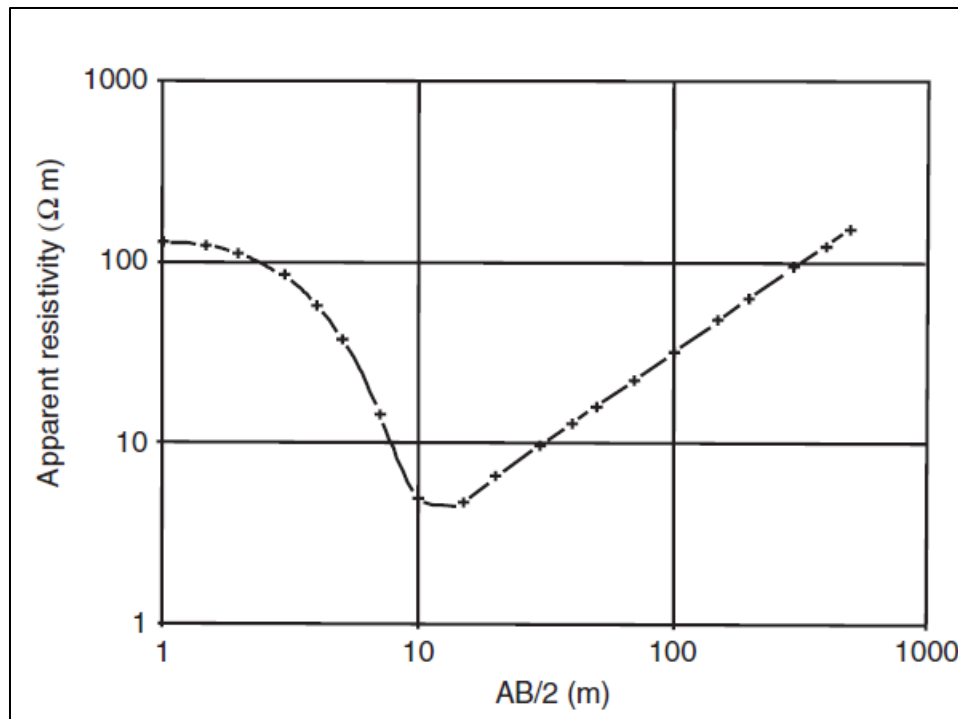


Figura 34. Ejemplo de la ubicación de los puntos medidos mediante un SEV. (Fuente: (Reynolds, 2011))

El método de los SEV aporta información acerca de profundidades y espesores de las diferentes capas subsuperficiales, con la que se puede conseguir información para relacionar con potenciales de explotación de recursos hídricos o la detección de contaminantes. Los arreglos electrónicos Wenner y Schlumberger son los más utilizados para la realización de SEV, siendo el arreglo Schlumberger el que posee algunas ventajas relacionadas al potencial de penetración (Sundararajan, Sankaran, & Al-Hosni, 2012).

La curva generada por los datos de ρ_a es conocida comúnmente como “Curva Sondeo”. Dicha curva usualmente es interpretada usando un proceso de “modelado” (Ibid.), en el cual se genera un modelo hipotético de las diferentes capas que subyacen en la región donde se realizó el sondeo.

El producto final de un SEV usualmente es una sección transversal geoelectrica unidimensional (1 – D) que muestra los espesores y los valores de resistividad de las capas o unidades (Figura 35). Si se posee información estratigráfica de pozos, se puede relacionar los valores de las unidades

geoelectricas a los materiales que se tienen en el registro litológico (Sundararajan, Sankaran, & Al-Hosni, 2012).

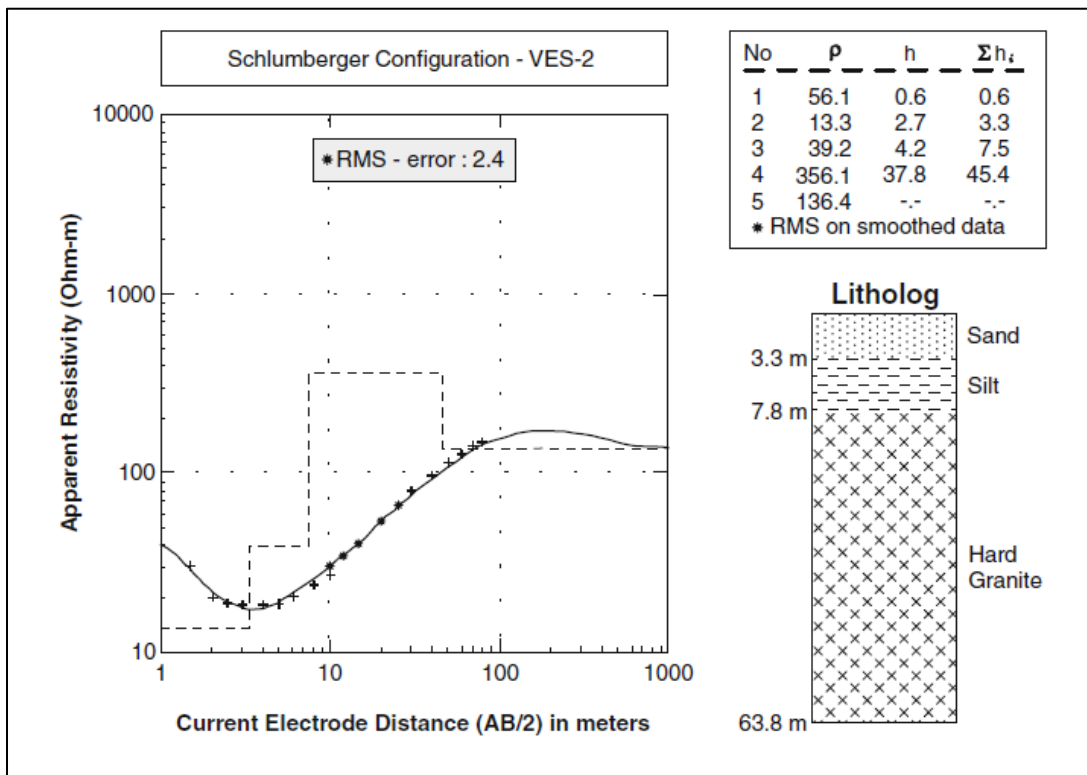


Figura 35. Resultado del procesamiento, modelación e interpretación de un SEV. La información litológica de pozos ayuda a signar el tipo de roca que subyace en el punto de realización del estudio (Fuente: (Sundararajan, Sankaran, & Al-Hosni, 2012))

2.10.9. Tomografía Eléctrica 2D (TE2D).

En los recientes años, uno de los métodos que se han desarrollado es la tomografía eléctrica 2D (TE2D), las cuales han venido a ayudar a mapear áreas con geología compleja (Griffiths y Barker 1993 en (Loke, 1999)). La TE2D es solamente la implementación de un estudio de resistividad que utiliza una gran cantidad de electrodos, ronda casi siempre los 20 electrodos, para generar pequeños puntos de medición a diferentes distancias, consiguiendo con ello diferentes profundidades y valores de resistividad del subsuelo (Figura 36).

Como se muestra en la Figura 36, los electrodos están equidistantes uno a otro, concordante con lo que es el cable de multinúcleo, o sea que puede tener tanto los cables de inyección de corriente como los de medición de potencial.

La manera de realizar la toma de datos es la siguiente, considerando la Figura 36, en la estación 1, inyecta corriente en los electrodos 1 y 4 y mide potencial en los electrodos 2 y 3, obteniendo un valor de resistividad en el nivel $n=1$, para una estación posterior, como la 18, el equipo inyecta corriente en los electrodos 1 y 7, mide el potencial en 3 y 5, y obtiene valor de resistividad en el nivel $n=2$, y así se puede ir construyendo o analizando cuáles serán los electrodos que van generando cada punto que trae consigo el valor de resistividad en cada punto de cada nivel.

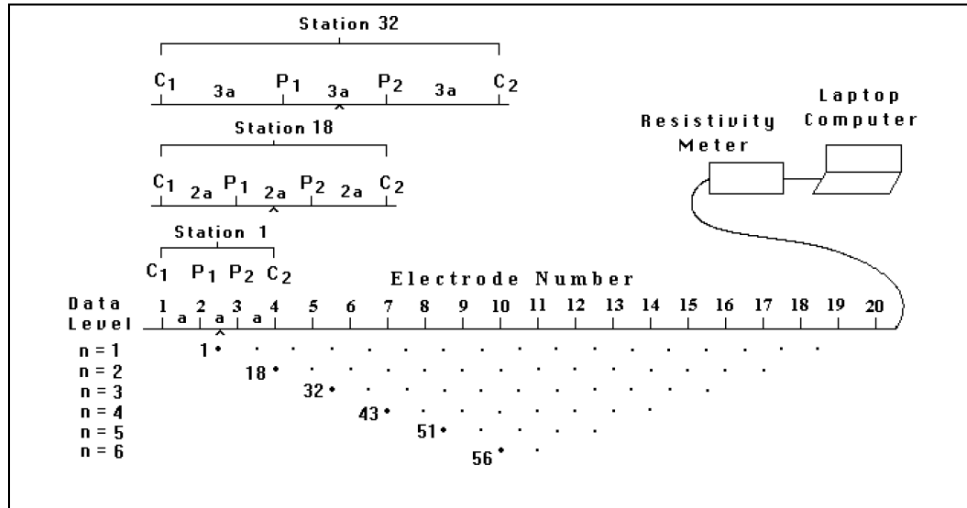


Figura 36. Arreglo de electrodos para un estudio de TE2D y la secuencia de medición que utiliza para crear la pseudosección. (Fuente: (Loke, 1999))

Cabe mencionar que la tomografía eléctrica permite realizar mediciones configurando el equipo con un tipo de arreglo específico, puede ser un Wenner, el más común para este tipo de procedimiento, Dipolo-Dipolo, Polo-Dipolo, etc.

Además, la tomografía nos permite extendernos con las mediciones de manera lateral, muy parecido a lo que hacemos con una calicata (Dipolo-Dipolo), con la ventaja que para este método dejamos los electrodos fijados desde un principio y no estamos moviéndonos de un lado a otro para realizar la toma de datos como en un sondeo eléctrico vertical (SEV) tipo calicata. La mayor desventaja del método está relacionado a la capacidad de penetración de este, en el mejor de los casos y con materiales conductores o semiconductores la profundidad máxima esperada ronda entre los 20 – 25 m., sin embargo, esa debilidad se ve compensada con la calidad de los resultados obtenidos.

Hoy en día, la técnica es ampliamente usada en diferentes ámbitos de la geofísica y la ingeniería, teniendo como algunas de sus aplicaciones:

- Arqueología.
- Hidrogeología.
- Monitoreo de presas.
- Ingeniería de cimentación.
- Para conocer la resistividad del suelo y generar redes de tierra para estructuras.

Los resultados obtenidos mediante la TE2D deben ser tratados con diferentes programas de inversión y modelaje, los cuales nos permiten tener productos como los mostrados en la (Figura 37).

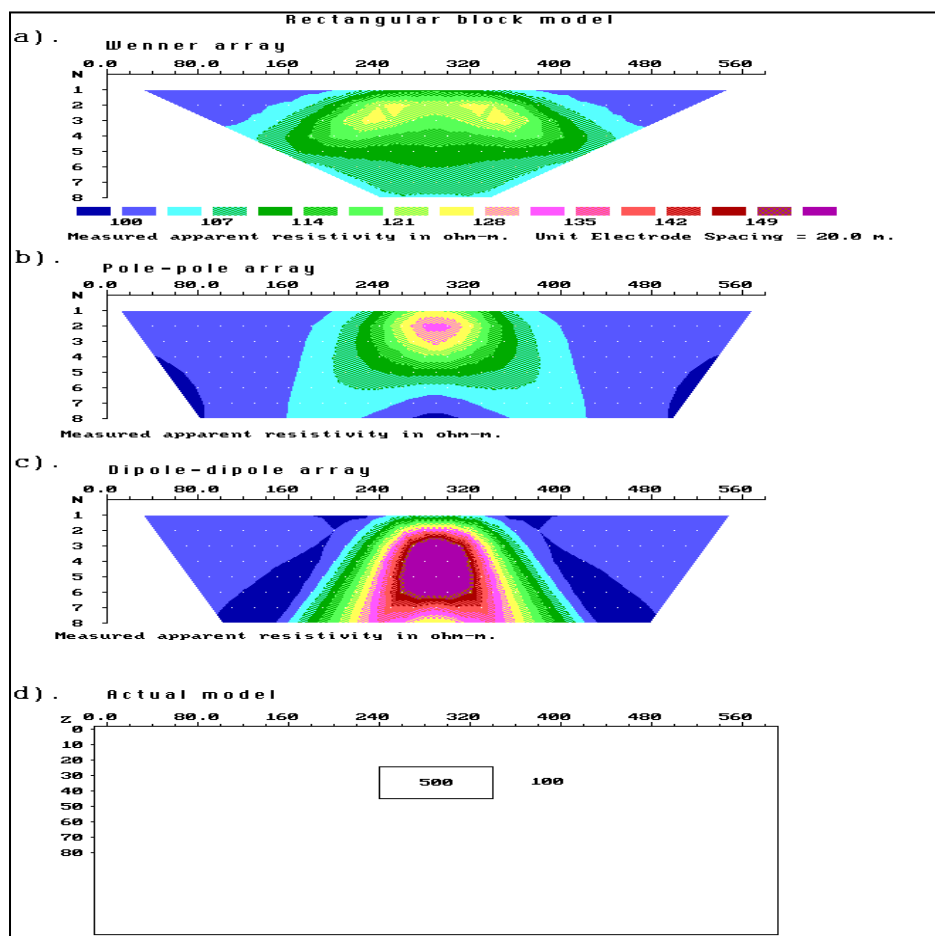


Figura 37. Pseudosecciones de resistividad aparente de un mapeo 2D utilizando TE2D con sus diferentes arreglos para un bloque rectangular enterrado. (a) Arreglo Wenner. (b) Arreglo Polo-Polo. (c) Arreglo Dipolo-Dipolo. (d) Modelaje del cuerpo que genera la anomalía eléctrica (Fuente: (Loke, 1999))

2.10.10. Inversión de datos de resistividad eléctrica.

Tras la realización de la campaña de toma de datos en los lugares de interés se debe de realizar el procesado, inversión e interpretación de las TE2D. Por cada tomografía se obtiene un estimado de entre 200 a 500 datos, o incluso más, dependiendo del arreglo electródico y la extensión de este mismo, los cuales se disponen en forma de pseudosección.

Dados los datos de resistividad aparente nos disponemos a efectuar un modelado 2D utilizando un programa de inversión conocido como RES2DINV, el cual realiza la inversión completa 2D de perfiles eléctricos de superficie para los diferentes dispositivos de medidas (dipolo-dipolo, polo-dipolo, Wenner, polo-polo, etc.).

La inversión de los datos devuelve como resultado una “Imagen de Resistividades y profundidades reales” la que se correlaciona si es posible con información geológica, perforaciones, sondeos, etc., a fin de delimitar, cualificar y cuantificar las anomalías detectadas en profundidad con objeto de lograr una interpretación coherente en el Diagnóstico (Carrasco García, 2011)

El procesamiento de datos no es un proceso realizado solo por la computadora sin intervención humana, sino que se trata de la interacción hombre máquina debido a que es necesario configurar un programa de cálculo de acuerdo con las variaciones de los valores de profundidad y resistividad que puedan obtenerse por otros medios como el conocimiento general del área y de la naturaleza de las anomalías investigadas, además de la experiencia propia de quien ejecuta la tarea de interpretación (Ibid.).

2.10.10.1. Programa DCINV

DCINV es un programa de uso gratuito creado por Markku Pirttijärvi, profesor de Geofísica de la Universidad de Oulu, Finlandia. El programa permite leer información colectada de Sondeos Eléctricos Verticales con la finalidad de crear modelos de capas o unidades de resistividad en 1 – D a partir de los datos y considerando la idealización de un modelo de Tierra con capas horizontales (Pirttijärvi, 2007).

El programa puede trabajar con los tres tipos de arreglos más comunes y los cuales fueron descritos en las secciones 5.10.7.1, 5.10.7.2 y 5.10.7.3. Los parámetros de optimización, los cuales están

basados en métodos de inversión linealizada, pueden ser utilizados para generar interpretaciones 1 – D (Ibid.).

El programa requiere que los archivos de entrada tengan un encabezado específico (Figura 38), el cual le permita comprender la información del archivo (en formato *.DAT), en caso de cometer errores en la escritura del encabezado del archivo, el programa puede generar errores en la fase del modelaje.

```
* DCINV model file:

station n:o, xyz-coordinates
0 0.000 0.000 0.000

layer no, dummy
3 0

parameters; res (ohmm) & thic (m) of each layer
0.21658E+04 0.10443E+02
0.69576E+03 0.12245E+02
0.50752E+04

schlumberger= 1, spacings n:o
1 16

ab/2 & mn/2 values (metres), weights
1.500 0.250 1.00
2.000 0.250 1.00
2.500 0.250 1.00
3.000 0.500 1.00
```

Figura 38. Ejemplo del formato que debe de poseer el archivo con los valores resultantes del SEV. (Fuente: (Pirttijärvi, 2007))

La teoría en la que el programa se basa para realizar la inversión de datos está descrita por Koefed (1979) y los algoritmos de trabajo son aportaciones de Rijo (1970) y Sandberg (1990). Además de integrar algunas componentes dentro del algoritmo la transformada de Hankel (Pirttijärvi, 2007).

2.10.10.2. Programa Res2DInv.

El programa Res2dinv usan la técnica de inversión de los mínimos cuadrados con restricción de alisado (deGroot-Hedlin y Constabe 1990, Sasaki 1992, en (Carrasco García, 2011)). Una nueva implementación del método de mínimos cuadrados basada en cuasi-Newton puede también usarse (Loke y Baker 1996, en (Carrasco García, 2011)). Esta técnica puede ser diez veces más rápida

que el método convencional de mínimos cuadrados para una gran cantidad de datos y requiere menos memoria.

También puede usarse el método convencional de Gauss-Newton el cual recalcula el Jacobiano de la matriz de derivadas parciales después de cada iteración. Esto es mucho más lento que el método cuasi-Newton, pero en áreas con gran contraste de resistividad más grandes que 10:1, da resultados ligeramente mejores (Loke, 1999).

El modelo 2D usado por este programa divide el subsuelo en un número de bloques rectangulares (Figura 39). El propósito de este programa es determinar la resistividad real de los bloques rectangulares que producirían una pseudosección de resistividades aparentes como la medida en campo. Para los dispositivos Wenner y Schlumberger, el espesor de la primera capa de bloques es 0.5 veces el espacio entre electrodos. Para los dispositivos Polo-Polo, Dipolo-Dipolo y polo-dipolo el espesor es sobre 0.9, 0.3 y 0.6 veces el espacio entre electrodos respectivamente. El espesor de la siguiente capa más profunda tendrá un incremento del 10% (o 25%). La profundidad de las capas puede también ser cambiadas por los usuarios (Carrasco García, 2011).

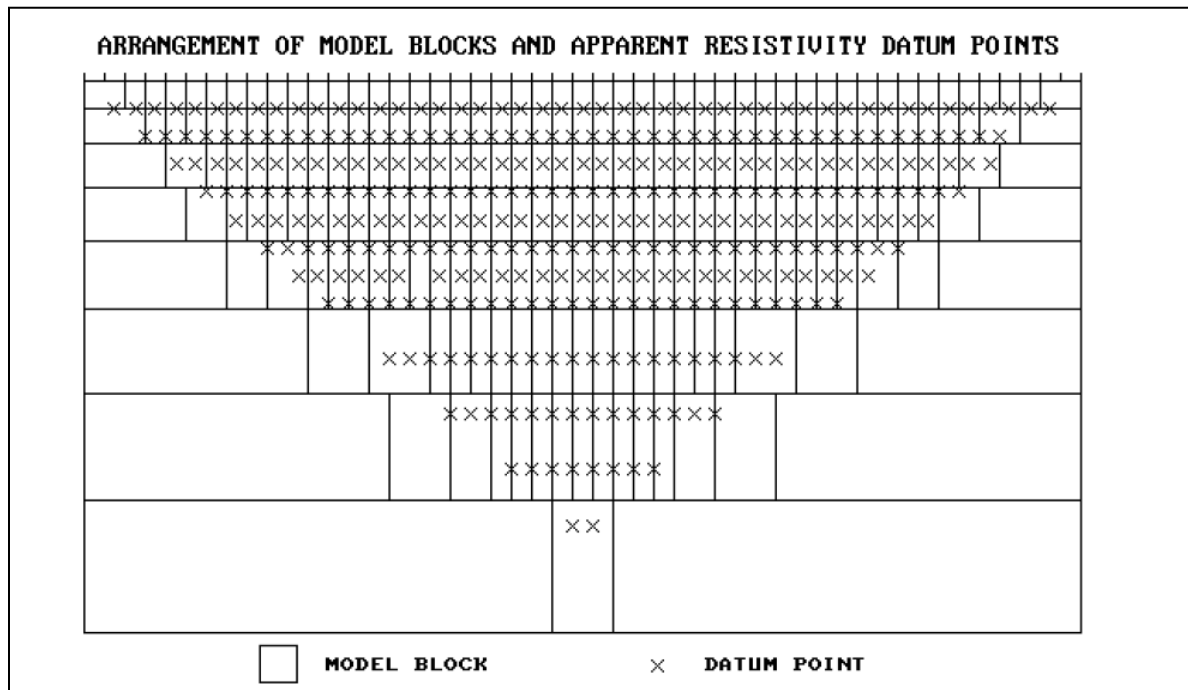


Figura 39. Modelo de bloques y datos de resistividad aparente (Fuente: (Carrasco García, 2011))

El método de optimización intenta reducir la diferencia entre la resistividad aparente calculada y la medida por adecuación de la resistividad del modelo de bloques. Una medida está dada por el error del término medio de la raíz cuadrada. Sin embargo, el modelo con el error RMS más bajo posible puede, algunas veces, mostrar grandes y no realistas variaciones en los valores en el modelo de resistividad y puede no ser siempre el “mejor” modelo desde la perspectiva geológica. En general la aproximación más prudente es elegir el modelo para una iteración, después del cual el RMS no cambia significativamente. Esto usualmente ocurre entre la cuarta y quinta iteración (Carrasco García, 2011).

El resultado obtenido mediante la Técnica de Tomografía Eléctrica es una sección o bloque de Resistividad de Alta Resolución con una muy buena aproximación del modelo de resistividades y profundidades reales del subsuelo, resultado que puede ser, en la mayoría de los casos, constatado con observaciones de campo, datos de perforaciones, etc. (Ibid.).

2.11. Modelo Hidrogeológico

Para determinar las condiciones de un acuífero usualmente se realizan una caracterización hidrogeológica que permite conocer parámetros físicos, químicos y geológicos específicos del acuífero; para conseguir la caracterización los investigadores se apoyan de un modelo conceptual del acuífero. Definiremos modelo conceptual como una representación cualitativa del sistema de aguas subterráneas que se ajusta a los principios hidrogeológicos y se basa en aspectos geológicos, geofísicos, hidrológicos, hidroquímicos y otra información complementaria (Anderson, Woessner, & Hunt, 2015).

El propósito principal de los modelos hidrogeológicos conceptuales (MHC) es proveer un producto visual único compuesto por texto, imágenes, y, de ser necesario, animaciones, donde toda la información referente al sitio de investigación sea accesible de manera sencilla y pueda ser usada para la toma de decisiones en cualquier fase de un proyecto en ejecución (Kresic & Mikszewski, 2013).

Es de suma importancia reconocer que el MHC es una entidad dinámica, es decir, que puede estarse redefiniendo y actualizando constantemente (Ibid.). En el desarrollo de un modelo conceptual, el “modelador” organiza, analiza y sintetiza información hidrogeológica relevante, a menudo con la

ayuda de una herramienta de gestión de bases de datos tales como los SIG (Anderson, Woessner, & Hunt, 2015).

Los elementos necesarios, o claves, que componen un MHC incluyen: delimitación del acuífero; unidades hidroestratigráficas y estimados de parámetros hidrogeológicos; direcciones generales del flujo subterráneo y fuentes de agua, y el balance de agua subterránea. Además de los datos para generar el MHC que pueden estar recopilados en un SIG, el modelo conceptual es presentado en una serie de diagramas, que incluyen secciones transversales hidrogeológicas y tablas (Ibid.).

La Figura 40, resume los elementos ideales para crear un MHC, y que, a su vez, dan paso para la caracterización del acuífero de estudio.

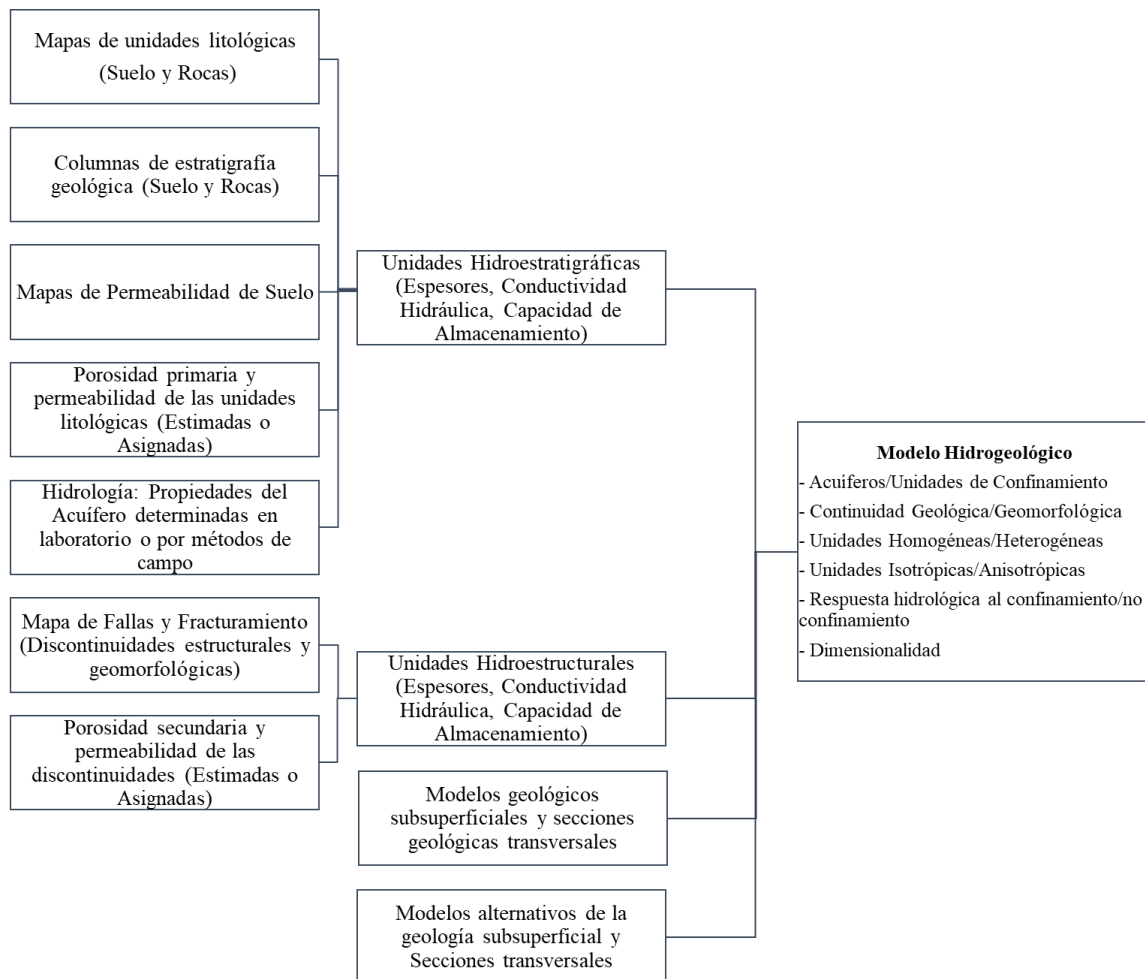


Figura 40. Esquema de los parámetros y procesos para crear un Modelo Hidrogeológico Conceptual (Fuente: modificado de (Anderson, Woessner, & Hunt, 2015)).

3. METODOLOGÍA

El Acuífero Transfronterizo Ocotepaque – Citalá (ATOC) ha venido siendo de interés público desde hace algunos años atrás, las investigaciones científicas – técnicas realizadas por el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA & Plan Trifinio, 2009), UICN (UNESCO-PHI/UICN, 2016) y otros autores relatados en el marco teórico han permitido obtener información base para la identificación de diferentes características del acuífero, así como la consolidación de repositorios de datos que enriquecen la información de la zona. La metodología de este trabajo se resume en 3 fases (Figura 41): Fase de Gabinete, Fase de Campo y Fase de Procesamiento y Análisis. De forma agregada, se siguieron metodologías ya establecidas dentro de las diferentes fases de la investigación, las cuales aportaron ideas para el desarrollo de la investigación, dichas metodologías se apegaron a los objetivos que se plantearon, y de esta manera los resultados obtenidos cuentan con información documentada que permite un respaldo de las conclusiones emitidas en el documento.

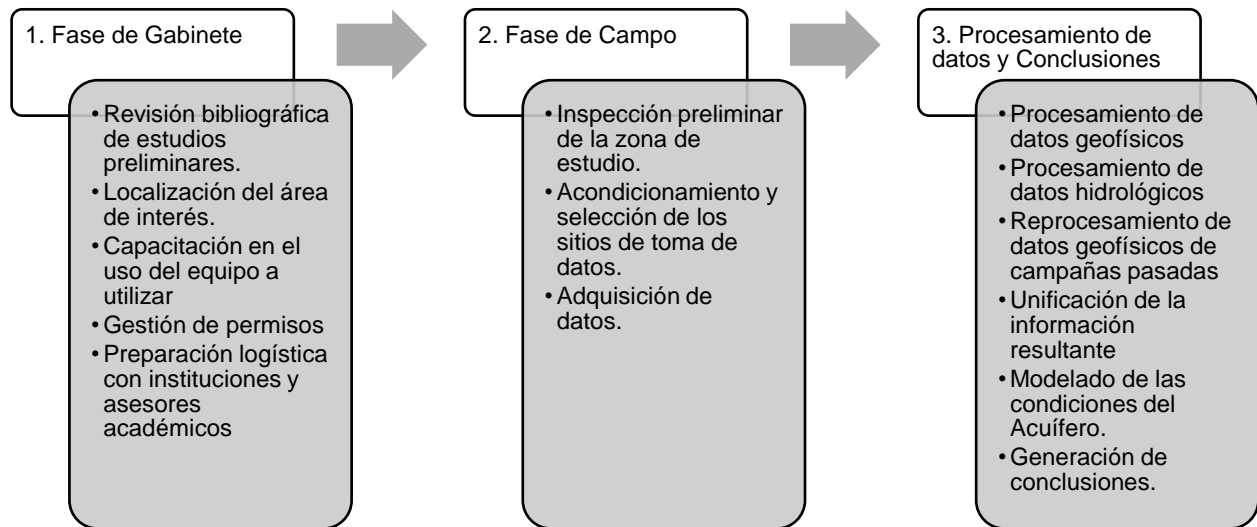


Figura 41. Fases metodológicas de la investigación (Fuente: Elaboración Propia).

A continuación, se presentará de manera detallada las distintas fases de la metodología realizada de la investigación, así como cada una de las componentes que conforman las diferentes fases.

3.1. Fase de Gabinete

Dentro de la fase de metodológica de gabinete se recopiló la mayor parte de información referente a la delimitación y caracterización general del acuífero. Así mismo, se realizó la coordinación con las instituciones como CTPT, municipalidades, UICN, MARN y UES para la realización de la fase campo, en la cual estas instituciones también participaron. Los documentos consultados para la generación de los fundamentos teóricos de este documento se resumen en artículos de revista, libros de especialidad en geología, hidrogeología, geofísica, sistemas de información geográfico, informes de consultorías, documentos oficiales y recursos web de fuente oficial.

En cuanto a la información geoespacial, la CTPT a través de su portal de información proveyó las capas vectoriales de la zona de estudio, entre ellas se puede mencionar las capas de división política, delimitación geológica, delimitación de unidades acuíferas, uso y tipo de suelo, entre otras.

Para el cálculo del balance hídrico del acuífero se siguió la metodología propuesta por (Schosinsky, 2006), por ende, se realizó la revisión bibliográfica y documental de dicha metodología, así como el registro de trabajos realizados que siguieron esta metodología. Previo a la recopilación de datos se realizaron ejercicios de la metodología de Schosinsky para tener entendimiento pleno de las partes que esta requiere para su implementación.

Dentro de las capacitaciones realizadas para realizar las mediciones de campo estuvo la práctica del uso del resistivímetro ABEM-TERRAMETER SAS – 1000, el cual es administrado por el Departamento de Geofísica, Escuela de Física, Facultad de Ciencias Naturales y Matemática de la UES. La capacitación se caracterizó por el aprendizaje de las rutinas a seguir para la toma de datos de resistividad en sus diferentes arreglos electródicos. A su vez, se realizó el entrenamiento para el uso del complemento del resistivímetro, el LUND IMAGING SYSTEM, para la realización de colecta de datos en modalidad tomografía eléctrica 2D. Las capacitaciones se realizaron una semana antes a la campaña de campo de la investigación en un campo de entrenamiento controlado.



Figura 42. Resistivímetro ABEM-TERRAMETER SAS-1000. Equipo utilizado para la adquisición de datos de la investigación (Fuente: Autoría Propia).

Dado que la elaboración de un Modelo Conceptual Hidrogeológico requiere información meteorológica como Temperatura, Precipitación y Evapotranspiración, se solicitó por medio de la Dirección General del Observatorio Ambiental los datos correspondientes a las estaciones de La Palma, Citalá, Montecristo, Citalá y El Pital. Debido a que el área de estudio se concentraba en gran parte en territorio hondureño, se realizaron las gestiones para obtener información de la estación meteorológica de Ocatepeque. De las estaciones antes citadas solamente se pudo obtener la base de datos de las estaciones La Palma, Montecristo y El Pital, en la región salvadoreña, y también de la estación de Nuevo Ocatepeque.

Los datos geofísicos de campañas previas a esta investigación se recopilieron y se solicitó el permiso correspondiente a las instituciones dueñas de los derechos de autor para poner realizar una reinterpretación de los datos obtenidos, de esa manera se colectaron las tablas de datos de los sondeos eléctricos verticales de la campaña realizada por (Geociencia Aplicada, 2015) para poder incorporarlos a la información geofísica necesaria para la elaboración del Modelo Hidrogeológico Conceptual.

El trabajo realizado por (Samayoa, 2014) recopila la base de datos de inventario de pozos excavados que se utilizó para la creación de líneas equipotenciales de flujo, a su vez, la información compilada en (UICN, 2015) ha sido de gran utilidad para completar vacíos de información referentes a este apartado.

Para el procesamiento de la información se llevó a cabo la práctica con software como Golden Surfer v. 13, Golden Strater v. 5, Res2DInv, DCINV, QGIS v. 3.4. Los programas anteriores sirvieron en diferentes fases de la investigación para la representación, análisis o determinación de propiedades del ATOC.

3.2. Fase de Campo

La fase de campo comprendió la realización de pruebas de infiltración de suelos por medio del método de Permeámetro de Guelph y la realización de prospección geoelectrica mediante la variedad de Tomografía Eléctrica 2D (TE2D). Las mediciones se llevaron a cabo en el periodo comprendido del 11 al 15 de marzo de 2019, en las localidades de San Ignacio y Citalá, departamento de Chalatenango, El Salvador, y Concepción, Santa Fe, Sinuapa y Nueva Ocotepeque, departamento de Ocotepeque, Honduras.

3.2.1. Toma de datos TE2D

Durante el periodo de tiempo de colecta de datos se realizaron 13 tomografías eléctricas 2D (Figura 43); la selección de los lugares de realización de estas fue basada en la facilidad de acceso, pendiente del terreno, geología, tipo y uso de suelo, distribución espacial e importancia de adquisición de datos en la zona. La Tabla 15 resume los puntos centrales de las TE2D correspondientes a esta investigación.

Las tomografías que cuentan con una longitud de 200 m. corresponden a sitios en donde el cauce del Río Lempa era relativamente cercano (Figura 44), por lo que la existencia de un nivel freático era más probable para detectar con las mediciones de resistividad, o también por las características del terreno, esto puede referirse a sitios con alto tránsito de vehículos, centros urbanos o existencia de pastizales con animales que comprometían la recolección exitosa de datos.

Para cada TE2D se georreferencio cada una de las líneas de toma de datos, con el propósito de incluir, de ser necesario, la topografía en la inversión e interpretación de los datos de cada una de ellas.

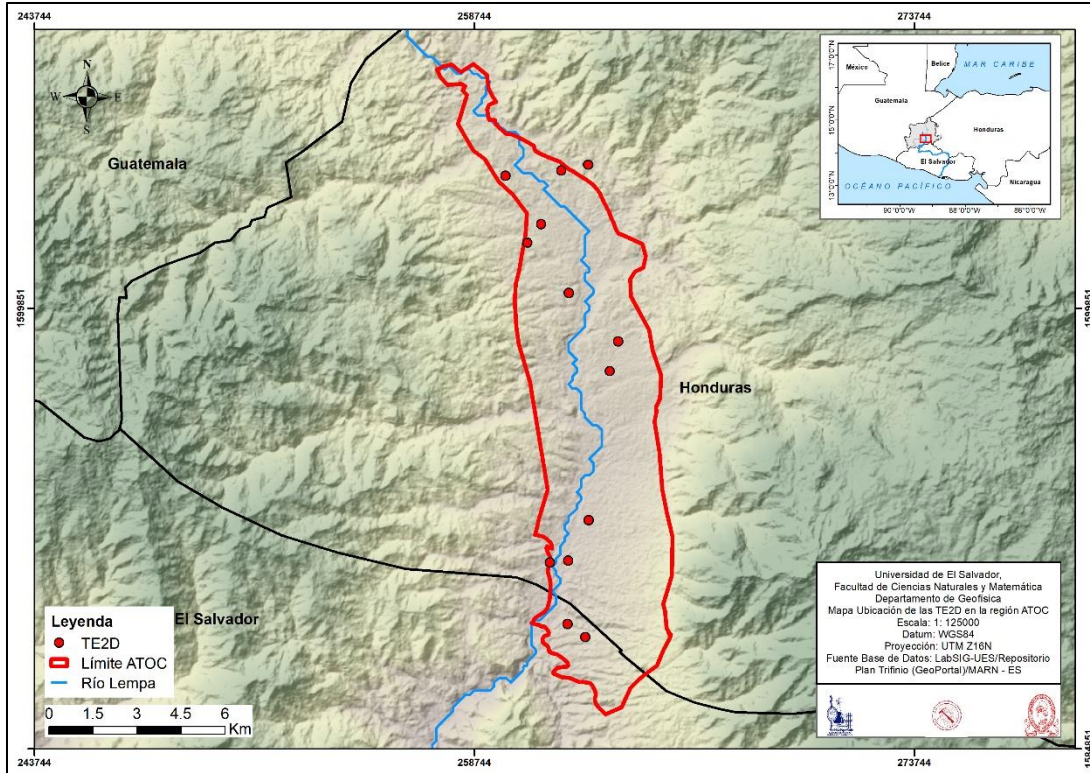


Figura 43. Ubicación de Tomografías Eléctricas 2-D realizadas en el área de estudio (Fuente: Elaboración propia).

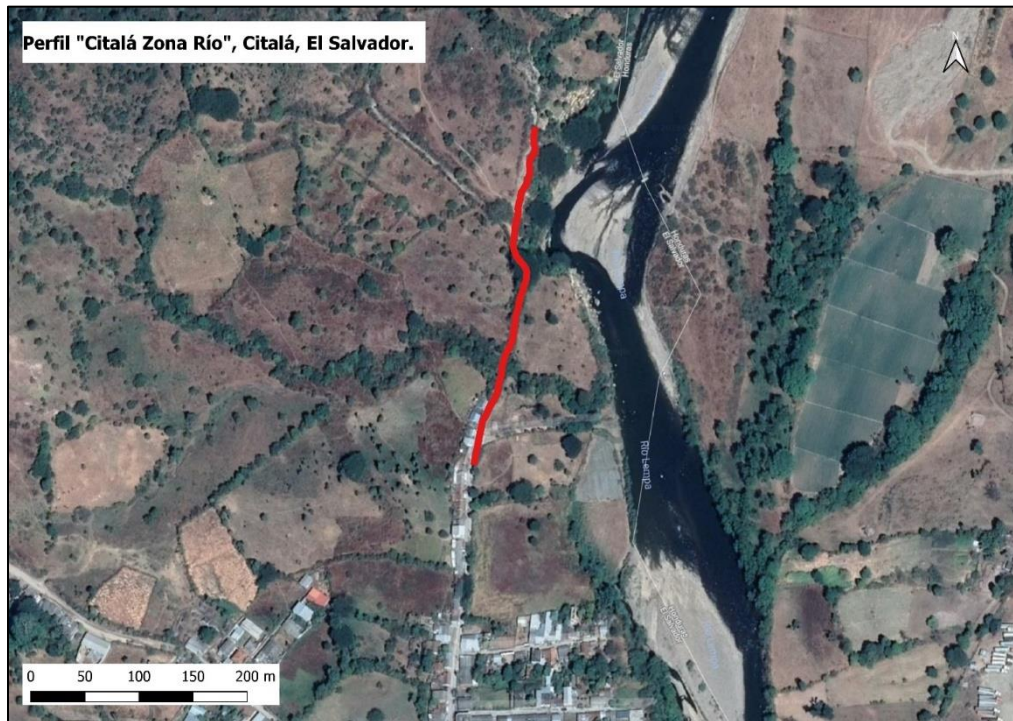


Figura 44. Perfil correspondiente a Citalá Río (Línea Roja), extensión de 300 metros debido a la cercanía del río Lempa. (Fuente: Elaboración Propia).

Tabla 15. Resumen de las características principales de las Tomografías Eléctricas 2D realizadas en la campaña de campo (Fuente: Elaboración Propia)

Listado de Tomografías Eléctricas 2D, campaña ATOC 2019¹

ID	Nombre	Municipio	País	X	Y	Z	Arreglo	Longitud [m]	Espaciamiento [m]
ATOC-001	San Ignacio 1	San Ignacio	El Salvador	262664.47	1588491.2	833	Wenner – L	400	10
ATOC-002	La Vuelta	San Ignacio	El Salvador	261999.78	1588878.72	776	Wenner – L	400	10
ATOC-003	Citalá Río	Citalá	El Salvador	261316.93	1591120.28	730	Wenner 32 SX (Roll Along)	300	5
ATOC-004	Zacamil	Concepción	Honduras	262582.34	1604622.82	964	Wenner – L	400	10
ATOC-005	Concepción Pozo	Concepción	Honduras	261717.56	1604403.66	836	Wenner 32 SX	200	5
ATOC-006	Santa Fe Graveyard	Santa Fe	Honduras	259781.84	1604333.3	872	Wenner – L	400	10
ATOC-007	Relleno Sanitario	Concepción	Honduras	262027.97	1600250.32	826	Wenner – L	400	10

¹ Las coordenadas presentadas en esta tabla corresponden a la proyección UTM Zona 16 N, Datum WGS84.

Listado de Tomografías Eléctricas 2D, campaña ATOC 2019 (cont.)

ID	Nombre	Municipio	País	X	Y	Z	Arreglo	Longitud [m]	Espaciamiento [m]
ATOC-008	Sinuapa Graveyard	Sinuapa	Honduras	263338.86	1597609.21	808	Wenner 32 SX	200	5
ATOC-009	Santa Anita Arriba	Concepción	Honduras	260585.89	1601995.11	874	Wenner – L	400	10
ATOC-010	Santa Anita Abajo	Concepción	Honduras	261181.07	1602515.06	819	Wenner – L	400	10
ATOC-011	Sinuapa Cultivos	Sinuapa	Honduras	263612.57	1598661.07	811	Wenner 32 SX	200	5
ATOC-012	Antigua Ocotepeque	Nueva Ocotepeque	Honduras	262631.36	1592558.76	759	Wenner 32 SX	200	5
ATOC-013	El Poy HN	Nueva Ocotepeque	Honduras	261943.65	1591157.31	726	Wenner 32 SX	200	5

Como se detalla en la Tabla 15 los protocolos electródicos utilizados en la campaña de recolección de datos de campo fue el Wenner – L y el Wenner 32 SX, estos protocolos están incluidos dentro de la configuración del Lund Imaging System, y proporcionan una toma de datos ordenada y automática en campo. Cada una de las mediciones tomó alrededor de 40 – 60 minutos, dependiendo de la extensión y configuración electródica seleccionada.



Figura 45. Ubicación de los electrodos de inyección de corriente y medición de voltaje para los arreglos Wenner - L y 32SX (Fuente: Elaboración Propia).

En algunos casos, el terreno presentaba resequedad por lo que se realizó la “hidratación” de los electrodos inyectoros de corriente y de medición de voltaje a partir del uso de una bomba de agua con solución salobre (Figura 46), dicha solución ayuda a que la inyección de corriente sea más fácil en cada uno de los puntos.



Figura 46. Proceso de hidratación de electrodos durante la toma de datos de resistividad eléctrica (Fuente: Elaboración propia).

Todas las TE2D se realizaron dentro de los límites del ATOC, a excepción de la ATOC-004 que se realizó en una región próxima dentro de la jurisdicción del municipio de Concepción, Honduras; esta TE2D sirvió para analizar los valores en zonas no acuíferas de la región de la CARL. Además, la tomografía ATOC – 003, se realizó en la región de transición entre la región acuífera y la no acuífera; gracias a la configuración utilizada se pueden realizar interpretaciones y análisis de las condiciones en zonas de transición del ATOC.

3.2.2. Pruebas de Infiltración por permeámetro de Guelph

Con el propósito de realizar las correlaciones pertinentes y la optimización en la logística de adquisición de datos, las pruebas de infiltración correspondientes a la campaña de campo se llevaron a cabo en lugares próximos a la realización de las TE2D, siendo de la misma manera que los estudios de resistividad 13 puntos de adquisición de datos (Figura 47).

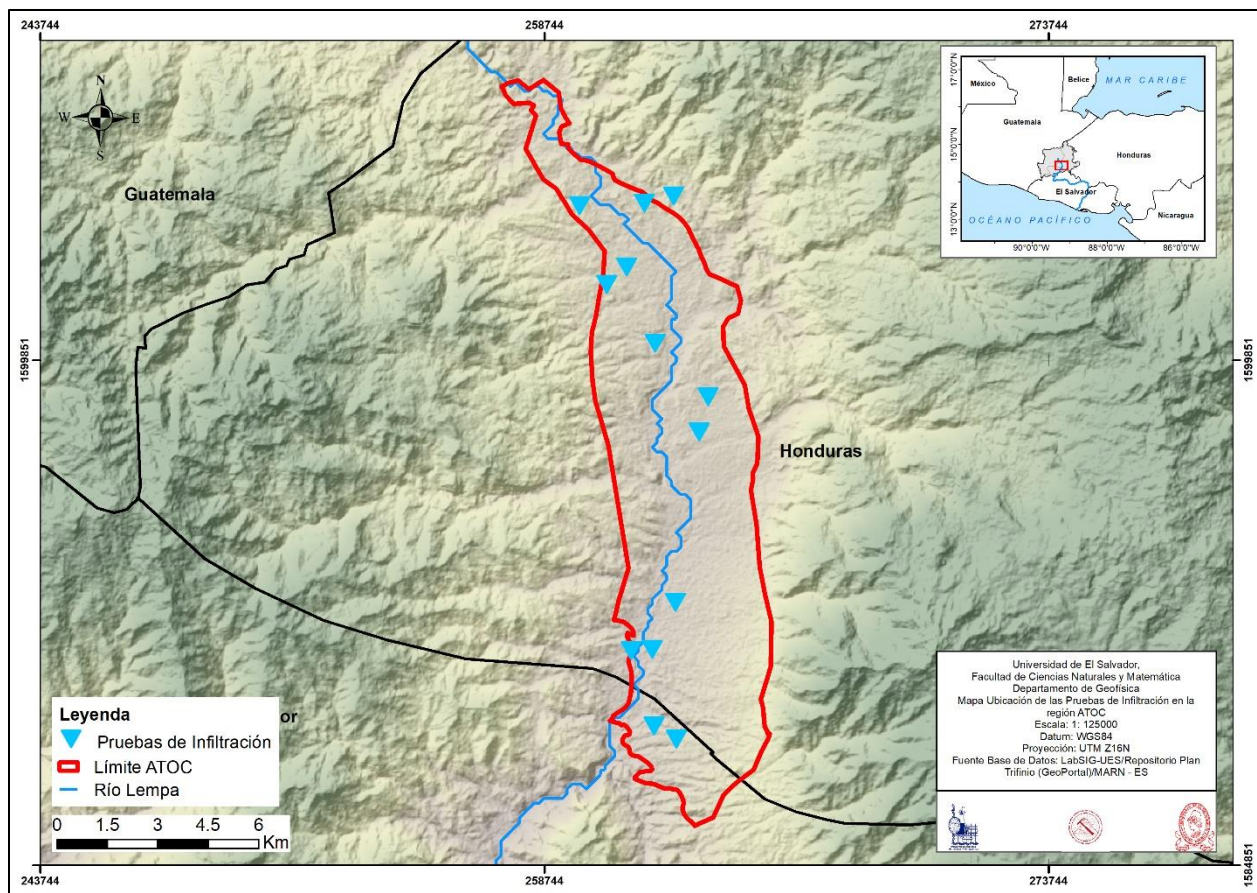


Figura 47. Ubicación de las pruebas de infiltración por medio del Permeámetro de Guelph (Fuente: Elaboración Propia).

Los puntos de muestreo se enlistan en la Tabla 16, detallando los parámetros principales de cada medición, entre ellos la carga hidráulica, diámetro del orificio y la ubicación de cada una de las pruebas.

El permeámetro de Guelph permite obtener un valor de la tasa de infiltración a partir de un promedio de observaciones del descenso del nivel de agua del recipiente contenedor. Las observaciones son apuntadas en una tabla de registro que posteriormente son trasladadas a una hoja de cálculo que automatiza el cálculo de la tasa de infiltración a partir de los valores ingresados.

Tabla 16. Tabla de puntos de toma de datos de las pruebas de infiltración por medio del método de Permeámetro de Guelph (Fuente: Elaboración Propia).

Listado de Pruebas de Infiltración por método de Permeámetro de Guelph, campaña ATOC 2019²

ID	Nombre	Municipio	País	X	Y	Z	Prof. Agujero [m]	Diámetro Agujero [m]	Carga hidráulica [m]
PIPG-001	San Ignacio 1	San Ignacio	El Salvador	262664.47	1588491.2	833	0.35	0.08	0.05 y 0.10
PIPG-002	La Vuelta	San Ignacio	El Salvador	261999.78	1588878.72	776	0.30	0.10	0.05 y 0.10
PIPG-003	Citalá Río	Citalá	El Salvador	261316.93	1591120.28	730	0.36	0.08	0.05 y 0.10
PIPG-004	Zacamil	Concepción	Honduras	262582.34	1604622.82	964	0.36	0.08	0.10
PIPG-005	Concepción Pozo	Concepción	Honduras	261717.56	1604403.66	836	0.30	0.08	0.05 y 0.10
PIPG-006	Santa Fe Graveyard	Santa Fe	Honduras	259781.84	1604333.3	872	0.20	0.10	0.10
PIPG-007	Relleno Sanitario	Concepción	Honduras	262027.97	1600250.32	826	0.34	0.05	0.05 y 0.10
PIPG-008	Sinuapa Graveyard	Sinuapa	Honduras	263338.86	1597609.21	808	0.42	0.09	0.05

² Las coordenadas presentadas en esta tabla corresponden a la proyección UTM Zona 16 N, Datum WGS84.

Listado de Pruebas de Infiltración por método de Permeámetro de Guelph, campaña PIPG 2019 (cont.)

ID	Nombre	Municipio	País	X	Y	Z	Prof. Agujero [m]	Diámetro Agujero [m]	Carga hidráulica [m]
PIPG-009	Santa Anita Arriba	Concepción	Honduras	260585.89	1601995.11	874	0.23	0.10	0.05 y 0.10
PIPG-010	Santa Anita Abajo	Concepción	Honduras	261181.07	1602515.06	819	0.40	0.09	0.05 y 0.10
PIPG-011	Sinuapa Cultivos	Sinuapa	Honduras	263612.57	1598661.07	811	0.40	0.08	0.05 y 0.10
PIPG-012	Antigua Ocotepeque	Nueva Ocotepeque	Honduras	262631.36	1592558.76	759	0.34	0.08	0.10
PIPG-013	El Poy HN	Nueva Ocotepeque	Honduras	261943.65	1591157.31	726	0.38	0.08	0.05

El proceso para la realización constó del ensamblaje, preparación del agujero (perforación y medición de diámetro de agujero), montaje en terreno e inicialización y medición (Figura 48) de los valores de la tasa de infiltración.



Figura 48. Proceso de a) Montaje, b) Preparación del agujero, c) Instalación y d) Toma de datos del permeámetro de Guelph (Fuente: Elaboración Propia).

Las mediciones de infiltración de agua en suelo tuvieron una duración entre 6 – 11 minutos, dependiente de las características físicas del suelo donde se realizó la prueba. Caracterizando su finalización cuando se observaba una tendencia en el descenso de agua.

3.3. Procesamiento de datos

El procesamiento de datos se basó en la realización de metodologías y rutinas de trabajo establecidas para obtener los recursos necesarios para la elaboración del modelo hidrogeológico conceptual del ATOC. Dentro de los procesos más importantes que se llevaron a cabo en esta fase son la determinación de la dirección de flujo de agua subterránea, la delimitación de unidades estratigráficas por medio de geofísica, el balance hídrico de suelos por medio del método de Schosinsky y la creación e identificación de las capas acuíferas por medio columnas litológicas. A continuación, se brinda detalle de los procesos más importantes de la investigación.

3.3.1. Actualización del mapa de Uso de Suelo

La CTPT durante un largo periodo de tiempo ha colectado información referente a la región trifinio, generando productos gráficos geospaciales que ayudan a la comprensión de la situación de la región; el mapa de uso de suelos generado en el 2010 a partir de la clasificación supervisada de una imagen satelital de alta resolución permitió obtener el producto presentado en la Figura 49

(1). La clasificación que posee esa capa vectorial posee un detalle bastante elevado, de tal manera que se requiere hacer una clasificación más gruesa para poner definir polígonos de uso de suelo más generales y con una clasificación acorde a la metodología de trabajo. Para conseguir lo anterior se realizó una inspección visual en la zona durante la fase de colecta de datos, en donde se detalló el uso de suelo de los puntos donde se realizaron mediciones, además se utilizó una imagen satelital de alta resolución de los servidores de la empresa Google (Figura 49(2)) para corroborar los puntos que no fueron inspeccionados in situ. Comparando el mapa propuesto por el CTPT, las observaciones en campo y la imagen satelital se logró crear un mapa de uso de suelo con una escala y clasificación más acorde (Figura 49(3)) para ser utilizado con la metodología de balance hídrico de Schosinsky.

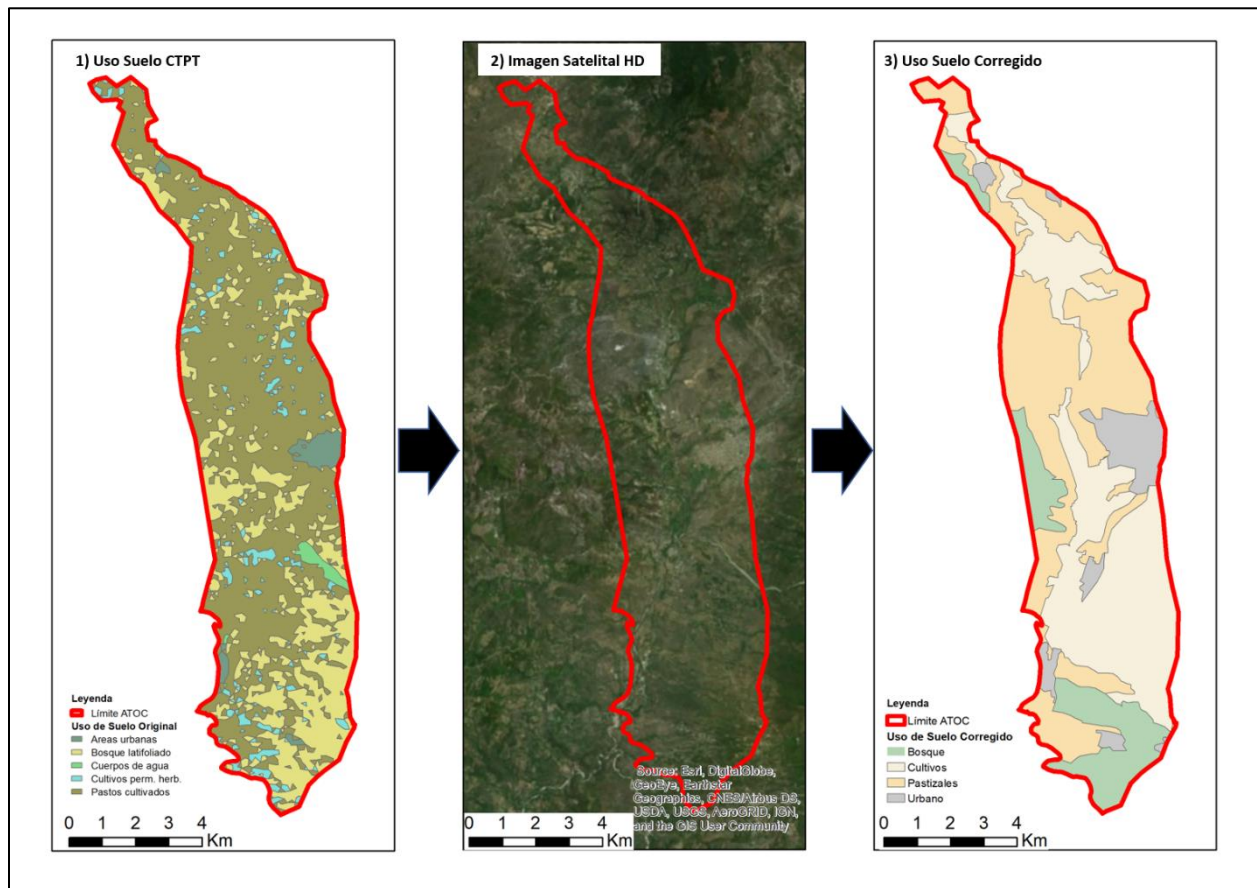


Figura 49. Secuencia de actualización del mapa de uso de suelo de la región ATOC. 1) Uso de suelo propuesto por la CTPT basado en clasificación por imagen satelital; 2) Imagen satelital de alta resolución para constatar y clasificar el uso de suelo; 3) Mapa de uso de suelo generalizado con los usos de suelo compatibles con la metodología de Schosinsky (Fuente: Elaboración Propia)

Las características principales del nuevo mapa de uso de suelo son la clasificación de uso de suelo y el cambio en la escala de los segmentos de uso de suelo.

3.3.2. Creación de polígonos de Thiessen

Esta herramienta se utiliza para dividir el área cubierta por las entidades de puntos en zonas de Thiessen o proximales. Estas zonas representan áreas completas donde cualquier ubicación dentro de la zona está más cerca de su punto de entrada asociado que de cualquier otro punto de entrada (ESRI, 2019).

Para nuestro caso, se tenía 5 puntos de entrada, los cuales representaban a estaciones meteorológicas que se encuentran cerca de la región ATOC (Esquipulas, Nueva Ocotepeque, Las Pilas, Planes de Montecristo y La Palma) (Figura 50). El propósito de la creación de los polígonos fue para corroborar cuál estación meteorológica era más representativa para aportar los datos de evapotranspiración, precipitación y temperatura a los usos de suelo de la región ATOC.

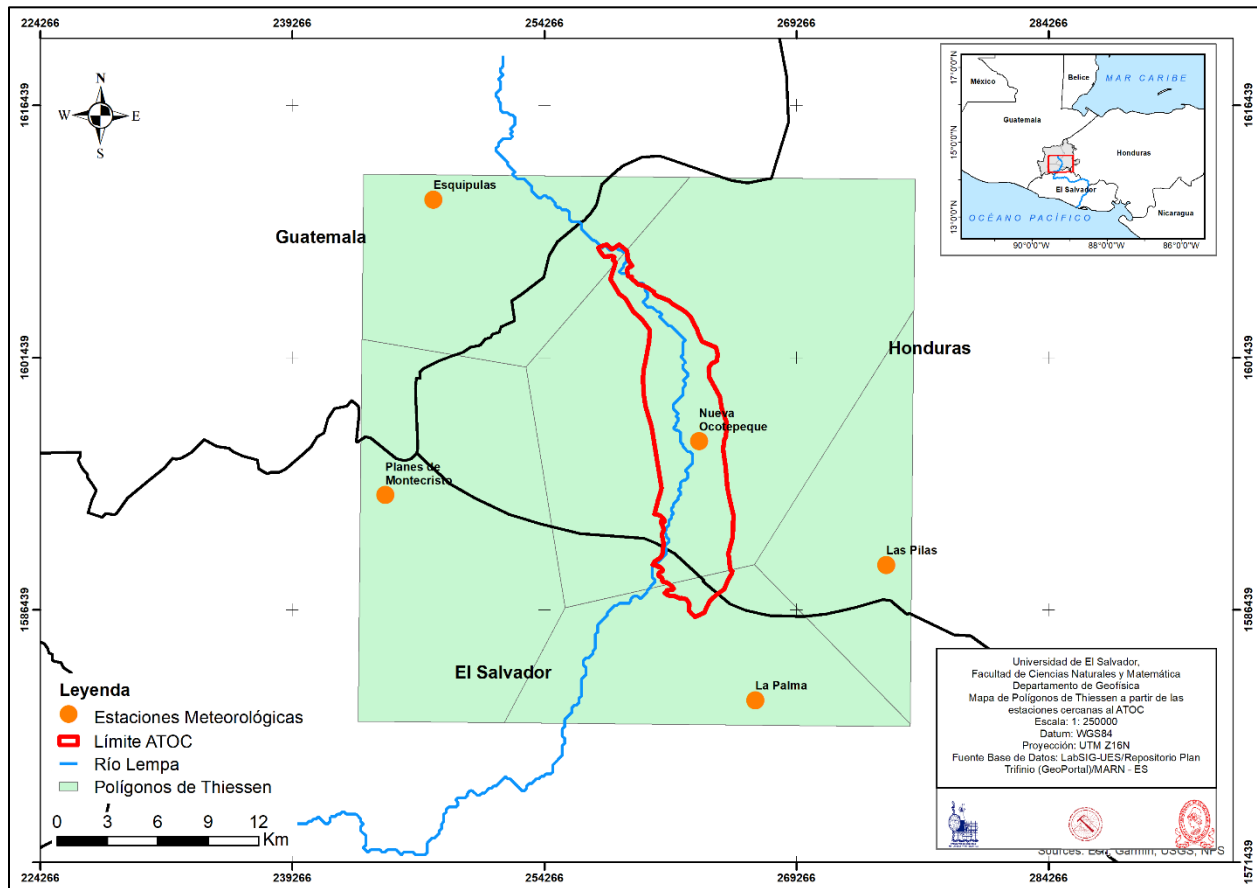


Figura 50. Polígonos de Thiessen correspondientes a las estaciones meteorológicas cercanas a la región del ATOC (Fuente: Elaboración Propia).

Para esta investigación se determinó que la estación de Nuevo Ocotepique engloba prácticamente toda el área del acuífero, a excepción de una pequeña porción al Sur y Norte del área en cuestión (estación La Palma y estación Esquipulas). Dado que la extensión de terreno es pequeña en porcentaje y que las condiciones de terreno como la topografía son más similares al área que engloba la estación de Nuevo Ocotepique se decidió trabajar completamente con los valores que proporciona la estación Nuevo Ocotepique.

Además, se realizó el procedimiento de polígonos de Thiessen para los puntos donde se realizaron pruebas de infiltración (Figura 51). A diferencia de los polígonos generados a partir de las estaciones meteorológicas, los polígonos de Thiessen de las pruebas de infiltración mantendrán su influencia siempre y cuando estos queden dentro de la delimitación del ATOC.

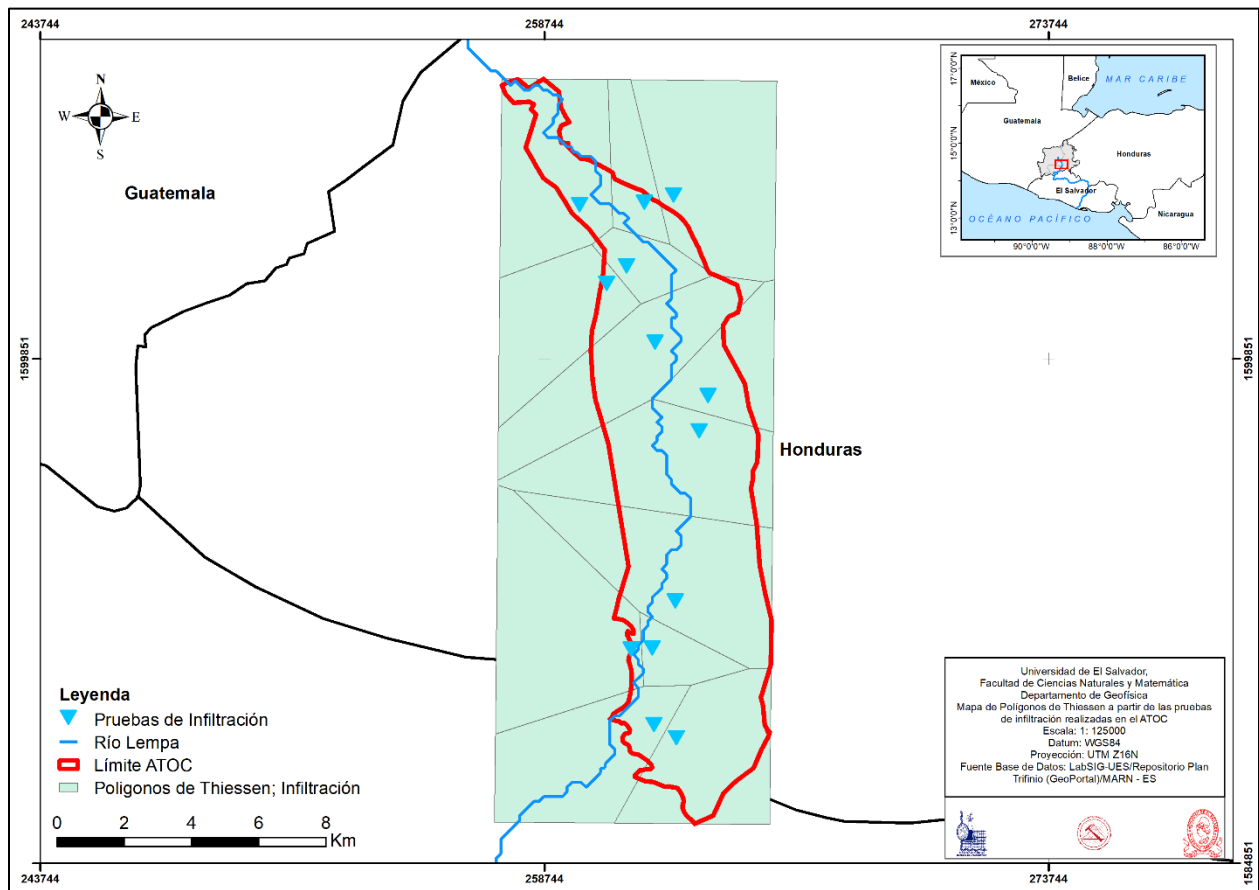


Figura 51. Polígonos de Thiessen generados a partir de las pruebas de infiltración realizadas en la región del ATOC (Fuente: Elaboración Propia).

Para mejorar la precisión en los cálculos y la implementación de la metodología de Schosinsky para el cálculo del balance hídrico, se realizó un recorte de los polígonos de Thiessen de las pruebas

de infiltración (Figura 52), de esta manera, se podrá a su vez asociar un valor del coeficiente de infiltración y su correspondiente tipo y textura de suelo como se detallará en la siguiente sección.

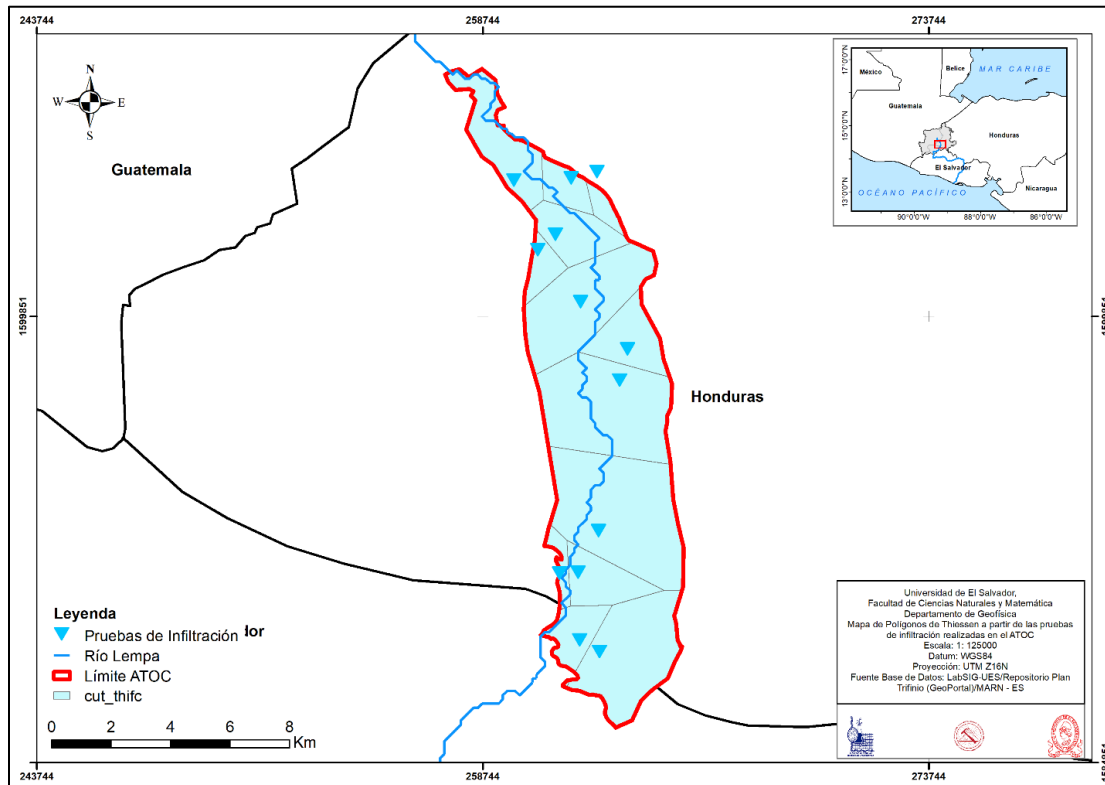


Figura 52. Polígonos de Thiessen de las pruebas de infiltración recortados y ajustados a la región del ATOC (Fuente: Elaboración Propia).

3.3.3. Cálculo del coeficiente de infiltración por Permeámetro de Guelph

Las pruebas de infiltración por medio del permeámetro de Guelph nos permite obtener un valor de la capacidad de infiltración (f_c) a partir del ingreso de la tasa de infiltración medida en campo (R) dentro de una hoja de cálculo creada por la empresa Soil Moisture (Figura 53).

Los elementos marcados con color verde en la hoja de cálculo son parámetros de entrada, referentes al diámetro del tubo del reservorio, la carga hidráulica, el radio del agujero en el que se ubicó el tubo para la medición, la textura de suelo y los valores de la tasa de infiltración obtenidos en campo.

Guelph Permeameter

Legend: Input Result

Single Head Method (1)

Reservoir Cross-sectional area in cm^2
 (enter "35.22" for Combined and "2.16" for Inner reservoir): **2.16**

Enter water Head Height ("H" in cm): **5**

Enter the Borehole Radius ("a" in cm): **3**

texture-structure category (enter one of the below numbers): **3**

1. Compacted, Structure-less, clayey or silty materials such as landfill caps and liners, lacustrine or marine sediments, etc.
 2. Soils which are both fine textured (clayey or silty) and unstructured; may also include some fine sands.
 3. Most structured soils from clays through loams; also includes unstructured medium and fine sands. The category most frequently applicable for agricultural soils.
 4. Coarse and gravelly sands; may also include some highly structured soils with large and/or numerous cracks, macropores, etc.

Steady State Rate of Water Level Change ("R" in cm/min): **0.3500**

Res Type: 2.16
 H: 5
 a: 3
 Ha: 1.57
 a^2 : 0.12
 C: 0.8032
 Q: 0.0054

K_s : **0.0000 cm/sec**
0.0000 cm/min
0.0000 m/sec
0.0000 inch/min
0.0000 inch/sec

Φ_{s-} : **0.0000 cm²/min**

Single Head Method (2)

Reservoir Cross-sectional area in cm^2
 (enter "35.22" for Combined and "2.16" for Inner reservoir): **35.22**

Enter water Head Height ("H" in cm): **10**

Enter the Borehole Radius ("a" in cm): **3**

texture-structure category (enter one of the below numbers): **3**

1. Compacted, Structure-less, clayey or silty materials such as landfill caps and liners, lacustrine or marine sediments, etc.
 2. Soils which are both fine textured (clayey or silty) and unstructured; may also include some fine sands.
 3. Most structured soils from clays through loams; also includes unstructured medium and fine sands. The category most frequently applicable for agricultural soils.
 4. Coarse and gravelly sands; may also include some highly structured soils with large and/or numerous cracks, macropores, etc.

Steady State Rate of Water Level Change ("R" in cm/min): **0.2500**

Res Type: 35.22
 H: 10
 a: 3
 Ha: 3.3333
 a^2 : 0.12
 C: 1.2875
 Q: 0.1468

K_s : **0.0000 cm/sec**
0.0000 cm/min
0.0000 m/sec
0.0000 inch/min
0.0000 inch/sec

Φ_{s-} : **0.0000 cm²/min**

Average

K_s : **0.0000 cm/sec**
0.0000 cm/min
0.0000 m/sec
0.0000 inch/min
0.0000 inch/sec

Φ_{s-} : **0.0000 cm²/min**

Enter the soil texture-structure category (enter one of the below numbers): **3**

Double Head Method

Reservoir Cross-sectional area in cm^2
 (enter "35.22" for Combined and "2.16" for Inner reservoir): **2.16**

Enter the first water Head Height ("H1" in cm): **5**

Enter the second water Head Height ("H2" in cm): **10**

Enter the Borehole Radius ("a" in cm): **3**

texture-structure category (enter one of the below numbers): **3**

1. Compacted, Structure-less, clayey or silty materials such as landfill caps and liners, lacustrine or marine sediments, etc.
 2. Soils which are both fine textured (clayey or silty) and unstructured; may also include some fine sands.
 3. Most structured soils from clays through loams; also includes unstructured medium and fine sands. The category most frequently applicable for agricultural soils.
 4. Coarse and gravelly sands; may also include some highly structured soils with large and/or numerous cracks, macropores, etc.

Steady State Rate of Water Level Change ("R1" in cm/min): **0.3000**

Steady State Rate of Water Level Change ("R2" in cm/min): **0.6000**

α^2 : **0.12 cm²**
 α : **0.4242 cm^{1/2}**
 Q_1 : **0.0308**
 Q_2 : **0.0216**
 C_1 : **0.8832**

Res Type: 2.16
 H1a: 1.56667
 H2a: 3.33333

Figura 53. Interfaz de usuario de la hoja de cálculo de Soil Mosture para obtener el coeficiente de infiltración de suelo a partir de Permeámetro de Guelph (Fuente: Elaboración Propia con información de Soil Mosture).

En la primera casilla referente al diámetro del tubo, debemos especificar si se utilizó el reservorio combinado (35.22 cm^2) o si utilizamos únicamente el reservorio interno (2.16 cm^2), en nuestra investigación para todas las pruebas de infiltración se utilizó el reservorio combinado. En la segunda casilla introducimos el valor de la carga hidráulica que utilizamos en campo, la hoja de cálculo nos permite hacer cálculo para dos pruebas de manera simultánea y promediar los valores, de esta manera se pudo ingresar los valores de carga hidráulica (5 y 10 cm) cuando fuese necesario. El tercer parámetro de entrada, radio de agujero, fue de los más variantes en las mediciones de campo, esto debido a la variabilidad de los tipos de suelo. En cuanto a la categoría o tipo de textura de suelo nos auxiliamos de observaciones realizadas en campo, dado que las categorías que la hoja de cálculo presenta para ser consideradas son bastante específicas (Tabla 17). Por último, se ingresa el valor obtenido de la tasa de infiltración por medio de las medidas de campo.

Tabla 17. Categorías de los materiales a ingresar en la hoja de cálculo de Soil Mosture (Fuente: Soil Mosture)

Identificador de Textura	Categoría Del Medio Poroso
1	Material arcilloso, compactos, poco estructurados
2	Suelos que tienen estructura fina y desestructurada
3	Suelos estructurados, arenas desestructuradas pasando por francos
4	Arenas gruesas y gravas. Se incluyen algunos suelos con gran estructura como fisuras y macroporos

Los valores obtenidos en campo de (R), los tipos de textura seleccionados y el resto de parámetros de entrada para cada prueba de infiltración así como los valores resultantes de (*fc*) se detallan en la Tabla 18; dichos valores se utilizaron posteriormente para el correspondiente cálculo de balance hídrico de suelos según la metodología de (Schosinsky, 2006).

Tabla 18. Valores de entrada para el cálculo de *fc* a partir de la hoja de cálculo Soil Moisture

Nombre	Carga hidráulica [m]	Radio Agujero [m]	Textura	R carga 5 cm [cm/min]	R carga 10 cm [cm/min]	fc [mm/día]
San Ignacio 1	0.05 y 0.10	0.04	2	1	1.5	364.608
La Vuelta	0.05 y 0.10	0.05	3	1	0.8	457.056
Citalá Río	0.05 y 0.10	0.04	3	0.7	1	481.248
Zacamil	0.1	0.04	2	-	0.2	36.6336
Concepción Pozo	0.05 y 0.10	0.04	2	0.5	0.6	164.16
Santa Fe Graveyard	0.1	0.05	2	-	2	421.632
Relleno Sanitario	0.05 y 0.10	0.025	2	0.5	0.5	206.496
Sinuapa Graveyard	0.05	0.045	2	0.5	-	167.616
Santa Anita Arriba	0.05 y 0.10	0.05	2	2	11	1468.8
Santa Anita Abajo	0.05 y 0.10	0.045	3	1	0.8	497.664
Sinuapa Cultivos	0.05 y 0.10	0.04	2	1.5	2	516.672
Antigua Ocotepeque	0.1	0.04	2	-	0.5	121.824
El Poy HN	0.05	0.04	2	1	-	362.88

Otro de los puntos importantes que se pueden calcular a partir del valor de la infiltración son los diferentes tipos de suelos que existen en la región. (Deras Cortéz, 2003) propone una clasificación de suelos para el país, esta está vinculada con los valores de infiltración básica en mm/hr y mm/día (Tabla 19).

Tabla 19. Clasificación de suelos basados en la capacidad de infiltración (Fuente: (Deras Cortéz, 2003)).

Tipo de Suelo	Infiltración Básica (mm/hr)	Infiltración Básica (mm/día)
Arcilloso	1 –5	24-120
Franco-Arcilloso	5 –10	120 –240
Franco-Limoso	10 –20	240 –480
Franco-Arenoso	20 –30	480 –720
Arenoso	30 o más	720 o más

Con los datos anteriormente presentados, se pudo obtener una clasificación del tipo de suelo a partir de los valores de f_c obtenidos con las pruebas de infiltración (Tabla 20) que a su vez pueden ser representados por polígonos de Thiessen (Figura 54) para facilitar el cálculo del Balance Hídrico.

Tabla 20. Tipo de suelo basado en la infiltración básica según la clasificación de (Deras Cortéz, 2003) (Fuente: Elaboración Propia)

ID	Nombre	N° Polígono	f_c [mm/d]	Tipo de Suelo
PIPG-001	San Ignacio 1	1	364.608	Franco-Limoso
PIPG-002	La Vuelta	2	457.056	Franco-Limoso
PIPG-003	Citalá Río	3	481.248	Franco-Arenoso
PIPG-004	Zacamil	4	36.6336	Arcilloso
PIPG-005	Concepción Pozo	5	164.16	Franco-Arcilloso
PIPG-006	Santa Fe Graveyard	6	421.632	Franco-Limoso
PIPG-007	Relleno Sanitario	7	206.496	Franco-Arcilloso
PIPG-008	Sinuapa Graveyard	8	167.616	Franco-Arcilloso
PIPG-009	Santa Anita Arriba	9	1468.8	Arenoso
PIPG-010	Santa Anita Abajo	10	497.664	Franco-Arenoso
PIPG-011	Sinuapa Cultivos	11	516.672	Franco-Arenoso
PIPG-012	Antigua Ocotepeque	12	121.824	Franco-Arcilloso
PIPG-013	El Poy HN	13	362.88	Franco-Limoso

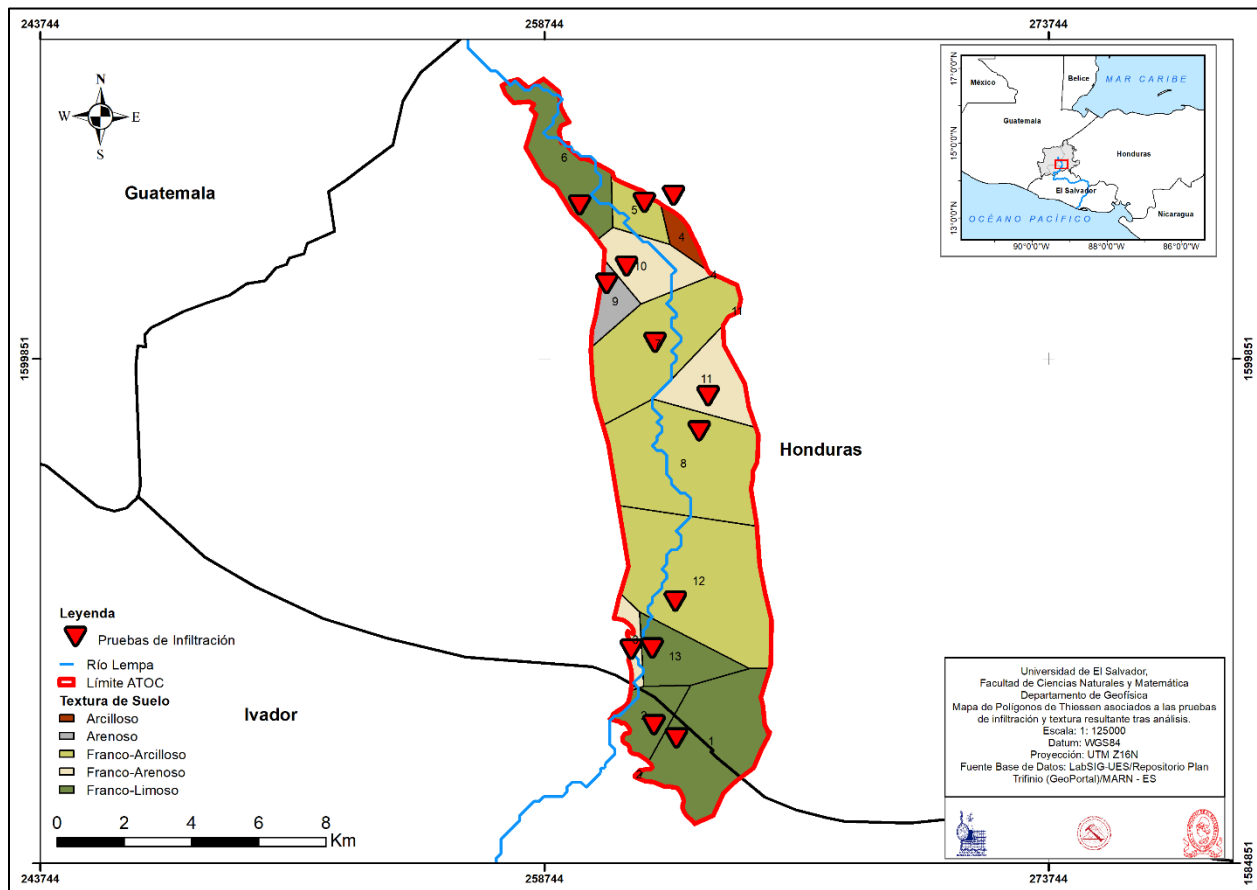


Figura 54. Polígonos de Thiessen de los tipos de suelo con base a la capacidad de infiltración del suelo (Fuente: Elaboración propia).

3.3.4. Balance Hídrico por metodología de Schosinsky

Una vez obtenido el mapa de uso de suelo actualizado (Figura 49(3)), los polígonos de Thiessen referentes a la precipitación y evapotranspiración (Figura 50) y obtenido el valor de infiltración y tipo de suelo (Figura 54) se realizó una trasposición de los 3 mapas (Figura 55), con el propósito de general diferentes polígonos en los cuales se evaluó y desarrolló el Balance Hídrico de cada uno.

Además, a partir de los valores de tipo de suelo y uso de suelo, se determinó el resto de los parámetros necesarios para la realización del Balance Hídrico de Schosinsky (Tabla 21). De esta manera, se consiguió tener la información suficiente para elaborar el balance hídrico por cada polígono y posteriormente de todo el ATOC.

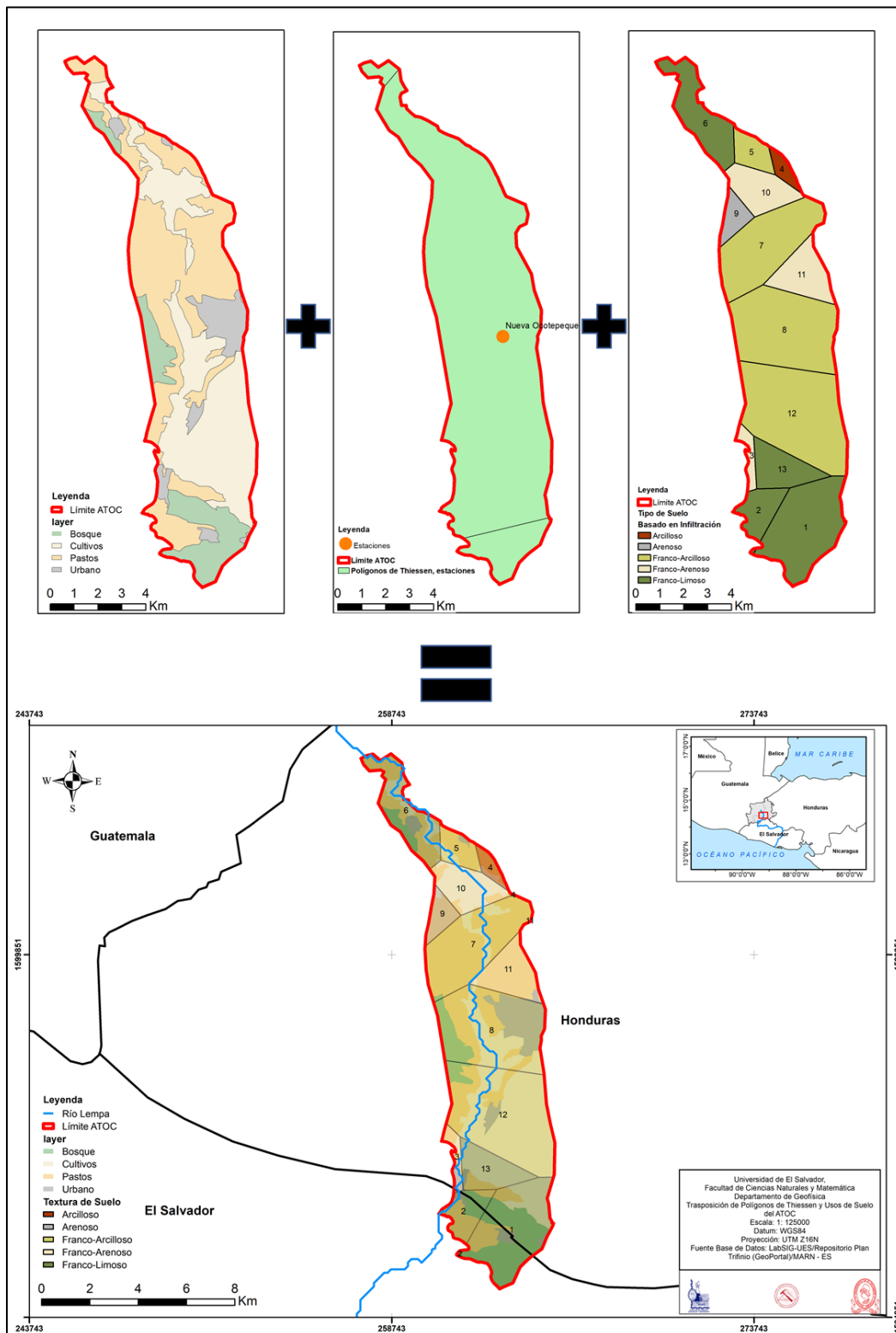


Figura 55. Trasposición de los mapas de información más importantes para la generación del balance hídrico de suelos del ATOC. Sup.Izq: Mapa uso de suelo; Sup. Cent.: Polígonos de

Thiessen de Estaciones; Sup.Der.: Polígonos de Thiessen de tipo de suelo basado en infiltración (Fuente: Elaboración Propia).

Tabla 21. Parámetros de entrada utilizados en el cálculo del balance hídrico del ATOC por método de Schosinsky (Fuente: Elaboración propia con datos de (Schosinsky, 2006)).³

Id	Nombre	Tipo Suelo	PMP [%]	CC [%]	DS [g/cm³]	PR [mm]	Kp	Kv
PIPG-001	San Ignacio 1	Franco-Limoso	10	22	1.43	D.U.S	0.06	D.U.S
PIPG-002	La Vuelta	Franco-Limoso	10	22	1.43	D.U.S	0.06	D.U.S
PIPG-003	Citalá Río	Franco-Arenoso	6	14	1.5	D.U.S	0.06	D.U.S
PIPG-004	Zacamil	Arcilloso	17	35	1.25	D.U.S	0.06	D.U.S
PIPG-005	Concepción Pozo	Franco-Arcilloso	13	27	1.35	D.U.S	0.06	D.U.S
PIPG-006	Santa Fe Graveyard	Franco-Limoso	10	22	1.43	D.U.S	0.06	D.U.S
PIPG-007	Relleno Sanitario	Franco-Arcilloso	13	27	1.35	D.U.S	0.06	D.U.S
PIPG-008	Sinuapa Graveyard	Franco-Arcilloso	13	27	1.35	D.U.S	0.1	D.U.S
PIPG-009	Santa Anita Arriba	Arenoso	4	9	1.68	D.U.S	0.06	D.U.S
PIPG-010	Santa Anita Abajo	Franco-Arenoso	6	14	1.5	D.U.S	0.1	D.U.S
PIPG-011	Sinuapa Cultivos	Franco-Arenoso	6	14	1.5	D.U.S	0.1	D.U.S
PIPG-012	Antigua Ocotepeque	Franco-Arcilloso	13	27	1.35	D.U.S	0.1	D.U.S
PIPG-013	El Poy HN	Franco-Limoso	10	22	1.43	D.U.S	0.1	D.U.S

³En la tabla las siglas D.U.S: Dependiendo del Uso de Suelo del polígono; PMP: punto de marchitez permanente; CC: capacidad de campo; DS: densidad del suelo; PR: profundidad de raíces; Kp: Coeficiente por pendiente de terreno; Kv: coeficiente por vegetación del polígono.

Con todos los datos de entrada necesarios el cálculo del balance hídrico se llevó a cabo por medio de la hoja de cálculo del Balance Hídrico de Schosinsky (Figura 56), en la cual se ingresó el nombre del lugar evaluado y el tipo de uso de suelo que cubría el polígono. Cabe recalcar que para todo el proceso de cálculo se utilizó nada más una estación meteorológica (Nueva Ocoatepeque), con el motivo de facilitar el cálculo del balance hídrico.

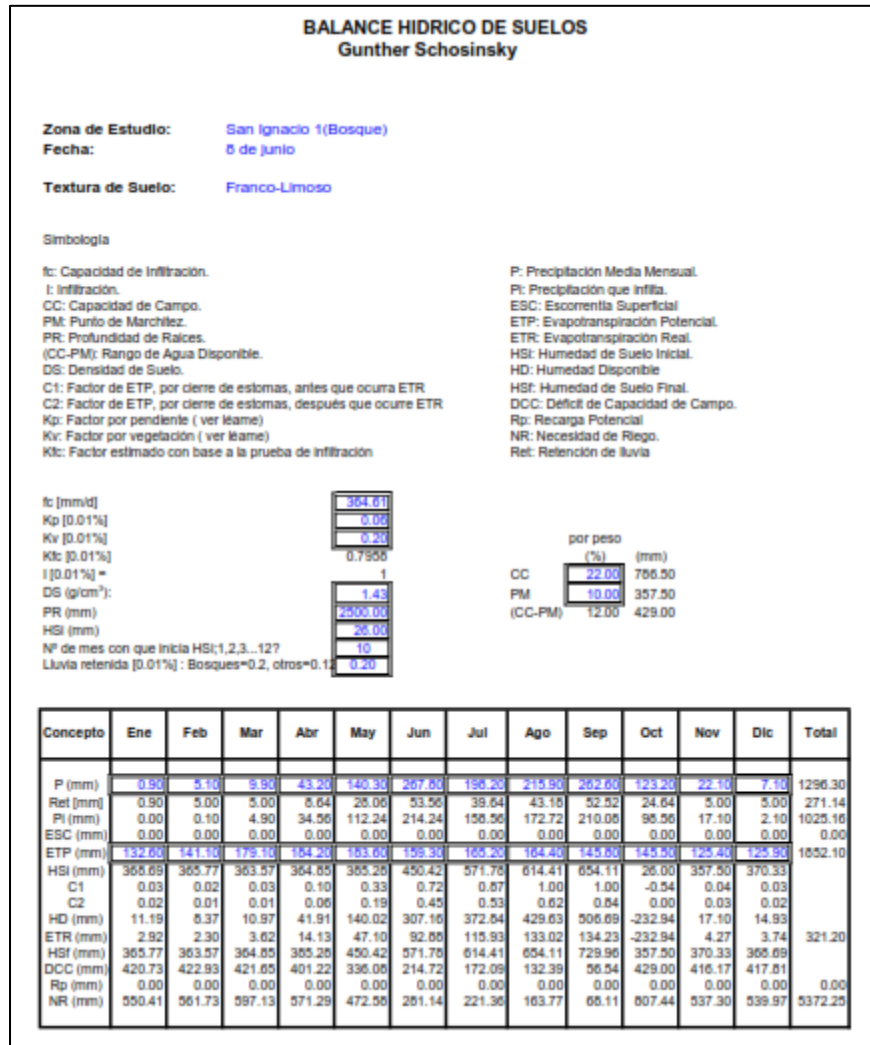


Figura 56. Hoja de cálculo de Balance Hídrico de Suelos; en azul se presentan todos los parámetros de entrada con sus respectivas unidades (Fuente: Modificado de (Schosinsky, 2006)).

Los parámetros mostrados en la Tabla 21 son los resultados promedio de los valores propuestos por (Schosinsky, 2006); este promedio se realizó a manera de facilitar los cálculos. La selección

del mes de inicio del ciclo se establece mediante observación del mes que tiene un valor de evapotranspiración potencial (ETP) mayor que la precipitación (P) posterior a una serie de meses que tienen mayor precipitación que evapotranspiración, para nuestra investigación se determinó que el mes de inicio del ciclo es octubre (mes 10). Por otro lado, los valores del coeficiente de vegetación (K_v) y profundidad de raíces (PR) se seleccionaron en algunos casos por observaciones de campo y verificación por medio de imágenes satelitales.

El balance hídrico se realizó por intersección de polígonos de estación meteorológica, uso de suelo y tipo de suelo, teniendo así 3 posibles evaluaciones por cada polígono de infiltración generado, la Tabla 22 presenta los usos de suelo evaluados por cada polígono.

Tabla 22. Distribución de balances hídricos por polígono y uso de suelos en el ATOC. (Fuente: Elaboración Propia)

Polígono	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
Uso de Suelo	Bosque	Sí	Sí	No	No	No	Sí	Sí	Sí	No	No	No	Sí	No
	Pasto	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
	Cultivo	Sí	No	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí

El resultado de la evaluación del balance hídrico de suelos por polígono nos proporcionó como resultado el valor de evapotranspiración potencial (ETR), la escorrentía (ESC) y la recarga potencial (RP).

3.3.5. Inversión de los datos de resistividad eléctrica (SEV y TE2D)

Para los datos de resistividad, tanto SEV como TE2D, se utilizó software especializado en el procesamiento, depuración e inversión de los datos. Para el caso de los SEV, la reinterpretación de los datos de la campaña realizada por (Geociencia Aplicada, 2015) se llevó a cabo con el software DCINV, el cual permite crear modelos de capas a partir de la modelación de la curva de resistividad resultante. Para utilizar el software se requirió poner los datos en un formato reconocible para el mismo (Figura 57(1)), posteriormente ingresarlos al software (Figura 57(2)(3)) y manipular la cantidad de capas máxima que deseábamos modelar; al ser de mayor interés el acuífero superficial en nuestra investigación, la cantidad máxima de capas fue de 6 capas. Una vez con los datos cargados, se manipuló la profundidad y el valor de la resistividad de manera manual

o “semiautomática” a través de la opción “optimizar” (Figura 57(5)), la cual trataba de acoplar el modelo a los valores observados en campo de la manera que más se aproximara. Una vez alcanzado el modelo que representara de mejor manera nuestras condiciones, se realizó la exportación de los resultados en formato gráfico, el resultado contiene, la curva de resistividad, los puntos medidos y el modelo de capas de resistividad y profundidad de cada una (Figura 57(6)). El procedimiento del tratamiento de los datos se resume en la Figura 57.

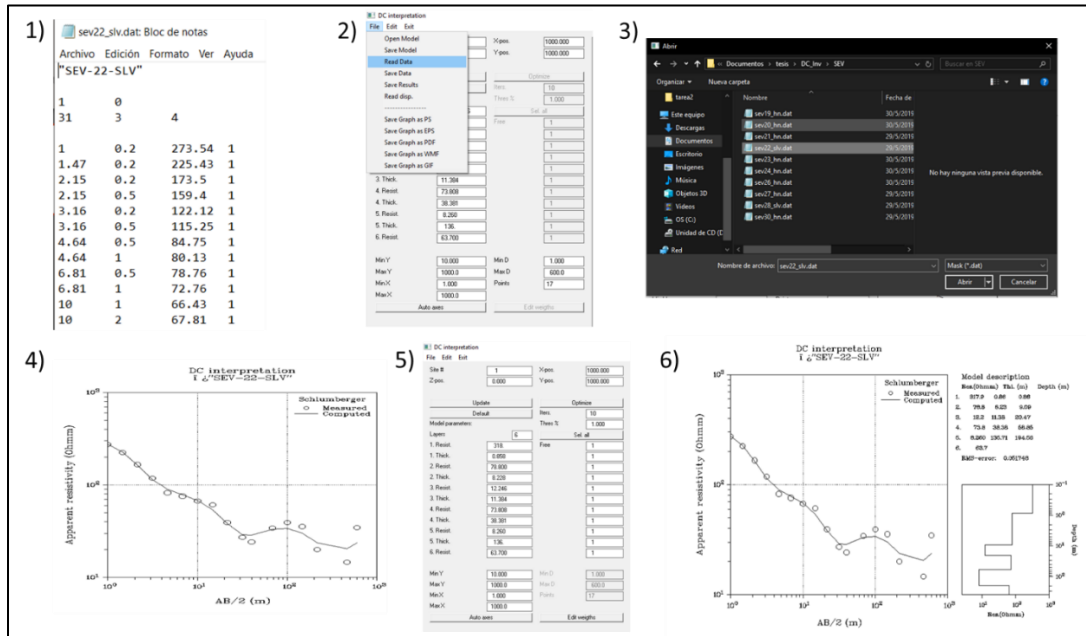


Figura 57. Procedimiento de selección, procesamiento de datos y generación del modelo de capas de resistividad a partir del software DCINV. 1) Formateo de datos de SEV; 2) y 3) carga de los datos con formato; 4) visualización de los datos SEV en la interfaz de usuario de DCINV; 5) panel de modificación de espesores y resistividades; 6) modelo de resistividades y espesores de capa en formato .jpg (Fuente: Elaboración propia).

En cuanto a los datos de TE2D, se crearon las secciones transversales de resistividad a partir del software RES2DINV. Para ingresar los datos al RES2DINV se necesitó, en primer lugar la conversión de los datos de un formato .S4K, propio del equipo con el que se realizaron las medidas, a formato .DAT. Con los datos en el formato correcto, se procede a la lectura e inspección de los datos realizando una inversión de datos con datos crudos, esta inversión de datos permitió identificar datos que alteraban los resultados de manera negativa. Una vez identificados los datos que afectaban los modelos, se realiza una limpieza o “exterminio de datos corruptos”; la

exterminación permitió generar modelos con un error considerablemente bajo y más ajustado a la realidad.

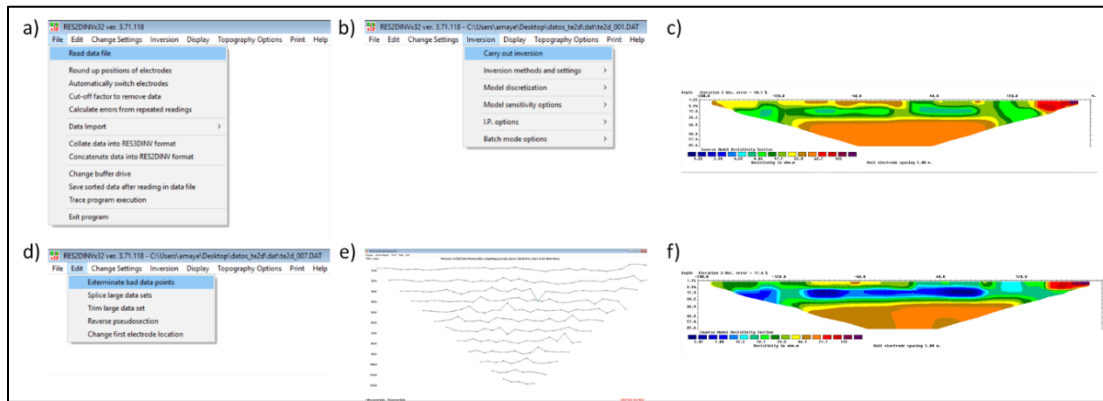


Figura 58. Procedimiento de inversión de datos de TE2D. a) Lectura de datos crudos en formato .DAT; b) proceso de inversión de datos crudos para apreciar errores; c) modelo de resistividad con datos crudos; d) Inspección de datos crudos para exterminio de datos y posterior modelación de datos corregidos; e) Modelo de resistividades con datos corregidos (Fuente: Elaboración propia).

Al obtener un modelo con errores considerablemente bajos y con características que podían interpretarse se realizó la exportación del modelo en formato .bmp (formato soportado por el software) (Figura 59), este modelo contiene la información de los valores de resistividad, la ubicación tanto a lo largo del perfil de datos como a la profundidad máxima alcanzada, esta ronda los 50 – 60 metros, dependiendo del arreglo electródico empleado.

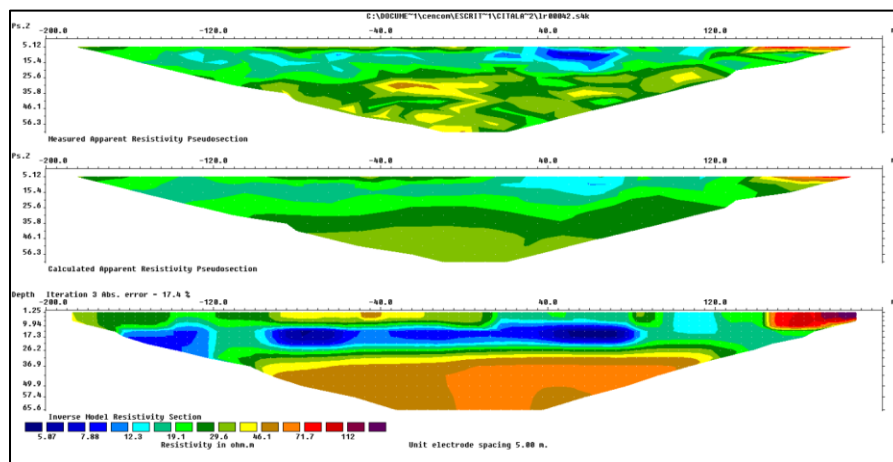


Figura 59. Resultado de la inversión de datos de TE2D. Parte superior: interpolación de datos de campo; parte media: sección transversal de resistividad aparente; parte inferior: modelo de resistividad (Fuente: Elaboración propia).

3.3.6. Líneas equipotenciales de flujo

Las líneas equipotenciales de flujo subterráneo nos permiten conocer la dirección preferencial del agua subterránea a partir de la medición de los niveles freáticos de un acuífero superficial. Para el caso del ATOC, las líneas equipotenciales se construyeron a partir de la información del inventario de pozos excavados compilado por (Samayoa, 2014) y (UICN, 2015) (ver **ANEXO 1**).

El procedimiento consistió en georreferenciar cada pozo con su correspondiente nivel freático y utilizar el software Golden Surfer 13 para crear una grid con la cual se generó una interpolación por medio del método de Krigging, así mismo se generó el mapa de vectores de dirección de flujo de las líneas equipotenciales. Los isocontornos resultantes fueron exportados en formato .grd al software de SIG para ser editado e integrado a la información existente del ATOC. Los resultados de las líneas equipotenciales y dirección de flujo del acuífero superficial se presentan en la Figura 60.

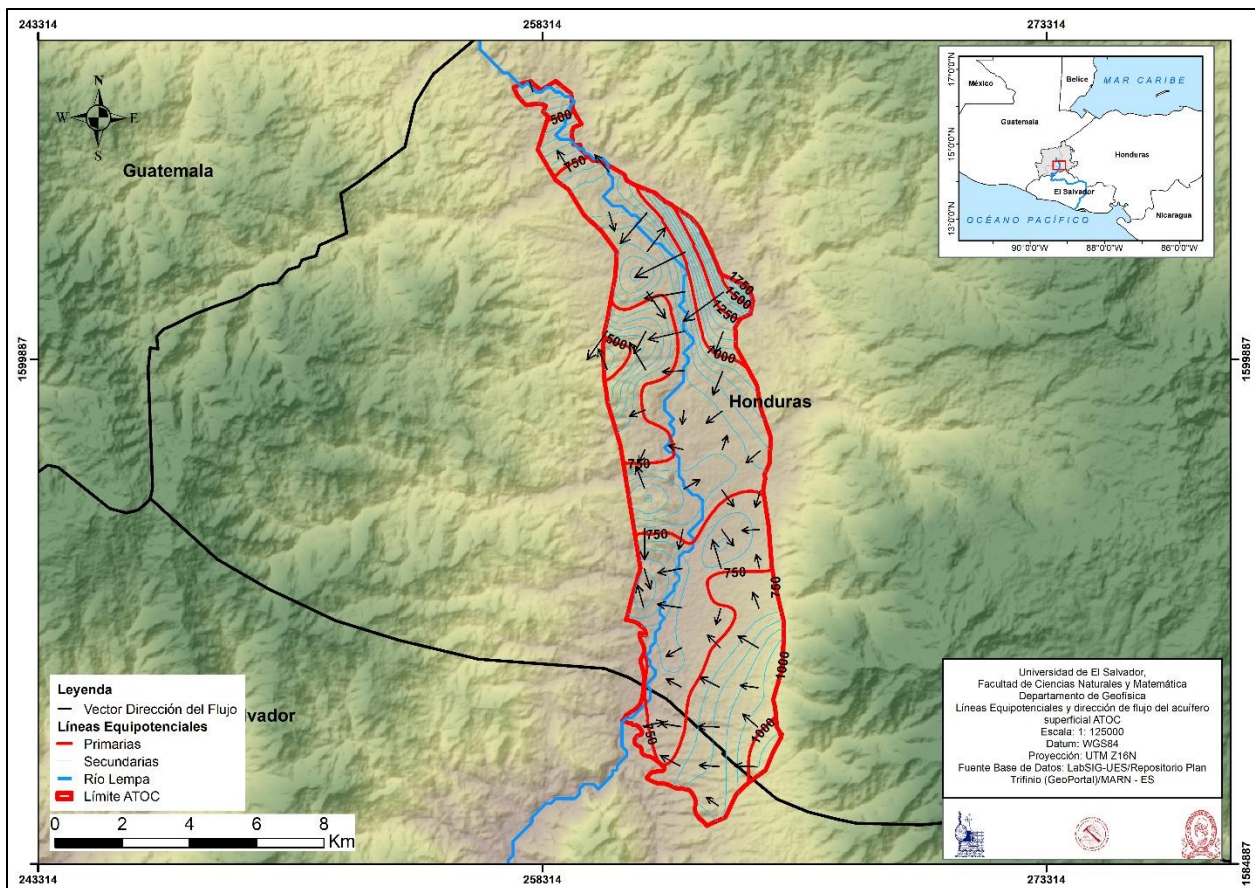


Figura 60. Líneas equipotenciales y dirección de flujo del acuífero superficial ATOC (Fuente: Elaboración propia).

3.3.7. Creación de columnas litológicas con información de pozos

De la información de pozos se identificó también los pozos perforados, los cuales sirvieron para la creación de columnas litológicas basadas en la información de los materiales colectados durante la perforación. Se identificaron al menos 5 pozos con registro litológico (Tabla 23), compilados en informes de perforación e informes de actividades de proyectos.

Tabla 23. Pozos perforados con información litológica disponible dentro de la región ATOC (Fuente: (UICN, 2015))

ID	x	y	z	Prof. Pozo [m]	Prof. Nivel de Agua [m]	Nivel de Agua [msnm]
Santa Anita 2	261822	1602986	797	60.96	12.2	784.8
El Poy 1	261939	1591162	720	64.01	6.1	713.9
Clínica Sinuapa	263123	1597211	814	138.68	19.81	794.19
El Poy 2	261685	1590148	712	94.51	5.4	706.6
Estadio JFK	263651	1596895	814	213	12.19	801.81

Para la elaboración de las columnas litológicas se utilizó el programa Golden Strater 5, el cual permite realizar un registro de los materiales, sus espesores y la descripción de estos (Figura 61).

Así mismo, los materiales encontrados en los registros de pozos sirvieron para generar la correlación de materiales de los SEV y las TE2D, con lo cual, se pudo generar también columnas estratigráficas basadas en la resistividad. Estas columnas estratigráficas sirvieron para la creación de secciones transversales del acuífero. Con esto se pudo realizar un análisis de las condiciones del acuífero con mayor profundidad.

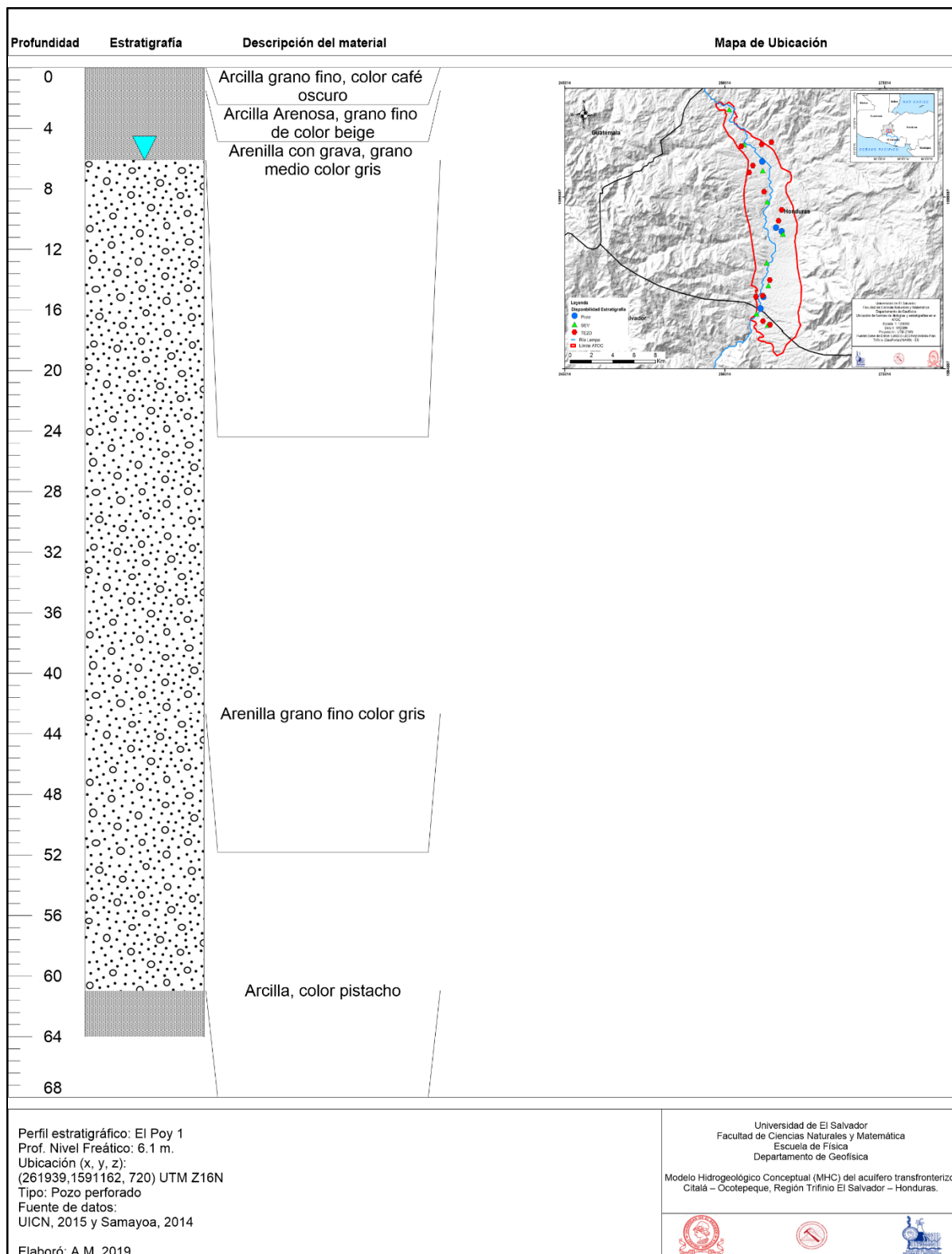


Figura 61. Columna estratigráfica del Pozo "El Poy 1", ejemplificación de la creación de las columnas estratigráficas de la región ATOC (Fuente: Elaboración Propia)

4. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El análisis y discusión de los resultados de la investigación se separa en 3 grandes bloques, interpretación geofísica, interpretación del balance hídrico de suelos y, la integración de los resultados para la descripción del modelo conceptual hidrogeológico del ATOC.

4.1. Interpretación de datos geofísicos.

En la investigación se desarrollaron los análisis de datos correspondientes a datos geofísicos de resistividad eléctrica. En primer lugar, se realizó la reinterpretación de los datos de Sondeos Eléctricos Verticales (SEV) generados por (Geociencia Aplicada, 2015), y posteriormente, se realizó el procesamiento, inversión e interpretación de los datos de la campaña de campo de marzo 2019 de Tomografías Eléctricas 2D (TE2D). A continuación, se presentan los análisis de los dos sets de datos.

4.1.1. Sondeos Eléctricos Verticales

Se realizó la inversión de 9 secciones de Sondeos Eléctricos Verticales (Tabla 24) correspondientes a la campaña de colecta de datos realizada por (Geociencia Aplicada, 2015) utilizando un software de libre distribución que nos permitió identificar las capas asociadas a los segmentos del acuífero superficial por medio de los valores de resistividad. Así, a pesar de que el programa solo permitía generar la inversión de datos hasta 6 capas, con estas se alcanzó la profundidad promedio de 120 m. en cada uno de los perfiles de SEV, profundidad suficiente para identificar y describir al acuífero superficial del ATOC.

Tabla 24. Parámetros principales de los SEV reprocesados para la identificación de nivel freático del acuífero superficial del ATOC (Fuente: Modificado de (Geociencia Aplicada, 2015)).

ID	x	y	z	Extensión Línea [m]	Profundidad [m]	ρ asociado acuífero [$\Omega \cdot m$]	Prof ρ [m]
SEV-20HN	1599403	262311	784	928	154.67	11.3	8.47
SEV-21HN	1592160	262406	739	1200	200.00	14	6.78
SEV-22SV	1588714	262345	810	1200	200.00	12.2	9.09
SEV-23HN	1602190	261882	797	1362	227.00	8.11	7.54

SEV-24HN	1604458	260137	831	928	154.67	29.1	5.95
SEV-26HN	1596646	263777	813	928	154.67	10.8	10.85
SEV-27HN	1594134	262271	760	632	105.33	11.5	42.21
SEV-28SV	1589692	261299	712	632	105.33	6.14	7.73
SEV-30HN	1607527	258737	856	632	105.33	7.6	7.75

Los resultados de la inversión de datos de SEV muestran que los niveles o segmentos de resistividad que denotan una saturación en las unidades rocosas rondan los 7- 8 m. de profundidad, con solamente la excepción del perfil SEV-27HN cuyos valores de resistividad y distribución de estas hace ubicar el nivel de saturación o resistividad asociada al acuífero a una profundidad de 42.21 m.

La interpretación individual de cada perfil se detalla a continuación:

SEV-20HN

El modelo de resistividad del SEV-20HN, permite identificar 5 capas con resistividades que van desde $11.3 \Omega \cdot m$, como valor mínimo, hasta $116.0 \Omega \cdot m$, como valor máximo (Figura 62); las capas de interés en este sondeo son la capa 4 la cual se relaciona a la capa donde se encuentra saturación de agua en la roca encajante, dicha capa inicia a unos 8.47 m. de profundidad y alcanza un espesor de aproximadamente 14.16 m., donde se encuentra con una capa de resistividades relativamente alta, que permitiría la confinación del fluido. Al correlacionar los valores de resistividad con la litología cercana a la zona se puede definir que la unidad acuífera se encuentra en una unidad de conglomerados, limitados en la parte superior por tobos de permeabilidad intermedia y arcillas en la parte inferior, la cual hace las veces de límite inferior del acuífero.

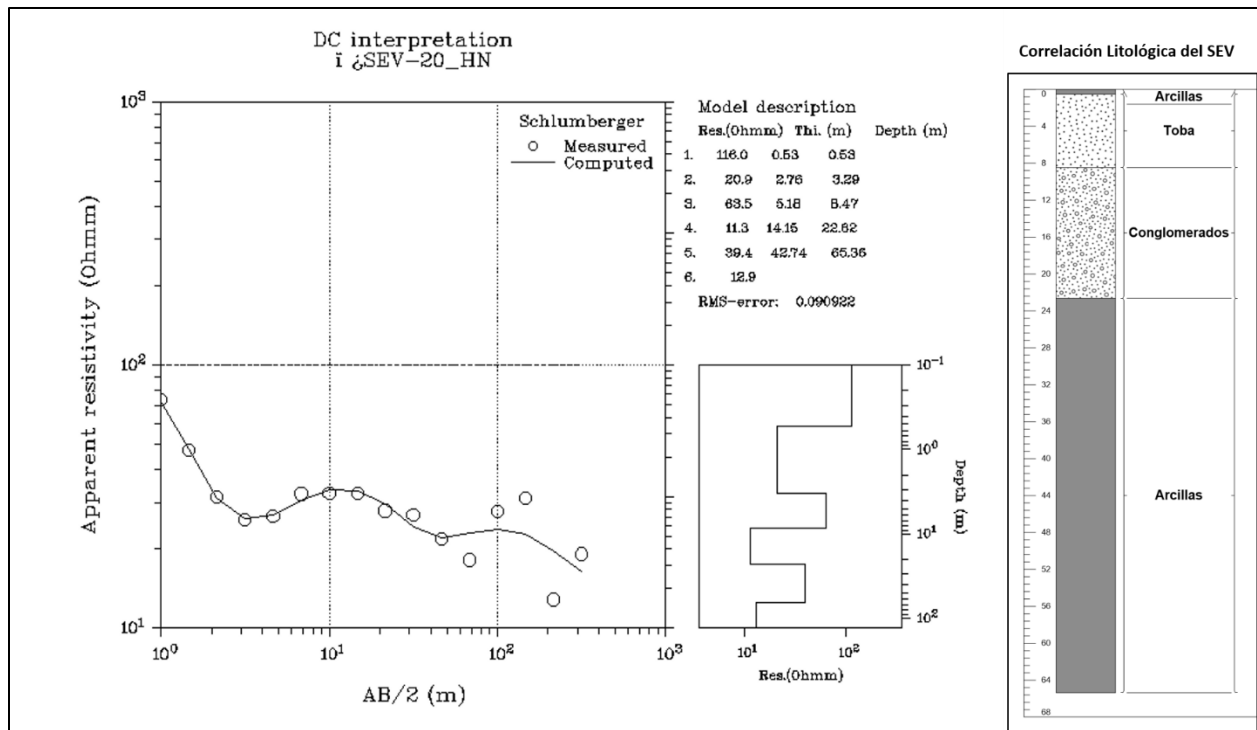


Figura 62. Inversión de datos y resultados del modelo de capas de resistividad del SEV-20HN (Fuente: Elaboración propia)

SEV-21HN

Con relación al SEV-21HN, realizado en territorio hondureño, se pudo realizar la inversión de los datos y determinar 4 secciones o capas asociadas al valor de la resistividad eléctrica (Figura 63). La primera capa, la más superficial comprende un espesor de 6.78 m. y una resistividad que va desde 101 – más de 7000 $\Omega \cdot m$, la cual se asocia a arcillas bien consolidadas y parte del terreno que ha sufrido compactación por obras civiles. En la segunda capa, encontramos resistividades que se pueden vincular con saturación de roca con fluidos, obteniendo valores de 14 $\Omega \cdot m$ y correlacionado litológicamente con conglomerados, esta capa de resistividades puede asociarse al segmento acuífero teniendo en cuenta la profundidad y los valores de resistividad muy similares al primer punto de toma de datos. Posterior a la capa saturada a unos 42.88 m., se encontraron valores de resistividad de valor intermedio a alto ($\pm 69.5 \Omega \cdot m$) que son relacionados a la capa inferior del acuífero, litológicamente puede referirse a un segmento de arcillas semisaturadas o tobas bien consolidadas. Por último, y no menos importante, se aprecia un nuevo segmento de

resistividades bajas ($12.5 \Omega \cdot m$) y puede interpretarse como un acuífero o zona saturada profunda (107.58 m.).

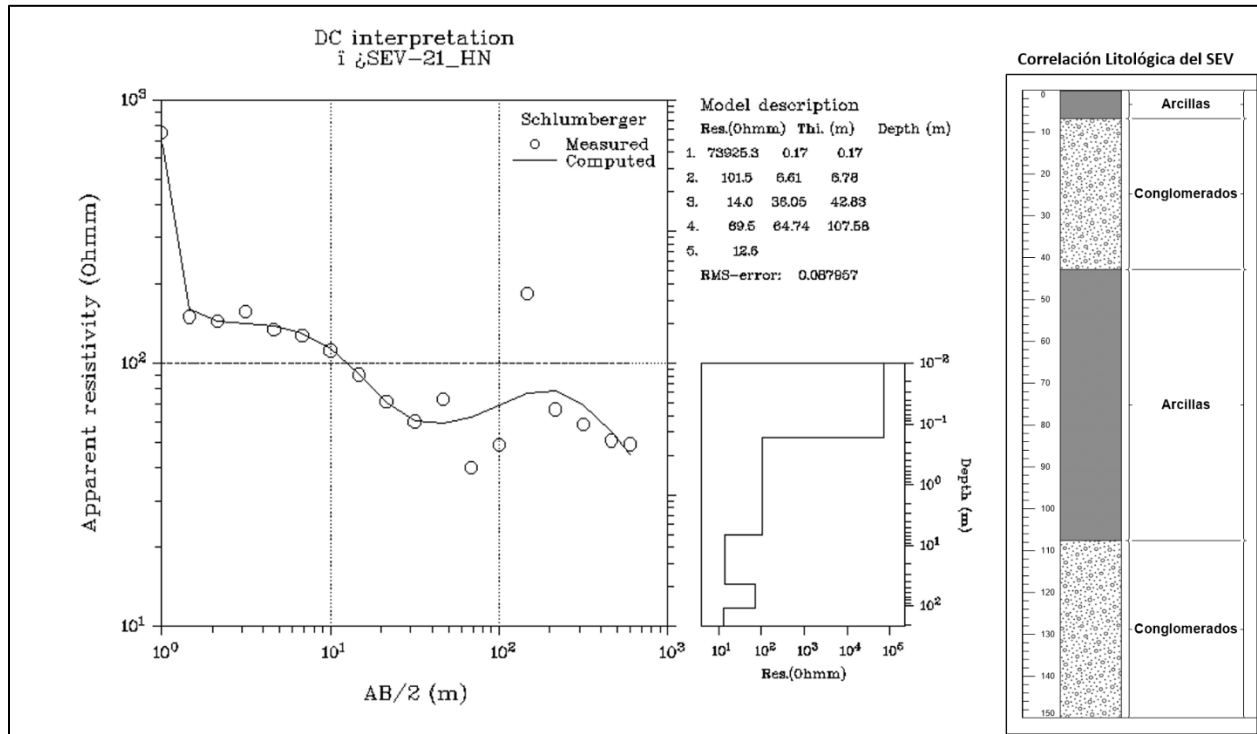


Figura 63. Inversión de datos y resultados del modelo de capas de resistividad del SEV-21HN (Fuente: Elaboración propia)

SEV-22SLV

El sondeo número 22 de la campaña de Geociencias Aplicada en el año 2015, fue uno de los 2 SEV realizados en territorio salvadoreño, la sección de resistividades que resultó de la inversión de datos sugiera la existencia de 5 capas (Figura 64); la primera y más resistiva de las 5 capas se relaciona litológicamente a materiales arcillosos bien compactados que cuentan con resistividades de $317.9 \Omega \cdot m$ y un espesor menor a 1 m.; inmediatamente de esta capa se puede apreciar una capa con resistividades intermedias a altas ($76.5 \Omega \cdot m$) y un espesor de 6.23 m. el cuál se relaciona a materiales de depósito estilo aluvión, principalmente asociado a la dinámica del río Lempa; debajo de los aluviones, encontramos una unidad con valores de resistividad ($12.2 \Omega \cdot m$) que puede asociarse a saturación de fluidos en la roca, y que además, su espesor es similar (11.35 m) al de las unidades que se presentaron como unidades acuíferas en los registros de SEV y también relacionada a las profundidades de nivel freático de pozos cercanos, esta unidad se asocia a su vez

con conglomerados de deposición; a la profundidad de 20.47 m. se encuentra la cuarta capa con valores intermedios a altos ($73.8 \Omega \cdot m$) muy parecidos a los de la unidad resistiva 2 de este perfil, litológicamente se asocia a una unidad de tobas, que hace las veces de piso del acuífero, permitiendo que el fluido en la sección superior no siga escurriendo de manera libre y generando las condiciones de semi-confinamiento del acuífero; por último y al igual que el SEV-21HN, se observan valores de resistividad ($8.26 \Omega \cdot m$) en una última capa que podemos relacionar con un acuífero profundo, el cual se puede ubicar o correlacionar a una última unidad de conglomerados en la zona.

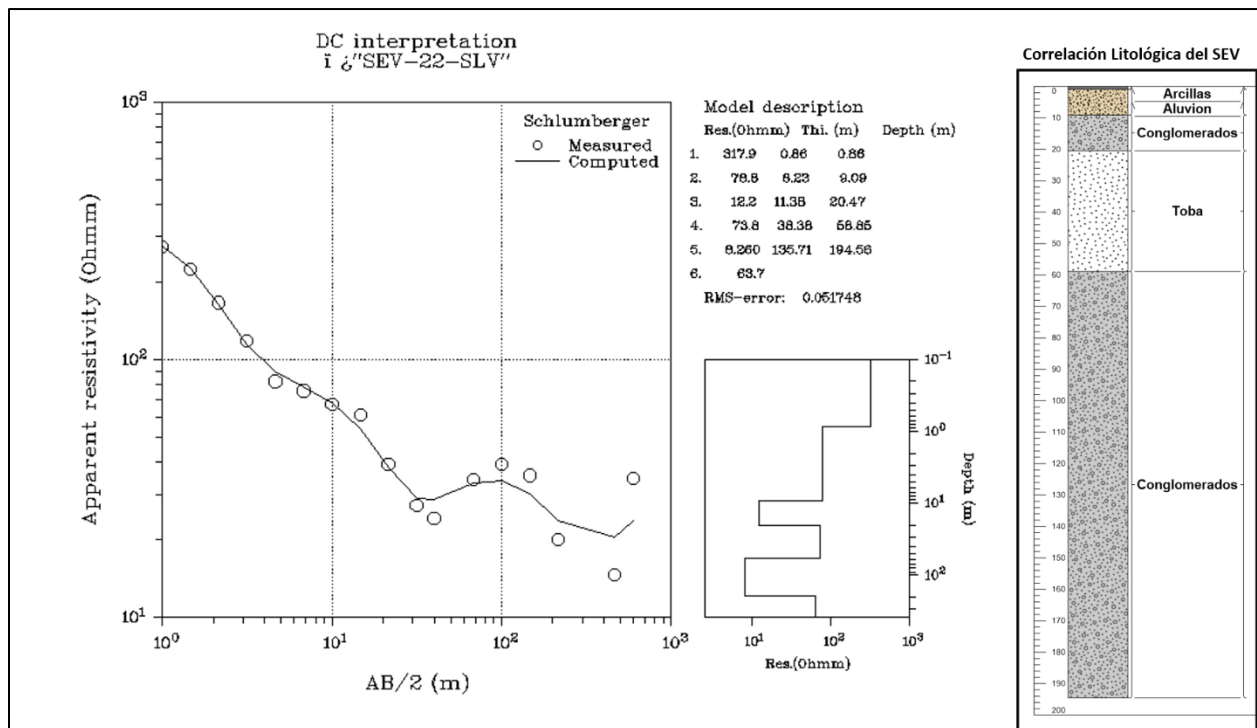


Figura 64. Inversión de datos y resultados del modelo de capas de resistividad del SEV-22SLV (Fuente: Elaboración propia)

SEV – 23HN

Los resultados del SEV-23HN concluyen con 6 capas de resistividad (Figura 65) en las cuales se puede identificar la unidad de resistividades asociadas al acuífero superficial del ATOC. En los primeros 7.54 m. se pueden identificar dos unidades asociadas a materiales bien consolidados y de alta resistividad ($115 - 169 \Omega \cdot m$) que se asocian a litológicamente con unidades de arcilla o tobas bien consolidadas. La tercera unidad de resistividad cuenta con un espesor calculado de 8.48 m, a

una profundidad de 7.54 m, y con valores de resistividad de $8.11 \Omega \cdot m$, las características de esta unidad se pueden vincular a la capa de conglomerados del acuífero superficial; posterior a estas unidades se encuentra una unidad de resistividades media – alta ($88.5 \Omega \cdot m$) con espesores de 18.49 m y asociado a materiales de grano fino de tipo toba; por último, se aprecia nuevamente, por el alcance de profundidad del SEV la unidad de resistividad baja ($11.3 \Omega \cdot m$), asociada al acuífero profundo ubicando el techo del acuífero a unos 34.51 m.

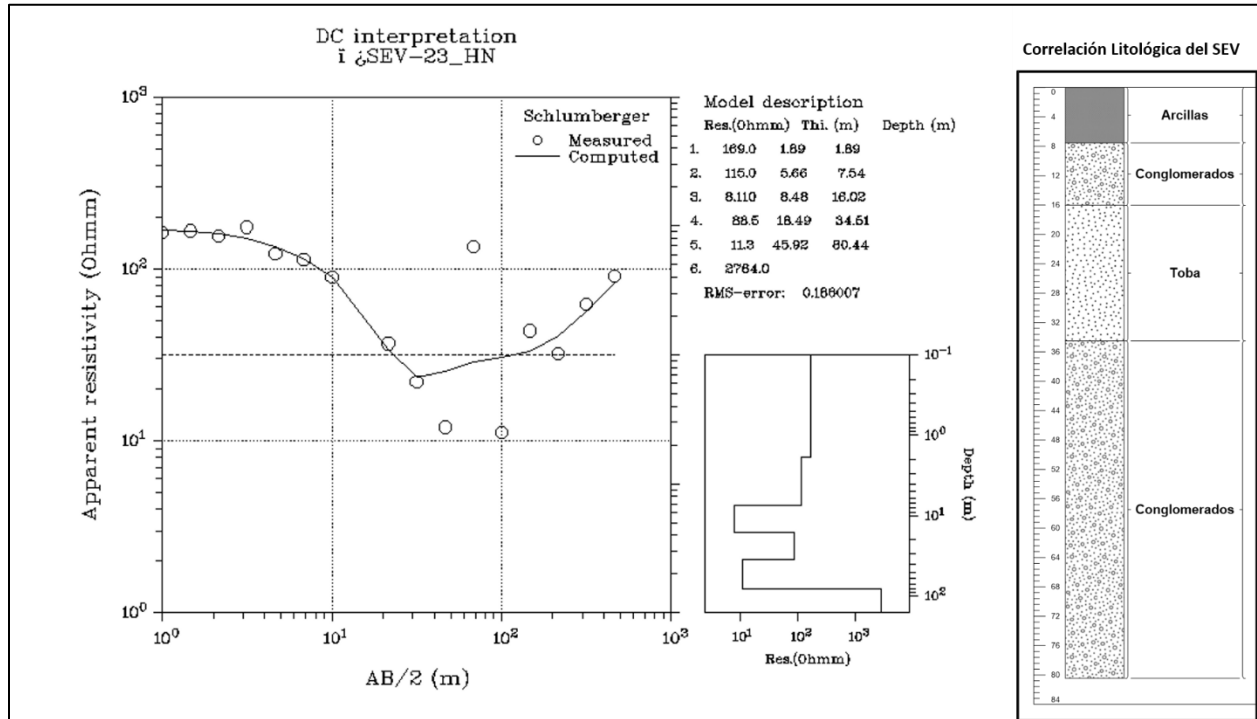


Figura 65. Inversión de datos y resultados del modelo de capas de resistividad del SEV-23HN (Fuente: Elaboración propia)

SEV – 24HN

El SEV – 24HN fue uno de los más complicados en su inversión de datos, dicho perfil cuenta con un 22% de error, esto debido a su muy variante distribución de valores de resistividad según se profundizaba, no obstante, se consigue distinguir 5 capas en las cuales se puede observar la unidad acuífera superficial (Figura 66). La primera capa de resistividades se relaciona a materiales compactados con espesores no mayores a dos metros con valores de resistividad entre ($25 - 617 \Omega \cdot m$), posteriormente se identifica una unidad de resistividades altas que podrían representar bajo nivel de saturación y alta compactación ($25 \Omega \cdot m$) vinculados a una secuencia de tobas

superficiales, con espesores de hasta 4.3 m.; la tercera unidad de resistividades se asocia a la unidad acuífera cuya resistividad se calcula en $29.1 \Omega \cdot m$ y espesores de 18.3 m, relacionado a la unidad de conglomerados que se hace presente en todos los perfiles SEV. Al final del perfil se aprecian valores altos de resistividad ($327 \Omega \cdot m$) asociado a una colada de lava que se aprecia en la litología de un pozo cercano.

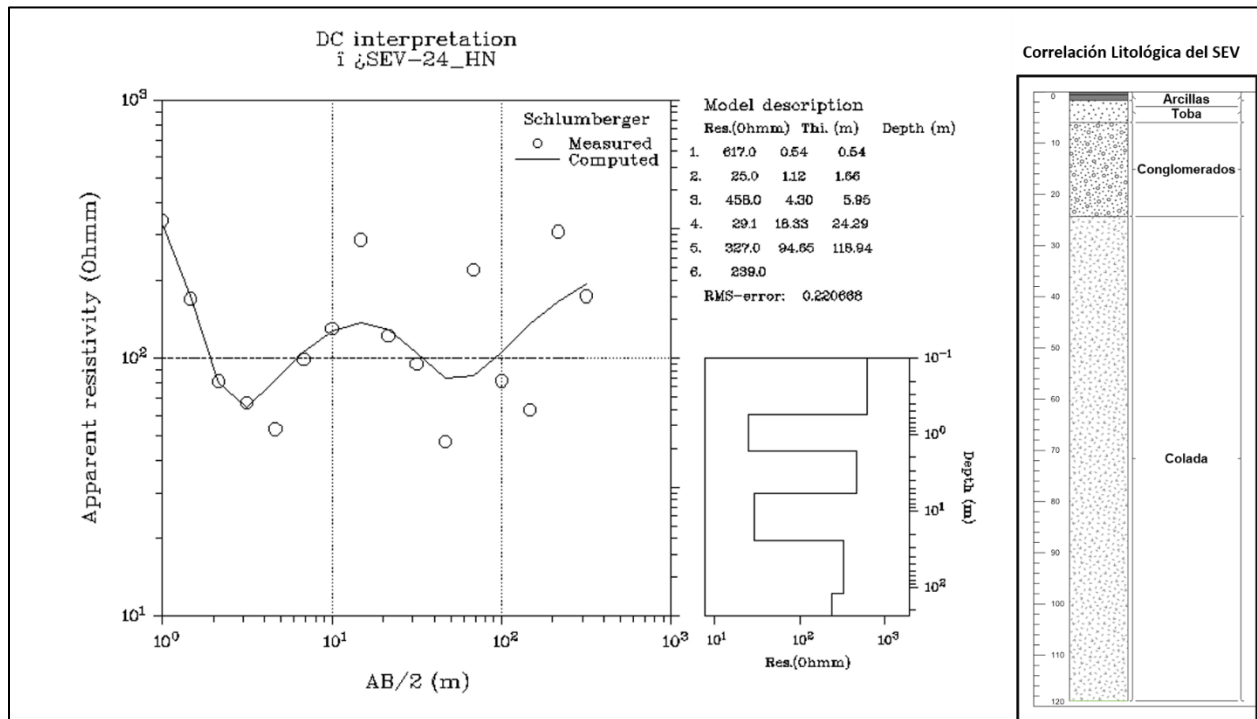


Figura 66. Inversión de datos y resultados del modelo de capas de resistividad del SEV-24HN (Fuente: Elaboración propia)

SEV-26HN

La inversión de datos realizada para el SEV-26HN genera un modelo de 6 capas de resistividad (Figura 67) en el cual es posible identificar segmentos con resistividad variante, que al ser correlacionada con la información de pozos cercanos permite dictaminar que los valores del SEV pueden asignarse a unidades de arcillas compactadas y con poca cantidad de fluidos en la parte superficial ($180 \Omega \cdot m$) que no superan el metro de espesor; y posteriormente diferentes segmentos de tobas, las cuales pueden ser diferenciadas una de otra por el nivel de saturación de agua que modifica el valor de resistividad de cada una de ellas, así la capa de resistividad 2 cuya resistividad es de $43.8 \Omega \cdot m$ y 10.19 m. de espesor se asocia a una toba no saturada o con poca cantidad de

fluidos, mientras que la unidad resistiva número 3 con valores de $10.6 \Omega \cdot m$ se relaciona a una toba saturada, la profundidad de esta capa resistiva nos sugiere que estamos tratando con el mismo acuífero superior que se encuentra en el resto de SEV. Sin embargo, las capas inferiores que se pueden correlacionar a la capa que delimita el piso del acuífero y el posible acuífero inferior poseen valores de resistividad muy extremos, siendo así el valor de la capa inferior del acuífero aproximadamente $336 \Omega \cdot m$, lo que sugeriría no solamente la insaturación de la roca, sino también el nivel de consolidación que esta unidad posee, por lo que se relaciona a dicha unidad con una formación de tobas superconsolidadas.

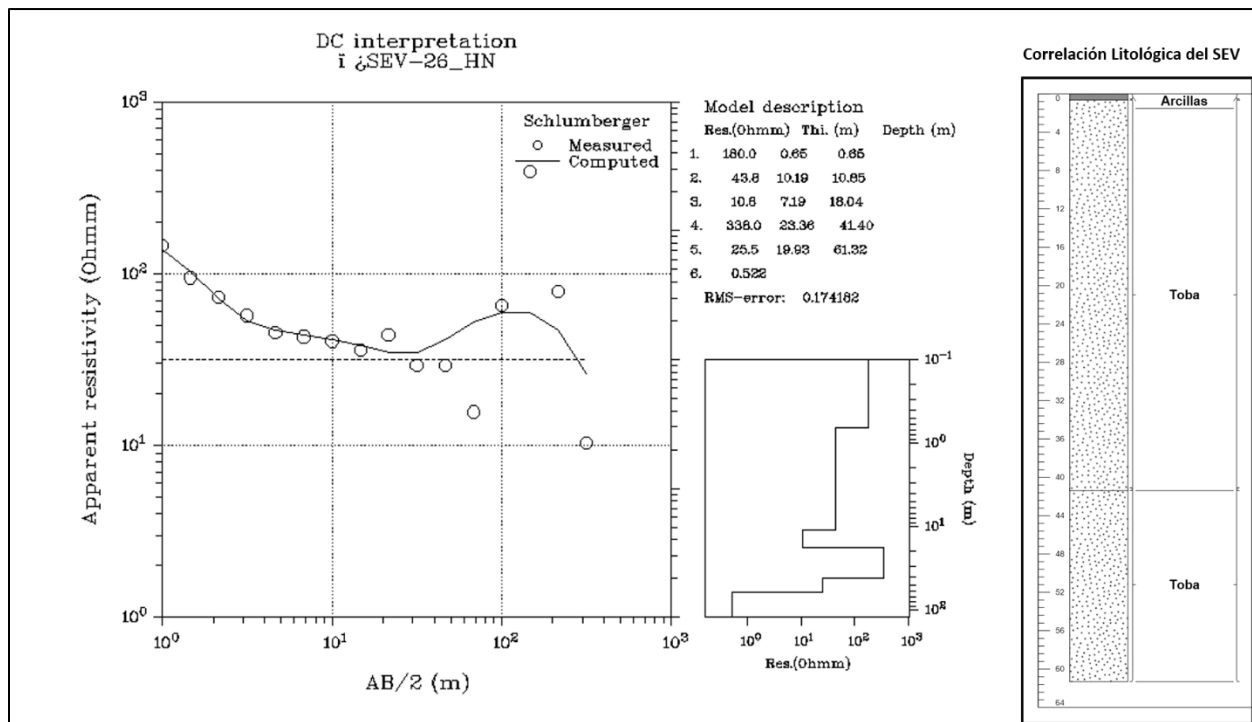


Figura 67. Inversión de datos y resultados del modelo de capas de resistividad del SEV-26HN (Fuente: Elaboración propia)

SEV – 27HN

En el caso del modelo de resistividad para el SEV – 27HN tiene cierta peculiaridad dados los valores de resistividad superficial elevados y la presencia de las resistividades asociadas a niveles de saturación por fluidos a profundidades muchísimo más grandes que el resto de todos los SEV estudiados (Figura 68). Las primeras 3 capas del modelo se asocian a capas superficiales con resistividades muy elevadas ($215 - 322 \Omega \cdot m$) que pueden correlacionarse con segmentos o

unidades de arcillas muy compactas y poco saturadas alcanzando espesores máximos entre las 3 unidades de 11.18 m.; debajo de estas arcillas resistivas, encontramos una unidad con resistividad intermedia ($71.6 \Omega \cdot m$) que si bien está dentro del rango de aguas subterráneas según la clasificación dada por (Telford, Geldart, & Sheriff, 1990) no coincide con el resto de las unidades resistivas estudiadas con los demás SEV, la profundidad a la que se encuentra (11.18 m) puede generar confusión que es la zona saturada del acuífero superficial, teniendo en cuenta también el espesor de esta misma unidad (31.03 m), a esta unidad se le relaciona con los materiales conglomerados que aparecen en el registro litológico de los pozos cercanos; sin embargo, debajo de esta capa se encuentra una unidad de resistividades más parecida a las relacionadas con el acuífero superficial del ATOC, con valores de resistividad de $11.6 \Omega \cdot m$ y espesores que alcanzan los 61.55 m (valor bastante alto comparado con los valores de espesores del resto de unidades vinculadas al acuífero superficial) se asocia a unidad de tobas saturadas que muy posiblemente hayan sufrido alteración, esto debido que debajo de ellas se encuentran valores muy altos de resistividad ($375 \Omega \cdot m$) los cuales podrían asociarse a la roca no alterada y compactada.

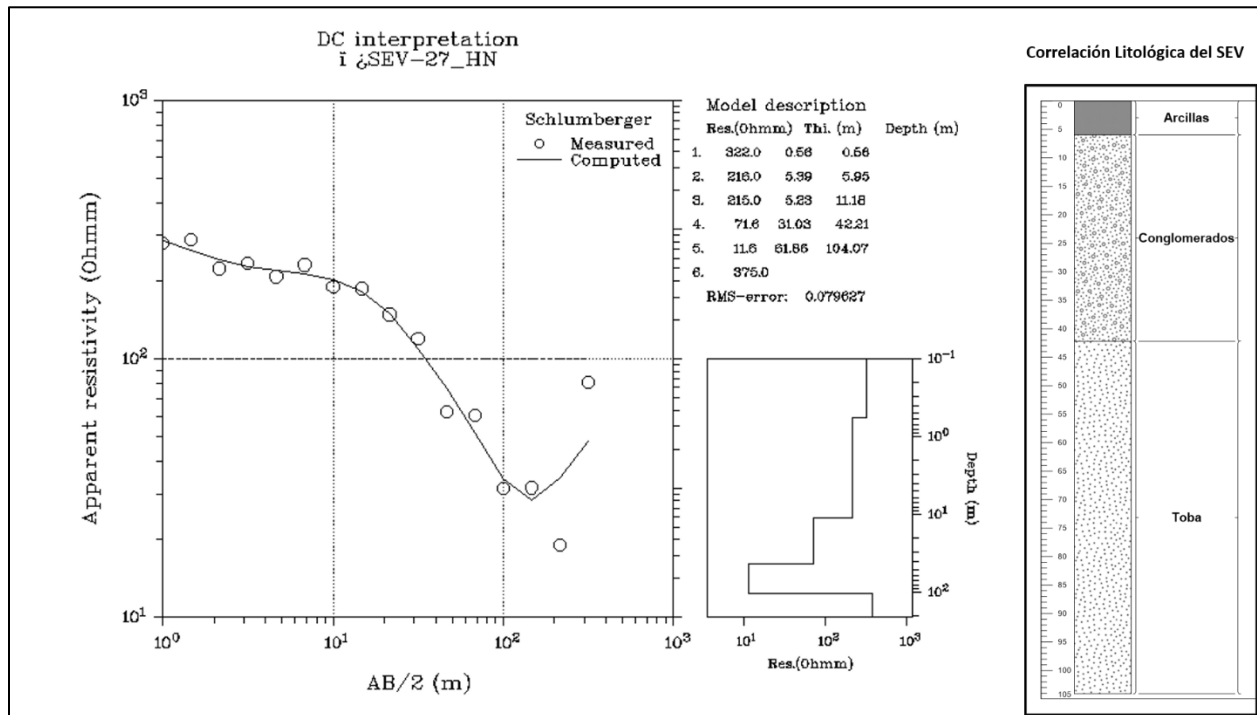


Figura 68. Inversión de datos y resultados del modelo de capas de resistividad del SEV-27HN (Fuente: Elaboración propia)

SEV – 28SLV

Los modelos que se correlacionan con pozos con solo dos unidades litológicas fueron comunes durante la interpretación de los datos, el SEV – 28SLV fue uno de esos casos, a pesar de haberse modelado más de 5 capas (Figura 69), la litología ofrecida por pozos cercanos respecto a la profundidad alcanzada del SEV puede generar ese tipo de correlación litológica. Para este caso, las primeras dos capas tienen valores de alta resistividad ($167 - 261 \Omega \cdot m$), alcanzando espesores de hasta 4.56 entre las dos capas y se correlacionan con unidades de aluviones de deposición, principalmente por la cercanía del río Lempa. Posteriormente a estos depósitos, se encuentran unidades de resistividades bajas – medias, encontrándonos así una sección de resistividades de $31 \Omega \cdot m$, con espesores menores a 3 metros, la cual puede vincularse con conglomerados semisaturados; A partir de los 7.73 m., el modelo de resistividades refleja la existencia de dos capas con resistividad baja (6.14 y $5.32 \Omega \cdot m$), las cuales pueden ser asociadas a la zona saturada del acuífero superior, la característica más importante de este modelo es que si se une el espesor de ambas anomalías de resistividad se obtiene un espesor de más de 117 m., el material que se puede asociar por medio de la correlación litológica son conglomerados de color gris.

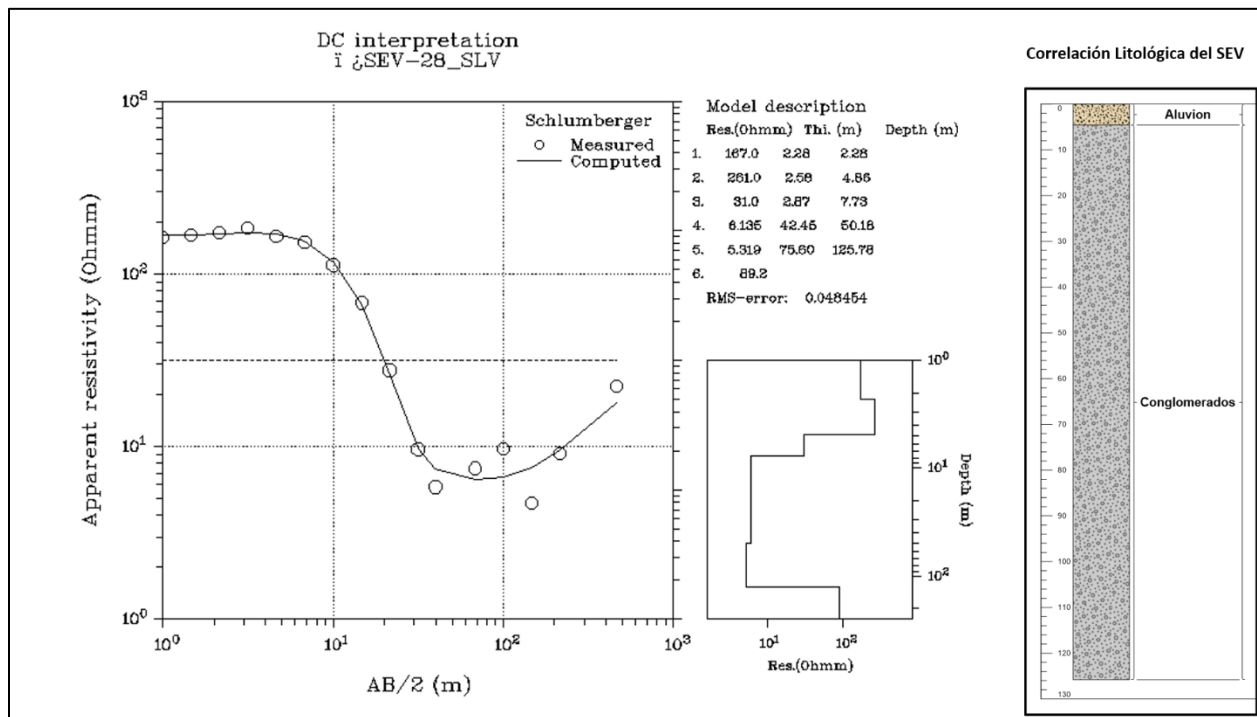


Figura 69. Inversión de datos y resultados del modelo de capas de resistividad del SEV-28SLV (Fuente: Elaboración propia)

SEV – 30HN

La inversión de datos para el SEV – 30HN nos permitió obtener un modelo de 6 capas de resistividad (Figura 70), en donde se definen muy bien los diferentes materiales y horizontes gracias a la correlación de los pozos cercanos. En la capa más superior, con espesores de aproximadamente 3.55 m. y resistividades de $21 \Omega \cdot m$ tenemos una capa de arcillas o materiales compactados parcialmente saturadas (por eso el valor bajo – intermedio de las mismas), que funcionan como capa confinante del acuífero superficial; posterior a esta se encuentra una unidad de $38.5 \Omega \cdot m$ de resistividad y espesor de 4.2 m., relacionado a una unidad de tobas que permite la infiltración a través de ella para poder hacer la recarga de la capa acuífera que se encuentra inmediatamente abajo; la tercera unidad es la unidad de conglomerados con resistividades de $7.6 \Omega \cdot m$ y un espesor de 3.87 m., la cual se asocia al acuífero superficial, cabe destacar el espesor de este segmento es relativamente pequeño comparado con el resto de unidades de conglomerados que forman parte del acuífero, no obstante, puede deberse a que debajo de estos se encuentre una unidad de arcillas altamente saturadas, lo cual se relaciona o interpreta por sus valores de resistividad ($3.64 \Omega \cdot m$), el espesor de este tramo de arcillas es de 11.23 m., mucho más amplio que la misma unidad acuífera por lo que sugiere que el modelo puede estar tomando un poco más de espesor de la unidad acuífera; por último como parte profunda del modelo se encuentra una capa de resistividades intermedias de $45.1 \Omega \cdot m$ con profundidades que llegan hasta 19.59 m de espesor y alcanzan así un perfil de profundidad de hasta 42.44 m., el material con el que se relaciona esta unidad resistiva son tobas semisaturadas y con compactación intermedia.

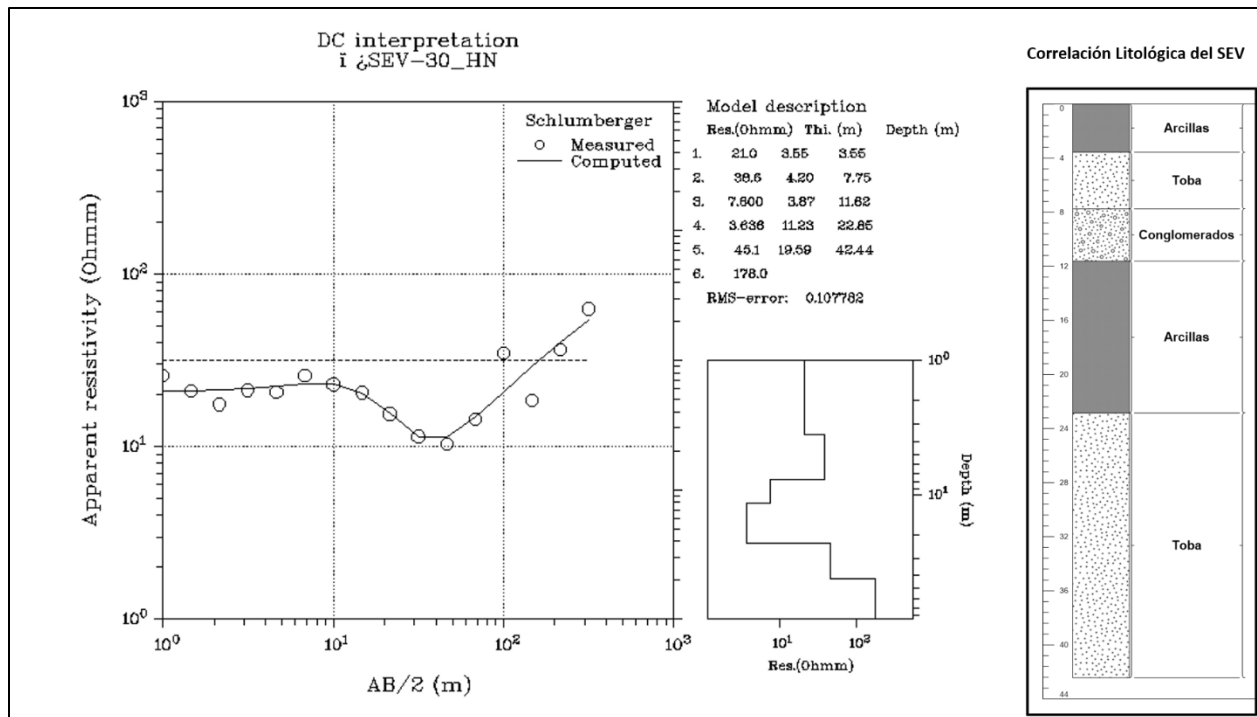


Figura 70. Inversión de datos y resultados del modelo de capas de resistividad del SEV-30HN (Fuente: Elaboración propia)

4.1.2. Tomografías Eléctricas 2D

Con el fin de mejorar la calidad y la cantidad de datos para la creación del modelo hidrogeológico del ATOC, se llevó a cabo la inversión de los datos de las 13 Tomografías Eléctricas 2D (TE2D) que se resumen en la Tabla 15. A cada una de ellas se les realizó la adición de la topografía del lugar con el fin de mejorar el modelo de resistividades, así como representar cómo era el terreno donde se llevó a cabo la prueba, la asignación de litología por cada perfil se puede verificar en el ANEXO 3; a continuación, se presenta la interpretación de cada una de las TE2D.

ATOC-001: San Ignacio 1

La inversión de datos de la TE2D ATOC – 001 nos presenta una serie de secciones de interés en el Perfil San Ignacio 1. En primer lugar, se tienen las capas superficiales, las cuales generan una unidad de resistividades relativamente altas, que rondan entre los 50 – 100 $\Omega \cdot m$, las cuales alcanzan profundidades aproximadas de 15 – 20 m. de profundidad, como se muestra en la Figura 71 (sobre la línea punteada blanca superior). Por debajo del límite de las capas resistivas superficiales, en medio de las dos líneas punteadas blancas, se puede apreciar segmentos con

resistividades bajas, las cuales rondan los $13.7 - 30 \Omega \cdot m$ (regiones con color azul, azul claro y verde), y que se encuentran a partir de los 15 – 20 m. de profundidad, los valores bajos de resistividades pueden asociarse a rocas con saturación de fluidos, en otras palabras el acuífero superior de la región ATOC, el espesor que alcanzan esta unidad de bajas resistividades ronda los 20 – 25 m. Es de resaltar que la tomografía reveló regiones con valores de resistividad extremas, es decir valores altos o muy bajos, focalizados en un segmento de aproximadamente 80 m. al Este del centro de la toma de datos, estas anomalías podrían relacionarse a presencia de arcillas sobresaturadas en el caso de la zona de resistividades inferiores a $13.3 \Omega \cdot m$, y a un depósito rocoso bien consolidado y poco permeable en el caso de la región de resistividades superiores a $70.5 \Omega \cdot m$ (zona por debajo de la línea punteada inferior blanca de la Figura 71), esta última afirmación se basa en los afloramientos geológicos característicos de la zona, los cual presenta estratos con secciones de rocas bien consolidadas, como cantos rodados, y material con textura fina por encima de estos (ANEXO 3) y el registro litológico de pozos, que presenta materiales categorizados como conglomerados y brechas.

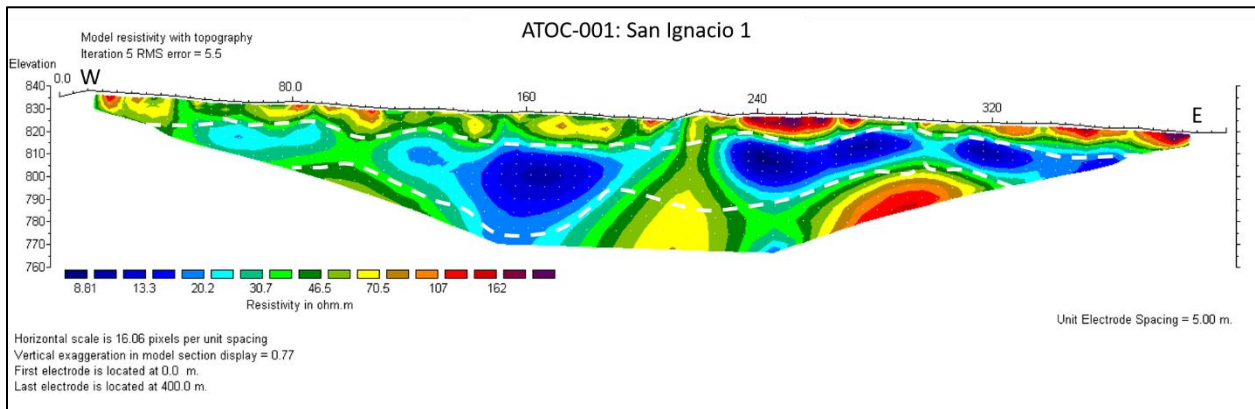


Figura 71. Resultado de inversión de datos de TE2D del sitio ATOC - 001 (Fuente: Elaboración Propia).

ATOC – 002: La Vuelta

Los resultados del perfil ATOC-002 (Figura 72) son muy variantes respecto a los resultados del perfil ATOC-001. A pesar de encontrarse relativamente cerca el uno al otro, el perfil 2 presenta secciones de resistividad más elevadas a lo largo de la sección (desde $51 \Omega \cdot m$ hasta $77.5 \Omega \cdot m$) y con espesores más grandes – hasta 40 m. de profundidad en segmentos al Oeste del centro del

arreglo (entre las líneas punteadas negras de la Figura 72) –. No obstante, se logra apreciar un segmento con resistividades bajas (entre $13 - 25 \Omega \cdot m$) en la sección central hacia el Este del arreglo, con profundidades de hasta 17 m (encima de la línea punteada negra arriba a la derecha), esta zona es la única que podría representar secciones de roca saturada, sin embargo, resultan ser muy someras para asociarlo al acuífero superficial de la región ATOC. Para finalizar la interpretación del modelo de inversión se puede apreciar alrededor de los 55 m. de profundidad en la sección central del modelo una región de resistividades intermedias ($15 - 33 \Omega \cdot m$), estos valores están considerados recurrentes en zonas con saturación de agua, sin embargo, al tratarse de los datos más profundos del modelo, es arriesgado relacionar que esa zona corresponda a niveles freáticos profundos sin contar con mayor información de la sección profunda.

La distribución irregular de los valores de resistividad podría deberse a la geología propia de la zona. O sea, que existe la posibilidad que los materiales observados en los alrededores contemplen espesores mucho más grandes que los que afloran en superficie, sin embargo, esta afirmación necesita de una corroboración por medio de la obtención de testigos litológicos, u otra prueba geofísica que refuerce la hipótesis.

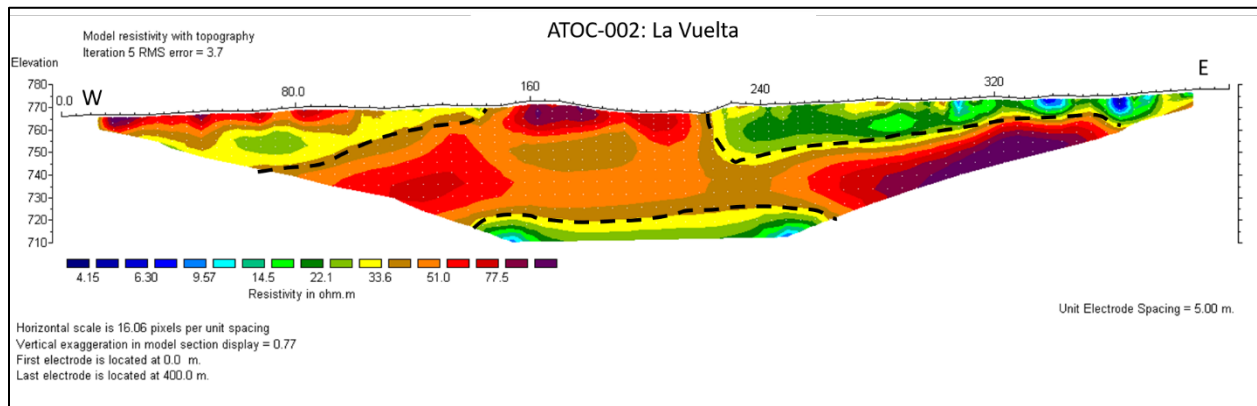


Figura 72. Resultado de la inversión de datos de la TE2D del perfil ATOC-002 (Fuente: Elaboración Propia).

ATOC – 003: Citalá Río

Los resultados de la inversión de datos de la tomografía eléctrica para el perfil *Citalá Río* (Figura 73), permite observar una sección de resistividades altas con valores que rondan los $27.9 - 55.1 \Omega \cdot m$ en los primeros 8 metros de profundidad (arriba de la línea punteada negra). Posterior a estos

niveles se puede apreciar segmentos con resistividades significativamente más bajas, a unos 15 m., según el modelo, desde la parte más al Sur y la parte central del perfil, acá se obtuvieron valores desde $7.15 - 25 \Omega \cdot m$, lo que permite inferir que esta sección del perfil presenta saturación por fluidos en las rocas subyacentes (sección por debajo de la línea punteada blanca), los niveles que alcanzan estas unidades de baja resistividad alcanzan los 32 m. de profundidad, con oportunidad de que pudiesen seguir en niveles más profundos. Dado que el perfil se realizó un *Roll – Along*, dio la oportunidad de poder observar la posible transición entre unidades geológicas. El cambio de resistividades que se da desde los últimos 100 metros más al Norte podría deberse con el cambio de materiales geológicos que se tenían en la zona, sin embargo, para asegurar esto se sugiere la realización de nuevas mediciones de resistividad, perforación de testigos litológicos y prospección geofísica con otro método. La topografía del perfil 3 fue omitida al momento de realizar la inversión de datos debido a que los valores y distribución de las anomalías resistivas eran modificadas de manera exagerada quitando la oportunidad de analizar y describir los hallazgos en este perfil.

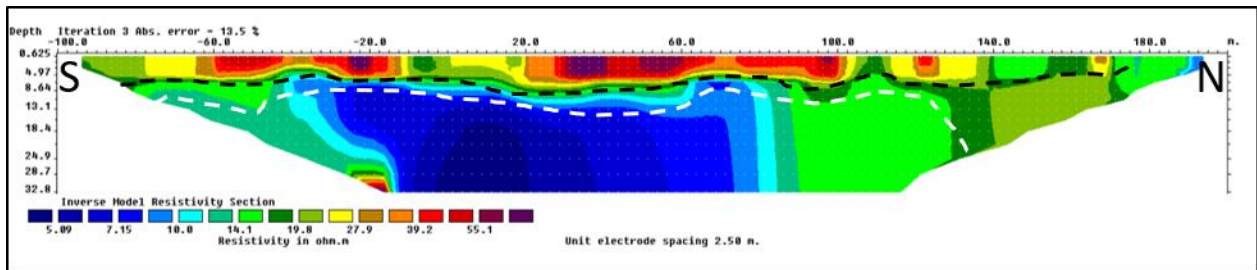


Figura 73. Resultados de la inversión de TE2D del perfil ATOC-003 (Fuente: Elaboración propia)

ATOC – 004: Aldea Zacamil

Los resultados de la tomografía realizada en Zacamil, Concepción, presentan datos bastante ambiguos (Figura 74). No se logran definir horizontes rocosos bien definidos, más bien se lograron detectar regiones con resistividades bajas focalizadas que rondan entre los valores de $0.5 - 5 \Omega \cdot m$. Dichas regiones pueden interpretarse como segmentos de arcilla muy saturados de agua, basándose principalmente en la profundidad y la distribución irregular de las mismas. En la parte más profunda del modelo se observan resistividades muy elevadas (mayores a $175.9 \Omega \cdot m$), con un espesor aproximado de 20 m., sin embargo, y al igual que los segmentos de baja resistividad, estos se encuentran focalizados, sin permitir definir estratos o estructuras de interés. Se sugiere

que para este perfil en particular se realicen pruebas adicionales. El perfil se ubica fuera de la zona que se considera parte del Acuífero Ocoatepeque – Citalá, no obstante, se decidió realizar la toma de datos en la zona para determinar si se podían definir nuevos límites en las dimensiones del acuífero. La repetición del perfil permitiría conocer si las anomalías representadas con símbolos de interrogación (“¿?”) en la Figura 74 aportan algún elemento importante para la descripción del ATOC.

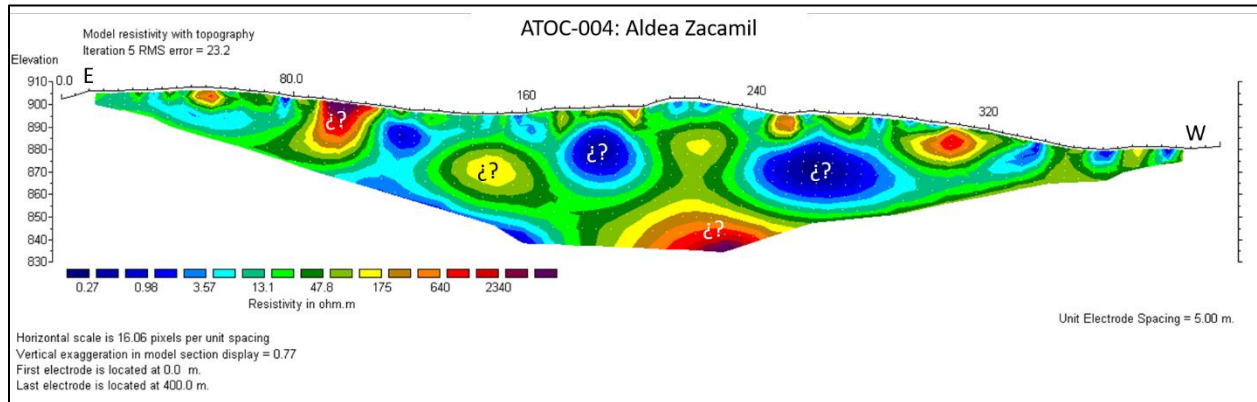


Figura 74. Resultados de la inversión de datos de TE2D del perfil ATOC-004 (Fuente: Elaboración Propia)

ATOC – 005: Concepción Pozo

Hasta el momento no se habían realizado pruebas de resistividad cercanas a pozos de monitoreo o de explotación, el perfil 5 (ATOC – 005: Concepción Pozo) permitió validar, en cierta medida, el método, aportando información que podría ser corroborada con la información del pozo de monitoreo perforado por el OIEA. La tomografía eléctrica 2D correspondiente al perfil Pozo de Monitoreo logró una profundidad aproximada de 35 – 40 m. (Figura 75), en esta se logra apreciar dos secciones muy bien definidas, la primera, una capa que comprende desde la superficie hasta unos 10 m. de profundidad, en donde se aprecian resistividades altas, entre $35.1 - 52.5 \Omega \cdot m$ (sobre la línea punteada negra en la Figura 75). Posterior a la capa resistiva se identifica una unidad de resistividades relativamente bajas, entre $15.6 - 30 \Omega \cdot m$, las cuales pueden interpretarse como rocas con saturación de agua dada su uniformidad a lo largo del perfil. De la sección transversal, solo se aprecian dos segmentos con resistividades más bajas (menores a $12.4 \Omega \cdot m$), uno en la sección Norte del perfil, entre los 0 – 75 m de longitud y profundidad de 10 – 20 m, y el otro en la

parte más al Sur del perfil, entre los 130 a 180 m de longitud y misma profundidad que en el segmento Norte, ambos por debajo de la línea punteada de separación de unidades resistivas, dichos materiales pueden ser asociados a elementos arcillosos o con mayor cantidad de saturación de agua. Por último, en el centro del perfil se aprecia una anomalía de resistividades entre 40 – 60 $\Omega \cdot m$ simbolizado con “¿?” en la figura, que no puede ser interpretada, dado el aislamiento de esta.

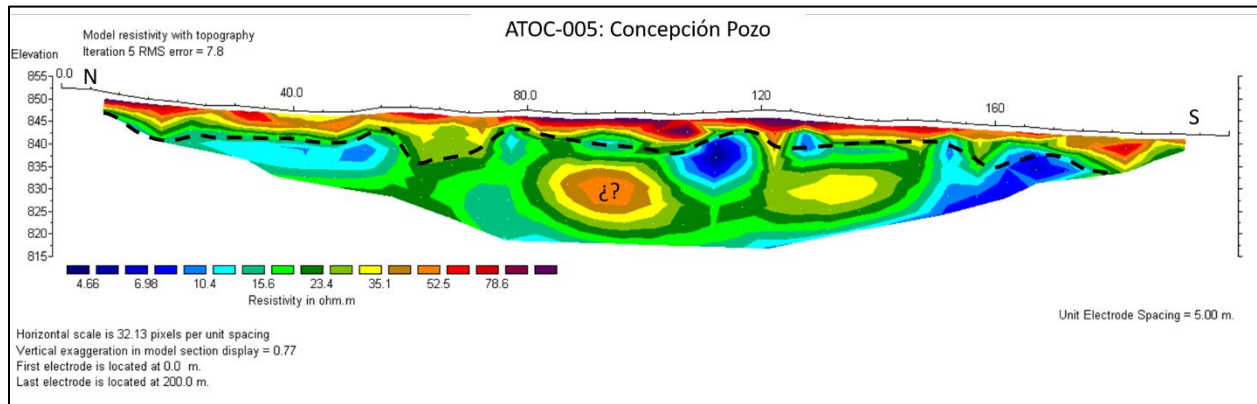


Figura 75. Resultados de inversión de datos de TE2D del perfil ATOC - 005 (Fuente: Elaboración propia)

ATOC – 006: Santa Fe Cementerio

Los resultados de la tomografía eléctrica en el perfil ATOC – 006 *Cementerio* se pueden visualizar en la Figura 76, estos mismos permiten apreciar en general dos secciones bien definidas: 1) la parte superficial con valores de resistividad altos, entre 53.6 $\Omega \cdot m$ y mayores a 170 $\Omega \cdot m$, y con profundidades máximas de 15 m. y, 2) la sección más profunda, a partir de los 15 - 20 m. en adelante (en medio de la sección de línea punteada blanca de la Figura 76) con valores de resistividad bajos, en donde podemos apreciar una franja con resistividades de entre 8 a 35 $\Omega \cdot m$, las cuales podrían estar relacionados a unidades rocosas con saturación de agua, alcanzando espesores de hasta 30 m. En la parte más central y profunda se aprecian valores de resistividad que comienzan a aumentar ($> 170 \Omega \cdot m$), lo que podría suponer que en esa sección existen rocas con menor grado de permeabilidad y puede relacionarse al piso del acuífero superficial. Este perfil en la parte más superficial presenta resistividades muy altas, lo que podría relacionarse al nivel de

compactación de la calle, o agregados de rocas en la zona. Este perfil nos permite definir muy bien las dimensiones y distribución del acuífero superficial de la región ATOC.

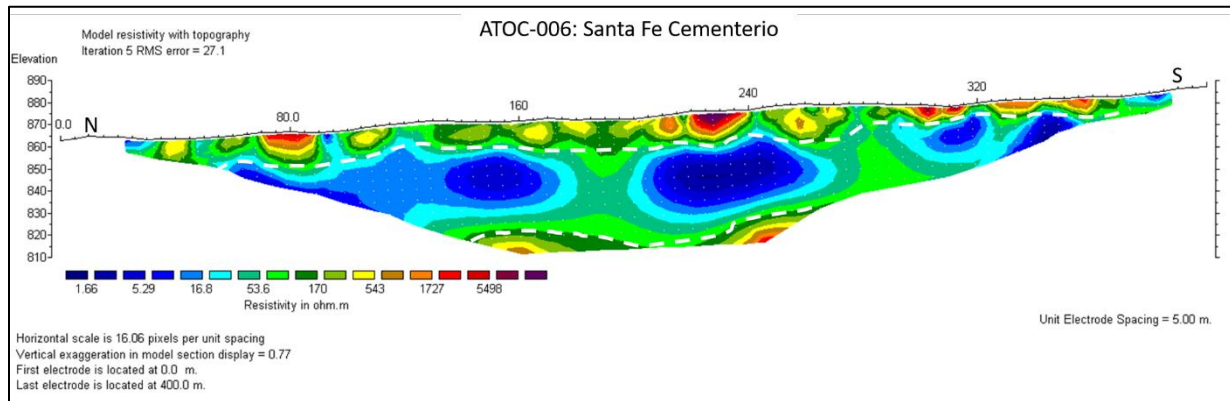


Figura 76. Resultados de inversión de datos de TE2D del perfil ATOC - 006 (Fuente: Elaboración propia)

ATOC – 007: Relleno Sanitario

Los resultados obtenidos en el perfil *Relleno Sanitario* (Figura 77) sugieren una distribución de capas bien definida, en la que podemos identificar 3 unidades de resistividades que se asocian de la siguiente manera: 1) Capa superficial (por encima de la línea punteada blanca superior): se caracteriza por tener valores de resistividad entre $25 - 150 \Omega \cdot m$, alcanzando una profundidad aproximada de 11 m., en la sección más al Oeste del perfil, presenta un segmento de unos 40 metros de largo con altas resistividades, podría relacionarse a bloques rocosos bien consolidados que no son propensos a acumular fluidos. 2) Zona Saturada: se caracteriza por tener valores de resistividad baja, ubicados en la sección que encierran las líneas punteadas blancas de la Figura 77 comprendiendo un segmento de aproximadamente 20 – 30 metros de espesor, las resistividades rondan entre $8 - 30 \Omega \cdot m$, las cuales se relacionan a secciones de roca saturadas por agua. 3) Zona no Saturada: esta sección se caracteriza por valores de resistividad altos, respecto al resto de la tomografía, los valores rondan entre $53.2 - 433 \Omega \cdot m$, lo cual puede relacionarse a rocas bien consolidadas o acuitardos, teniendo en cuenta las litologías predominantes en la zona, puede tratarse de un depósito de 30 metros o más de rocas bien consolidadas, cantos rodados o tobas y cenizas bien soldadas. Por último, los segmentos con valores menores a $6 \Omega \cdot m$, podrían estar

vinculados a lentes arcillosos, de los cuales la extracción de agua en esas zonas es más complicada por el tipo de material.

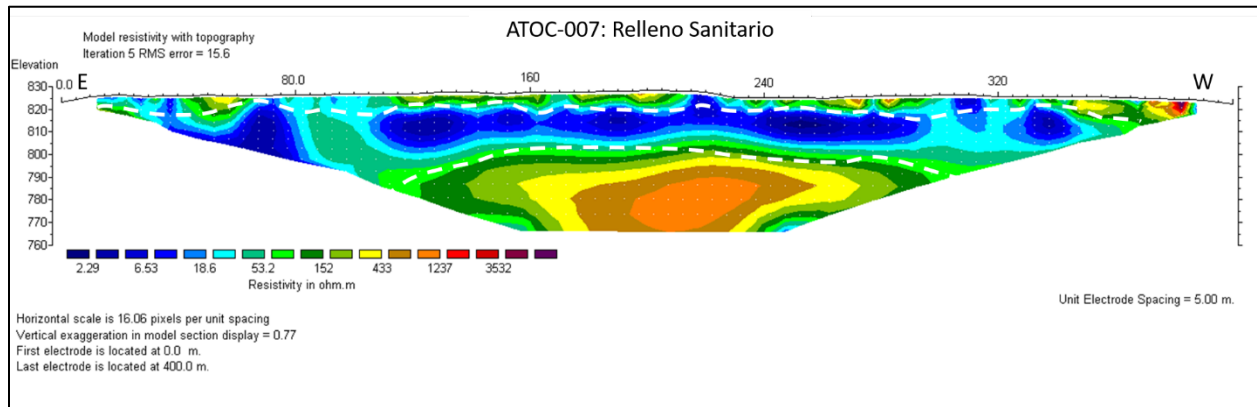


Figura 77. Resultados de inversión de datos de TE2D del perfil ATOC - 007 (Fuente: Elaboración propia)

ATOC – 008: Sinuapa Cementerio

El perfil resultante de la tomografía eléctrica 2D de Sinuapa Cementerio, permite diferenciar dos regiones con diferentes rangos de resistividades (Figura 78), la primera, referida a los rangos de resistividad más altos y más superficial (por encima de la línea punteada blanca en la figura antes mencionada), comprende desde los primeros metros de superficie hasta aproximadamente 15 - 20 m. de profundidad, dependiendo de la zona del perfil, las resistividades en esta sección rondan los $43 - 90 \Omega \cdot m.$, existen a su vez anomalías resistivas puntuales, simbolizadas con “¿?” en la Figura 78, dichas anomalías pueden asociarse con bloques de gran tamaño y alto nivel de consolidación de los materiales, sin embargo, dicha interpretación necesita de estudios extra para poder determinar qué genera dichas anomalías. Por debajo de la unidad de altas resistividades, se aprecian un comportamiento de valores de resistividad que tienden a ser más bajos (por debajo de la línea punteada blanca en la Figura 78), rondando los $35 \Omega \cdot m$ hasta los $18.6 \Omega \cdot m$, esta sección puede ser asociada a materiales rocosos saturados o con cierta cantidad de agua y por ende el límite del acuífero superior de la región ATOC. El perfil es característico por poseer una sección de bajas resistividades que llegan hasta niveles superficiales en el segmento Sur, aproximadamente a 40 m. desde el Sur hacia el centro del arreglo, los valores de resistividad bajo en ese segmento se pueden asociar a saturación en la zona, durante la toma de datos se registró de manera visual la presencia

de charcos de acumulación de fluidos en dicha zona. En la parte más al Norte del perfil, las resistividades más altas del perfil se pueden asociar al nivel de compactación y disposición de materiales de alta dureza.

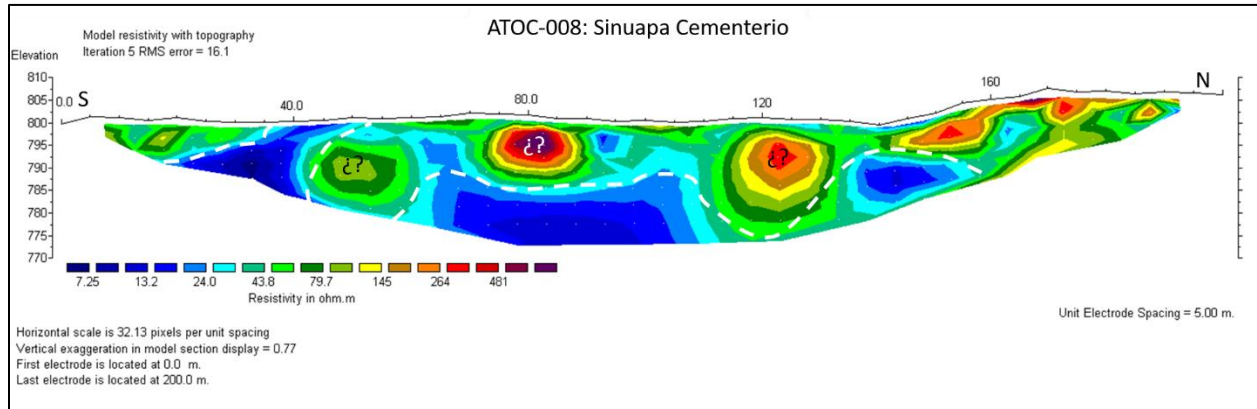


Figura 78. Resultados de inversión de datos TE2D del perfil ATOC - 008 (Fuente: Elaboración propia)

ATOC – 009: Santa Anita Arriba

Los resultados correspondientes al perfil *Santa Anita Arriba* poseen la particularidad de mostrar capas con resistividades muy poco variantes en sus capas (Figura 79), rondando los valores de $13 - 50 \Omega \cdot m$, con algunas anomalías de alta resistividad aisladas a lo largo del perfil y a diferentes profundidades. En primer lugar apreciamos una zona (por encima de la línea punteada blanca), que presenta resistividades “altas” que puede relacionarse a capas permeables o con cierta cantidad de humedad en ellas, sin embargo no se puede asegurar la existencia del nivel freático a estas profundidades, principalmente por la presencia de otros dos segmentos con valores de resistividad más altos de forma aislada con valores de $> 60 \Omega \cdot m$ señalados con la simbología “¿?” en la Figura 79, estas anomalías pueden representar bloques o segmentos no saturados, el espesor de esta sección de resistividades altas relativas va desde 18 m en la sección más al Este del perfil hasta 30 m alrededor de los 240 a 320 m. de longitud del perfil; la sección que se encuentra debajo de la línea punteada blanca corresponde a valores más adecuados para un nivel freático o rocas saturadas, teniendo aquí valores de entre $13.5 - 28.5 \Omega \cdot m$, y espesores que van desde los 17 m. hasta los 32 m., o sea esta sección de rocas con resistividad alcanza profundidades de hasta 55 m. de profundidad. Por último, se aprecia en el modelo secciones reducidas que presenta

resistividades que van desde los $7 \Omega \cdot m$ hasta los $13.5 \Omega \cdot m$, que en esencia podrían asociarse a espejos arcillosos o unidades rocosas muy saturadas.

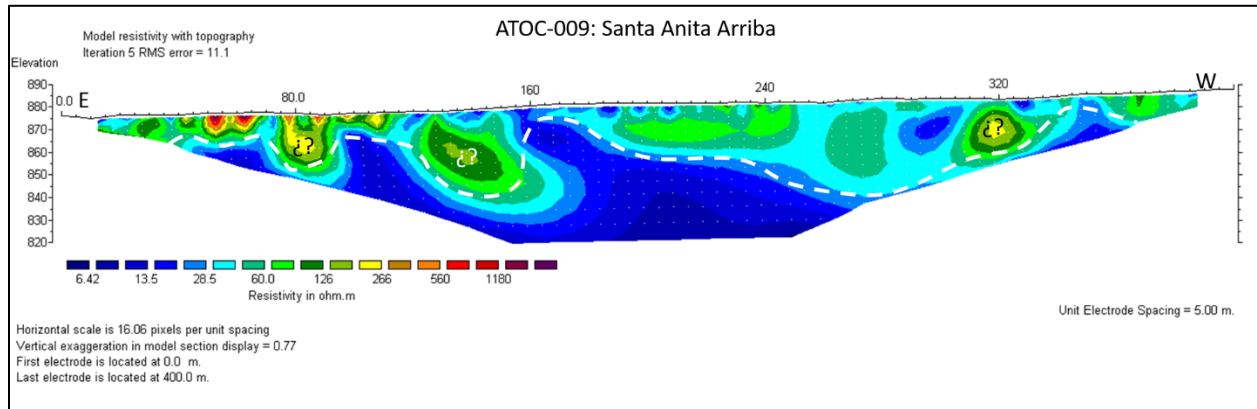


Figura 79. Resultados de la inversión de datos de TE2D para el perfil ATOC - 009 (Fuente: Elaboración propia)

ATOC – 010: Santa Anita Abajo

Los resultados mostrados por la tomografía resultantes (Figura 80) muestran una serie de capas con diferentes valores de resistividad. A nivel superficial se aprecia una capa de resistividades que rondan los valores de $30 - 80 \Omega \cdot m$, lo que sugiere que la roca posee algunos segmentos que aunque no esté bien saturada, si contiene altos niveles de humedad, y a su vez hay elementos que evitan la acumulación de estos fluidos (resistividades de $80 \Omega \cdot m$ o más), en el terreno se verificó la existencia de una bóveda aproximadamente a unos 80 m desde el SE hacia el centro del arreglo que presenta altas resistividades (simbolizado con “1” en la Figura 80), la interacción de la bóveda tiene un alcance de hasta 10 m. de profundidad. Por debajo de la línea punteada negra, se comienza a apreciar una zona de resistividades más bajas, con valores que van desde los $5 - 27 \Omega \cdot m$, esta sección podría referirse al nivel freático, estando a una profundidad de entre 17 m. – 39 m, la profundidad del mismo es concordante con las profundidades a las que aparece dicho segmento acuífero en algunas de las tomografías realizadas en la campaña. Por último, y en las secciones más profundas, definida por la línea punteada blanca, están los elementos con menor resistividad de la tomografía, con valores menores a $7 \Omega \cdot m$, los cuales podrían estar asociados a materiales arcillosos bien saturados. Sin embargo, el comportamiento de las anomalías resistivas tan variantes

en la lateral tiene el comportamiento de fracturas o fallas, esto se puede confirmar realizando estudios con otros métodos geofísicos o verificación geológica de mayor detalle.

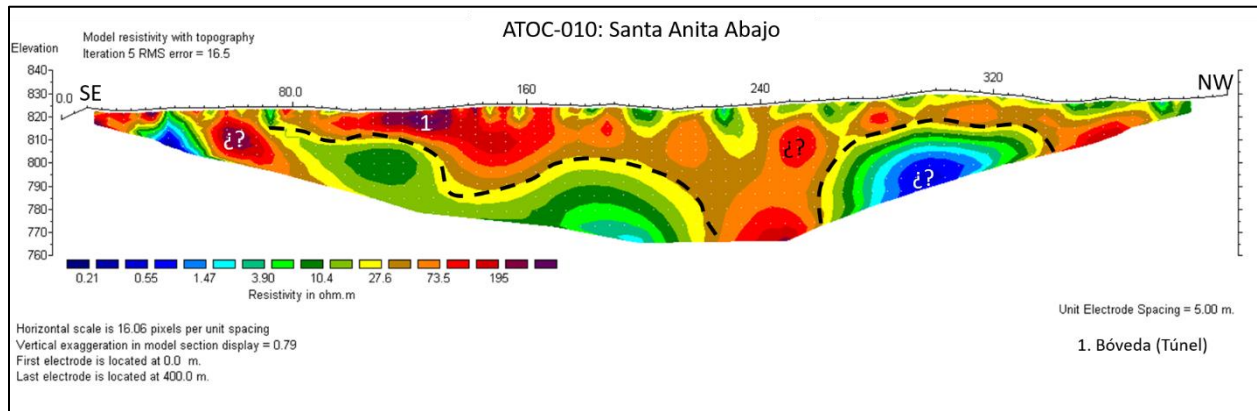


Figura 80. Resultados de la inversión de datos de TE2D para el perfil ATOC - 010 (Fuente: Elaboración propia).

ATOC – 011: Sinuapa Cultivos

Los resultados de la tomografía eléctrica 2D en la región de Sinuapa, perfil *Cultivos*, resultaron un con valores no tan contundentes (Figura 81), en primer lugar, se aprecia una zona superficial conformada por resistividades con valores entre $13.1 - 28.4 \Omega \cdot m$ en el segmento Norte del perfil, los cuales alcanzan profundidades máximas de $7 - 8$ m., estos valores podrían asociarse a los niveles de saturación del suelo debido a la irrigación de los cultivos adyacentes al lugar de toma de datos. En segunda instancia encontramos anomalías de resistividad variantes a lo largo del perfil resultante, de esta manera, en el centro del arreglo se observó un elemento de bajas resistividades (desde $1.28 - 13.1 \Omega \cdot m$ en el centro y parte más baja del perfil resultantes, marcado con “¿?” en color blanco en la Figura 81) sin embargo, por su forma puntual y con poca correlación a los alrededores no se puede concluir sobre dicho segmento. En los laterales de este segmento de resistividad (regiones marcadas con “¿?” color negro en Figura 81), se identificó dos regiones con altas resistividades ($> 60 \Omega \cdot m$), el comportamiento de alta y baja resistividad sugiere la existencia de una falla, sin embargo, los resultados no son concluyentes debido a la mala distribución de las capas de resistividad, por ende, la mayoría del perfil carece de interpretación a menos que se repitan las mediciones y se profundice o correlaciones con otros métodos de exploración geofísica.

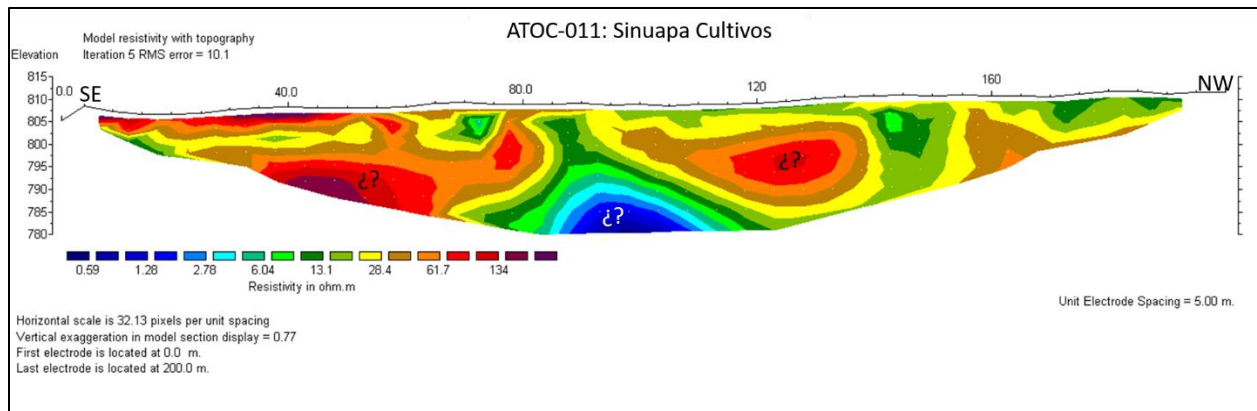


Figura 81. Resultados de la inversión de datos de TE2D del perfil ATOC - 011 (Fuente: Elaboración propia)

ATOC – 012: Antigua Ocotepeque

El modelo de resistividad del perfil Antigua Ocotepeque (Figura 82) nos permite observar que en su mayoría cuenta con valores de resistividad entre $25.5 - 70 \Omega \cdot m$, dichos valores pueden asociarse a niveles de saturación importantes en la roca, esto se justifica con la cercanía al lecho del río, por ende podemos sugerir que el nivel freático en la localidad se encuentra relativamente superficial, o bien que el flujo de agua subsuperficial tiene una dirección preferencial en esta región. Entre las zonas de interés de este perfil, tenemos la que se sitúa por encima de la línea punteada negra de la Figura 82 que va desde el segmento Sur hasta el segmento Norte, en donde se ve una sección de resistividades bajas, que rondan los valores menores a $25 \Omega \cdot m$, dichos valores pueden estar relacionados a depósitos arcillas o material saturado, los espesores que alcanza esta sección ronda los 10 – 15 metros. Por otra parte, en el segmento al Norte del centro del perfil, notamos valores de resistividad muy elevados, que al mismo tiempo se concentran en niveles superficiales, no más de 10 m. de profundidad, estos valores (entre $88.7 - >130 \Omega \cdot m$) pueden asociarse: 1) a la compactación de la calle, 2) presencia de rocas de gran tamaño con alta resistividad y, 3) presencia de raíces que dificultan el paso de la corriente de manera libre en estos niveles. Además, apreciamos en la parte media del perfil resultante (Figura 82), entre las líneas punteadas negras un segmento de resistividades intermedias – bajas ($\sim 38.5 - 70 \Omega \cdot m$), lo que sugiera la presencia de materiales semipermeables o permeables que se asocian con la presencia del acuífero superficial con espesores de hasta 20 m. Por último, en la parte más profunda del modelo, se aprecia la tendencia de las resistividades a la baja, lo que supone la existencia de una

unidad de resistividad baja asociada a la concentración de fluidos; es de tener en cuenta que este perfil se realizó en una zona cercana al río Lempa, por lo que los valores de resistividad en este pueden estar vinculados a depósitos aluvionales relacionados a la dinámica propia del río.

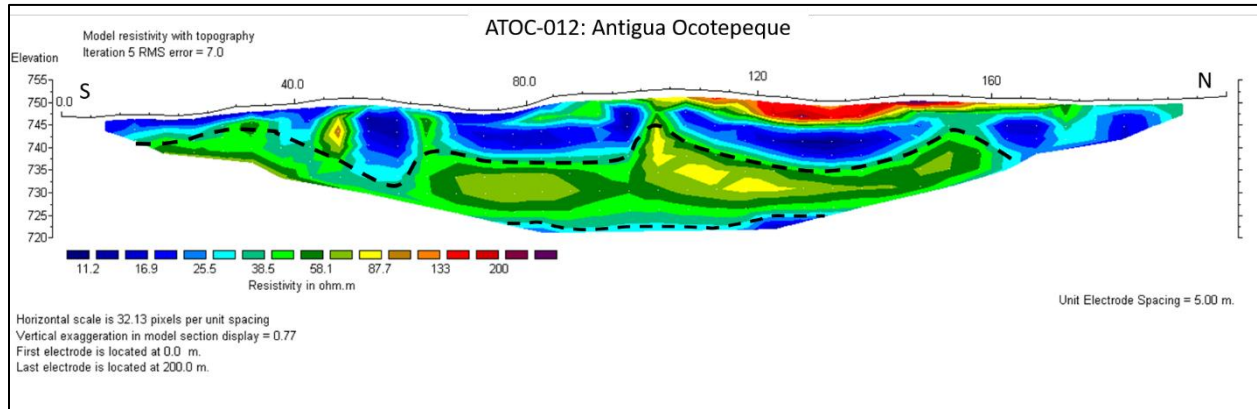


Figura 82. Resultados de la inversión de datos de TE2D del perfil ATOC - 012 (Fuente: Elaboración Propia)

ATOC – 013: El Poy HN

Los resultados obtenidos en el perfil El Poy HN (Figura 83), cambian en gran medida de los que se obtuvieron en Antigua Ocotepeque y Citalá Río – perfiles cercanos entre sí -. En la tomografía resultante se observa que existe una capa bastante importante con valores de resistividad elevados, los cuales rondan en $33 - 190 \Omega \cdot m$, alcanzando profundidades de hasta $22 - 25$ m. de profundidad, en esta capa podemos identificar dos subsecciones de resistividad la más superficial con valores no mayores a $51.7 \Omega \cdot m$ (sobre la línea negra punteada superior en la Figura 83), que no sobrepasan los 12 m. de profundidad, estos pueden estar relacionados a materiales de compactación semipermeables, dado que el perfil se realizó al lado de la carretera principal, posterior a esta se encuentran una sección de resistividades altas, que pueden llegar hasta los $127 \Omega \cdot m$ (en medio de las dos líneas punteadas negras de la Figura 83), definiendo una capa que funcionaría como sello o confinante del acuífero; sin embargo, posterior a los 25 m. de profundidad se aprecia el inicio de una interfaz de resistividades con valores más bajos, valores que rondan entre los $8.62 - 21.1 \Omega \cdot m$, (sección por debajo de la línea punteada negra inferior en la Figura 83); este segmento cuenta con las características para poder asociarse con el nivel freático del acuífero superficial, el espesor de esta unidad de resistividades y la correlación con el nivel del río

Lempa podría verificarse al extender la longitud del arreglo, y de esta manera conocer si el río aporta al acuífero en esta sección o viceversa.

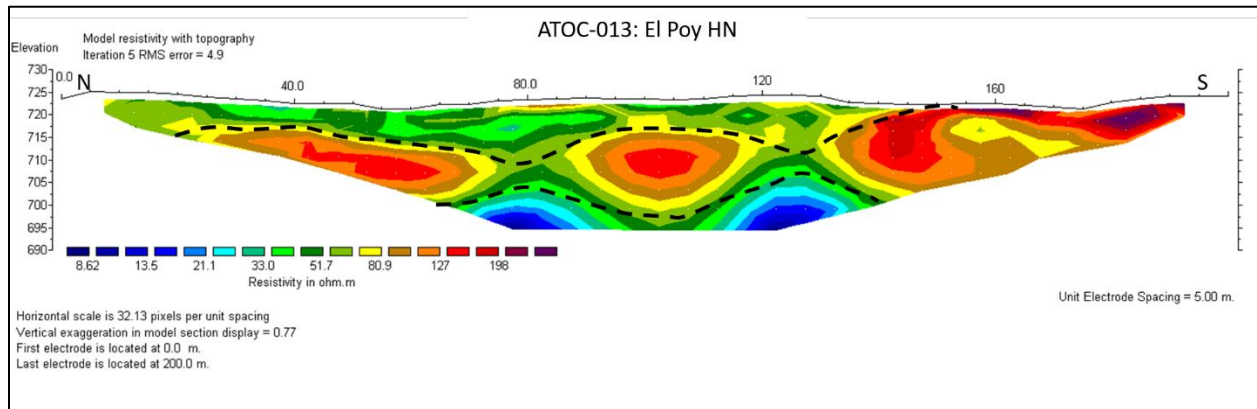


Figura 83. Resultados de la inversión de datos de TE2D del perfil ATOC-013 (Fuente: Elaboración propia)

4.1.3. Correlación geológica de los puntos de muestreo

Las TE2D desarrolladas durante la investigación se realizaron dentro de los límites del ATOC (Figura 84), caracterizado por estar dentro del miembro geológico *Qal*, referente a depósitos aluviales, exceptuando un perfil, el ATOC – 004, el cual se llevó a cabo en terreno perteneciente al miembro geológico *Pm*, relacionado a rocas efusivas básicas intermedias que no tienen capacidad de generar condiciones para acuíferos. Un caso particular de los perfiles fue el perfil ATOC – 003, el cual se realizó utilizando la técnica de Roll – Along, que permitió alargarnos en terreno manteniendo una profundidad de penetración fija, en este perfil, que consta de 300 metros de longitud, el método permitió realizar 200 metros dentro de la unidad geológica *Qal* (sección más al Sur) y 100 metros en la unidad geológica *Pm* (segmento del perfil más al Norte), lo cual se ve evidenciado en el resultado de la inversión de datos para dicha tomografía.

Como se mencionó en la sección 2.6.1.6, los materiales correspondientes a *Qal* son prácticamente producto de la dinámica de los ríos cercanos, principalmente el Río Lempa; el espesor que se tiene registro de esta unidad son 30 m., por lo que el acuífero superficial de la región ATOC está vinculado principalmente a esta unidad geológica; por otro lado la formación *Pm* cuyos materiales son más consolidados y yacen concordantemente debajo de los *Qal* funciona como bloque impermeable/semimpermeable (acuitardo), o piso del acuífero superficial del ATOC.

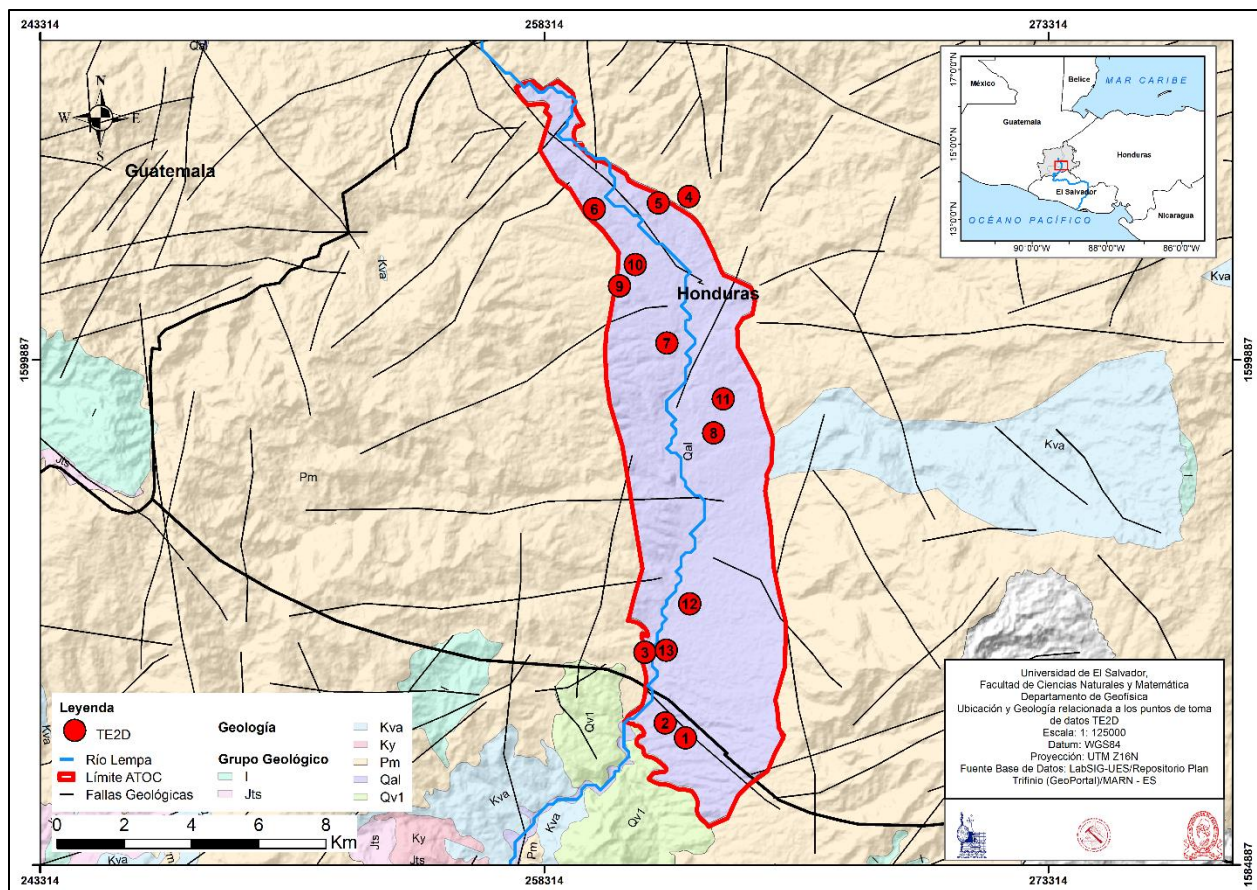


Figura 84. Ubicación de los perfiles de TE2D en el marco geológico del ATOC (Fuente: elaboración propia)

Respecto a las fallas existentes en la región trifinio y específicamente en el ATOC, ninguno de los perfiles logró interceptar una falla identificada o inferida (ver mapa Figura 84); en algunos sitios de toma de datos se observó en los resultados un comportamiento de las anomalías resistivas similar al que se genera cuando se intercepta una falla, sin embargo no son completamente contundentes y se descartan, por el momento, el hallazgo de estas mismas.

La correlación litológica vinculada a cada uno de los perfiles con los pozos que poseen registros se adjunta en los anexos, para ser observados con mayor detalle. Dichas correlaciones sirvieron para la generación del Modelo Hidrogeológico Conceptual (MHC) del ATOC.

4.2. Balance Hídrico de Suelos

La metodología de (Schosinsky, 2006) nos permitió obtener los cálculos de los balances hídricos con el cual obtuvimos los valores para evapotranspiración real (ETR), escorrentía (ESC) y la recarga potencial (RP) del acuífero superficial de la región ATOC para cada uno de los polígonos generados a partir de la información de Uso de Suelo, Condiciones Climáticas, Textura de Suelo tal como se mencionó en la sección 3.3.4.

Cabe mencionar que se realizaron 31 pruebas de balance hídrico, esto debido a que en varios polígonos de textura de suelo se presentaban hasta 3 tipos diferentes de uso de suelo (Bosque, Cultivos y Pastos), esto para tratar de mejorar el detalle o calidad del cálculo de las variables que la técnica nos ofrece. El detalle de las pruebas es el siguiente: 6 pruebas en polígonos de bosque, 13 pruebas en polígonos de pasto y 12 pruebas en polígonos de cultivo. La predominancia del uso de suelo “Pasto” (42% del área total) se ve evidenciada en la estadística presentada en la Figura 85.

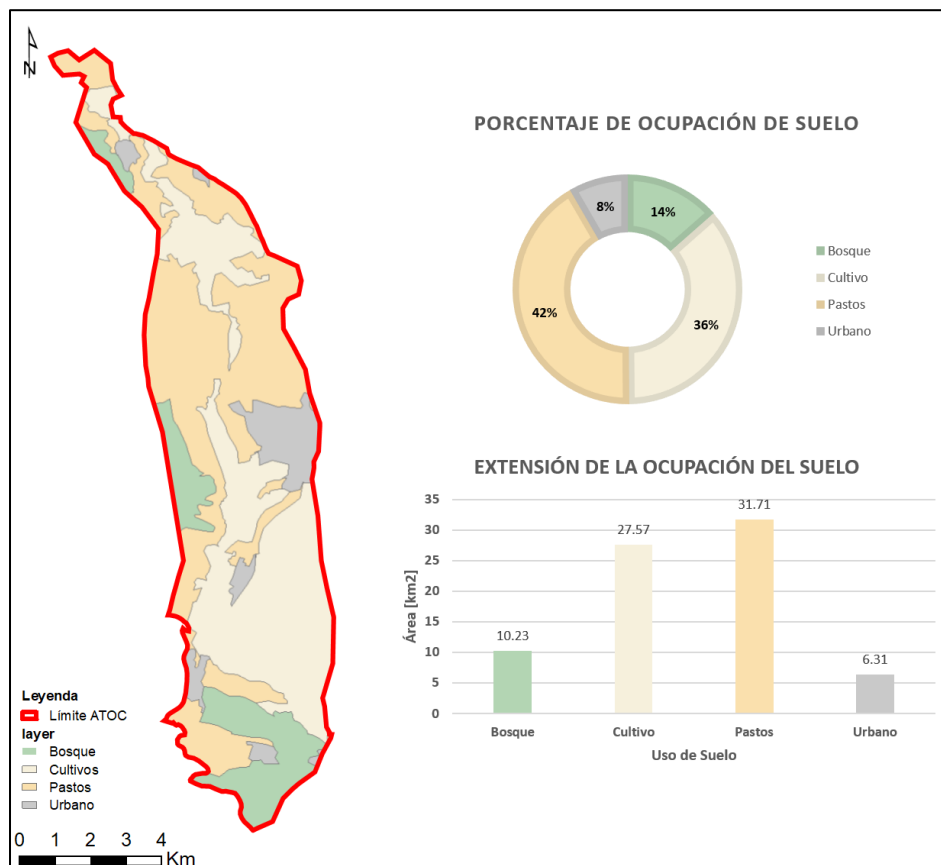


Figura 85. Estadísticas de la predominancia de usos de suelo para las pruebas de balance hídrico de Schosinsky (Fuente: Elaboración propia)

Entre las observaciones que se realizaron al momento de rellenar la hoja de cálculo fue que el parámetro más variante eran la profundidad de raíces (PR), el coeficiente de vegetación (Kv) y el coeficiente de infiltración (Ci) debido a la variabilidad y vinculación de las condiciones de terreno y vegetación propia de cada polígono y subpolígono.

En cuanto al valor del coeficiente de pendiente este se fue detallando por cada uno de los subpolígonos, de esta manera existen casos que dentro de un polígono de textura hay 3 tipos de uso de suelo y mismo número de valores de coeficiente de pendiente. El valor del coeficiente de pendiente (Kp) varía entre 0.06 y 0.1.

La Tabla 26 resume los parámetros de entrada que fueron utilizados en cada una de las 31 pruebas de balance hídrico; para un mayor detalle de los resultados y parámetros de entrada ver (**ANEXO 5**).

Con los datos de entrada y el uso de las herramientas de cálculo y estadística pudimos obtener el resultado de los parámetros esenciales del balance hídrico como son la Recarga Potencial (RP), Escorrentía (ESC) y Evapotranspiración Potencial y Real (ETP y ETR) para cada uno de los polígonos de tipo de suelo (Figura 87); es de tener en cuenta que los valores de Precipitación (PP) y ETP, fueron obtenidos a partir de datos de la estación meteorológica utilizada para el balance hídrico.

Los resultados arrojados por el balance hídrico de suelos por la metodología de Schosinsky detallan que la recarga potencial (RP) del acuífero es equivalente a 1123.23 mm/año; para conocer los valores del volumen que estos representan en el área del ATOC, se multiplica dicho valor por el área en el que es efectiva el balance hídrico, en este caso, el ATOC cuenta con una extensión de 75.82 km², por lo cual, al realizar el producto obtenemos que la RP del acuífero estimada es 84.7 Mm³/año.

Ahora bien, los valores de volúmenes calculados anteriormente son considerando el área total del acuífero, incluyendo las áreas urbanas. En principio se considera que las áreas urbanas dentro de una cuenca hidrogeológica no aportan en la recarga del acuífero, en la región del ATOC se cuenta con 6.31 km² de área urbana, por lo cual el área efectiva para el cálculo de los volúmenes de RP y ESC cambia, teniendo así un área efectiva de recarga de 69.51 km²; teniendo en cuenta esta

consideración, los valores para la recarga potencial es $85 \text{ Mm}^3/\text{año}$. El resumen de los datos de RP por polígono, el área efectiva de cada polígono y el análisis que nos lleva a conocer el valor de la RP para el ATOC se detallan en la Tabla 25.

El valor que representa la RP es bastante cercano a la cantidad de precipitación promedio anual (PP) que se registra en la región del ATOC, esto representa que la mayor cantidad de agua que precipita tiene el potencial para infiltrarse y ser parte de la recarga. Esto, puede asociarse a las características y materiales geológicos que conforman el terreno, principalmente los aluviones con alta permeabilidad y poca compactación.

El gráfico presentado en la Figura 86 nos permite analizar en qué momento del ciclo hidrológico existe la mayor probabilidad de la recarga al acuífero; graficando la PP y la ETP en un mismo gráfico podemos determinar los diferentes escenarios que vive una unidad acuífera. Para el caso particular del ATOC, se observa que los déficits de agua inician en el momento en que las precipitaciones tienden a cero (iniciando la época seca basados en los datos de la Figura 86) y posterior al consumo de la reserva útil superficial, este razonamiento se fundamenta en que los valores de ETP se mantienen prácticamente constantes mientras que la precipitación es nula o con pocos milímetros por mes. La recarga al acuífero se genera cuando el valor de ETP es inferior al de la cantidad del PP, sí y solo sí los valores de la PP van en aumento a lo largo de la estación lluviosa (aproximadamente en los meses de mayo a julio según los datos de la Figura 86); una vez alcanzado los niveles de saturación de terreno, el agua excedente se convierte en escorrentía (de julio a octubre de acuerdo a la gráfica de la Figura 87. Una vez las PP igual el valor de la ETP se inicia el proceso de consumo de la reserva útil, que como ya se había detallado se da cuando la ETP se vuelve mayor que la PP, pero aún existen precipitaciones en el terreno (de octubre a noviembre según Figura 86).

Con base a lo relatado anteriormente, podemos, entonces, determinar que la RP del ATOC se puede estar realizando durante el período de mayor cantidad de precipitaciones en la región (de mayo a octubre) y que la recuperación del déficit y recarga del acuífero se enfoca en el primer periodo de precipitaciones altas. Posterior a eso, la escorrentía aumenta considerablemente., lo que reforzaría el dato de ESC elevado que se obtuvo en el balance hídrico de suelos (1298 mm/año)

Tabla 25. Cálculos de la RP para el ATOC con sus respectivos parámetros (Fuente: Elaboración Propia)

Pol	Tipo de Suelo	RP por Tipo de uso de suelo [mm/año]						Recarga por Polígono [m3/año]						
		Bosque	Área [m2]	Cultivos	Área [m2]	Pasto	Área [m2]	RP1	RP2	RP3	Área Polígono [m2]	Área Efectiva [m2]	RP (mm/año)	RP (mm/año) AE
1	Franco-Limoso	0	5691086.64	169.91	2337203.74	74.46	1747571.67	0	397114.29	130124.19	10250530.01	9775862.05	51.44	53.93
2	Franco-Limoso	0	912893.15	-	-	159.48	1747422.53	0	0.00	278678.94	2853040.93	2660315.67	97.68	104.75
3	Franco-Arenoso	-	-	105.84	183123.18	180.12	531669.11	0	19381.76	95764.24	1078591.15	714792.28	106.76	161.09
4	Arcilloso	-	-	0	241934.91	0	721476.34	0	0.00	0.00	963411.26	963411.25	0.00	0.00
5	Franco-Arcilloso	-	-	30.04	425922.44	54.25	1523019.24	0	12794.71	82623.79	2085071.74	1948941.68	45.76	48.96
6	Franco-Limoso	0	896582.53	128.82	1486418.01	159.48	3105743.00	0	191480.37	495303.89	5876050.88	5488743.54	116.88	125.13
7	Franco-Arcilloso	0	92171.06	54.64	1080626.73	72.95	8926304.30	0	59045.44	651173.90	10099714.76	10099102.08	70.32	70.32
8	Franco-Arcilloso	0	1931265.00	41.73	3925352.00	63.08	3646969.00	0	163804.94	230050.80	13081908.24	9503586.00	30.11	41.44
9	Arenoso	-	-	186.12	129114.65	117.44	1553165.01	0	24030.82	182403.70	1682279.68	1682279.66	122.71	122.71
10	Franco-Arenoso	-	-	156.12	3358803.44	180.12	754838.11	0	524376.39	135961.44	4113641.55	4113641.56	160.52	160.52
11	Franco-Arenoso	-	-	168.12	50279.29	180.12	3968314.48	0	8452.95	714772.80	4182482.48	4018593.77	172.92	179.97
12	Franco-Arcilloso	0	705465.36	21.45	11509485.36	41.15	2640367.46	0	246878.46	108651.12	15351829.77	14855318.19	23.16	23.93
13	Franco-Limoso	-	-	124.3	3122238.80	159.48	567270.44	0	388094.28	90468.29	3829090.50	3689509.24	124.98	129.71
TOTAL													1123.23	1222.48

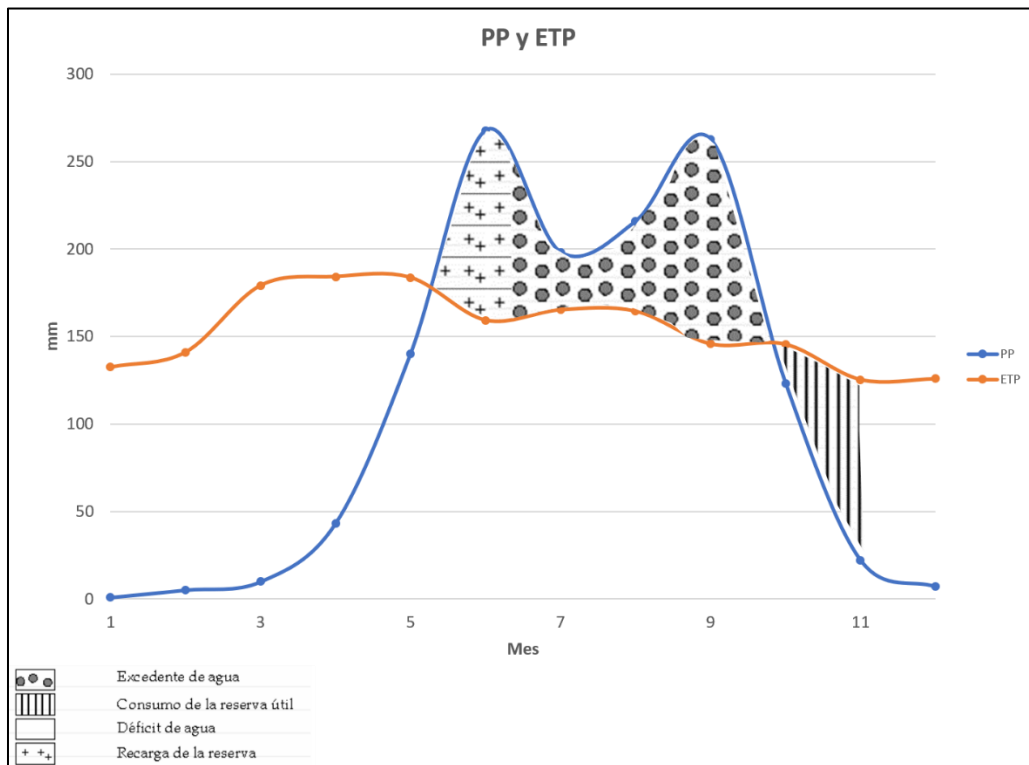


Figura 86. Análisis gráfico del estado de la recarga del ATOC basado en precipitación y ETP (Fuente: Elaboración propia).

Con la información de PP y ESC interpretados, y que dan fundamentos a los resultados obtenidos con el balance hídrico, se pueden presentar los resultados a nivel espacial por polígono de tipo de suelo; La Figura 87 presenta a manera de resumen los resultados anteriormente descritos, en conjunto con gráficos que representan el porcentaje y detalle de cada parámetro de los resultados del balance hídrico.

Tabla 26. Parámetros de entrada para el balance hídrico de los polígonos de la región ATOC a detalle (Fuente: Elaboración propia)⁴

Id	Nombre	Tipo Suelo	Uso de Suelo	fc [mm/d]	PMP [%]	CC [%]	DS [g/cm3]	PR [mm]	Kfc	Kp	Kv	Ci
PS – 1 - A	San Ignacio 1	Franco-Limoso	Bosque	364.608	10	22	1.43	2500	0.80	0.06	0.2	1
PS – 1 - B	San Ignacio 1	Franco-Limoso	Cultivo	364.608	10	22	1.43	150	0.80	0.06	0.1	0.9558
PS – 1 - C	San Ignacio 1	Franco-Limoso	Pasto	364.608	10	22	1.43	1500	0.80	0.06	0.18	1
PS – 2 - A	La Vuelta	Franco-Limoso	Bosque	457.056	10	22	1.43	2550	0.84	0.06	0.2	1
PS – 2 - B	La Vuelta	Franco-Limoso	Pasto	457.056	10	22	1.43	400	0.84	0.06	0.21	1
PS – 3 - A	Citalá Río	Franco-Arenoso	Cultivo	481.248	6	14	1.5	1500	0.85	0.06	0.18	1
PS – 3 - B	Citalá Río	Franco-Arenoso	Pasto	481.248	6	14	1.5	400	0.85	0.06	0.21	1
PS – 4 - A	Zacamil	Arcilloso	Cultivo	36.6336	17	35	1.25	150	0.23	0.06	0.1	0.3928
PS – 4 - B	Zacamil	Arcilloso	Pasto	36.6336	17	35	1.25	400	0.23	0.06	0.18	0.4728
PS – 5 - A	Concepción Pozo	Franco-Arcilloso	Cultivo	164.16	13	27	1.35	500	0.61	0.06	0.1	0.7736
PS – 5 - B	Concepción Pozo	Franco-Arcilloso	Pasto	164.16	13	27	1.35	400	0.61	0.06	0.18	0.8536
PS – 6 - A	Santa Fe Graveyard	Franco-Limoso	Bosque	421.632	10	22	1.43	2550	0.83	0.06	0.2	1
PS – 6 - B	Santa Fe Graveyard	Franco-Limoso	Cultivo	421.632	10	22	1.43	500	0.83	0.06	0.1	0.9859
PS – 6 - C	Santa Fe Graveyard	Franco-Limoso	Pasto	421.632	10	22	1.43	400	0.83	0.06	0.21	1
PS – 7 - A	Relleno Sanitario	Franco-Arcilloso	Bosque	206.496	13	27	1.35	2550	0.67	0.06	0.2	0.9284

⁴ fc: infiltración básica del terreno medida y calculada con permeámetro de Guelph; PMP: Punto de marchitez permanente; CC: capacidad de campo; DS: densidad del suelo; PR: profundidad de raíz; Kfc: coeficiente de infiltración de terreno; Kp: coeficiente de pendiente del terreno/polígono; Kv: coeficiente de vegetación del terreno/polígono.

Id	Nombre	Tipo Suelo	Uso de Suelo	fc [mm/d]	PMP [%]	CC [%]	DS [g/cm3]	PR [mm]	Kfc	Kp	Kv	Ci
PS – 7 – B	Relleno Sanitario	Franco-Arcilloso	Cultivo	206.496	13	27	1.35	500	0.67	0.1	0.1	0.8684
PS – 7 – C	Relleno Sanitario	Franco-Arcilloso	Pasto	206.496	13	27	1.35	400	0.67	0.06	0.18	0.9084
PS – 8 – A	Sinuapa Graveyard	Franco-Arcilloso	Bosque	167.616	13	27	1.35	2550	0.62	0.06	0.2	0.8787
PS – 8 – B	Sinuapa Graveyard	Franco-Arcilloso	Cultivo	167.616	13	27	1.35	500	0.62	0.1	0.1	0.8187
PS – 8 – C	Sinuapa Graveyard	Franco-Arcilloso	Pasto	167.616	13	27	1.35	600	0.62	0.1	0.18	0.8987
PS – 9 – A	Santa Anita Arriba	Arenoso	Cultivo	1468.8	4	9	1.68	500	1.00	0.1	0.1	1
PS – 9 – B	Santa Anita Arriba	Arenoso	Pasto	1468.8	4	9	1.68	1500	1.00	0.06	0.21	1
PS – 10 – A	Santa Anita Abajo	Franco-Arenoso	Cultivo	497.664	6	14	1.5	600	0.86	0.1	0.1	1
PS – 10 – B	Santa Anita Abajo	Franco-Arenoso	Pasto	497.664	6	14	1.5	400	0.86	0.1	0.18	1
PS – 11 – A	Sinuapa Cultivos	Franco-Arenoso	Cultivo	516.672	6	14	1.5	500	0.87	0.1	0.1	1
PS – 11 – B	Sinuapa Cultivos	Franco-Arenoso	Pasto	516.672	6	14	1.5	400	0.87	0.1	0.18	1
PS – 12 – A	Antigua Ocotepeque	Franco-Arcilloso	Bosque	121.824	13	27	1.35	2550	0.54	0.06	0.2	0.8005
PS – 12 – B	Antigua Ocotepeque	Franco-Arcilloso	Cultivo	121.824	13	27	1.35	500	0.54	0.1	0.1	0.7405
PS – 12 – C	Antigua Ocotepeque	Franco-Arcilloso	Pasto	121.824	13	27	1.35	400	0.54	0.06	0.18	0.7805
PS – 13 – A	El Poy HN	Franco-Limoso	Cultivo	362.88	10	22	1.43	600	0.79	0.1	0.1	0.9948
PS – 13 – B	El Poy HN	Franco-Limoso	Pasto	362.88	10	22	1.43	400	0.79	0.06	0.18	1

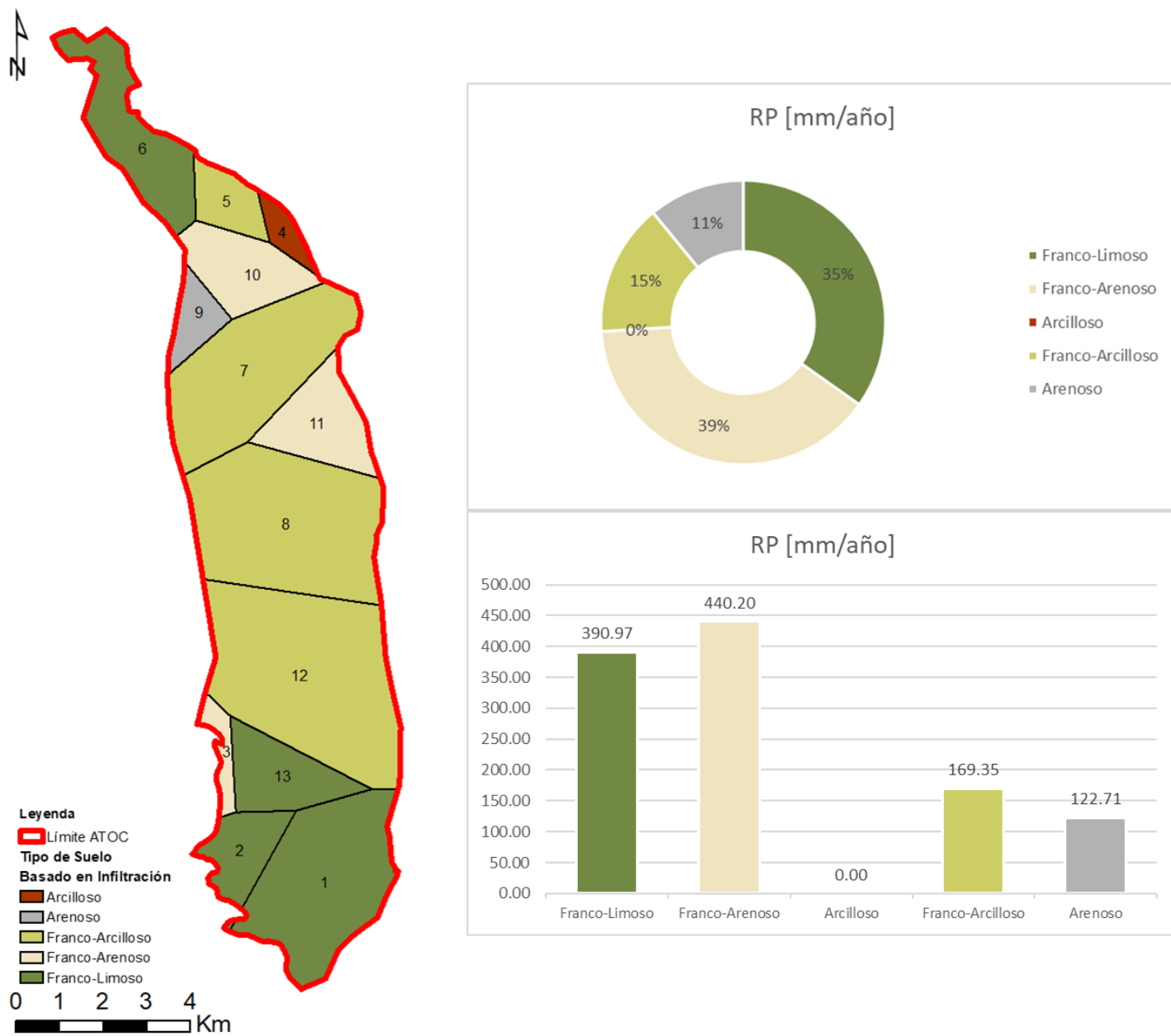


Figura 87. Resultados de Balance Hídrico de Suelos por metodología de (Schosinsky, 2006) para cada tipo de textura de suelo del ATOC (Fuente: Elaboración propia)

4.3. Modelo Hidrogeológico Conceptual

Con base a los resultados obtenidos por medio del balance hídrico de suelos, prospección geofísica y la geología característica de la zona se puede generar el Modelo Hidrogeológico Conceptual (MHC) para el ATOC. A continuación, se presentan los detalles de los materiales predominantes en las secciones acuíferas y no acuíferas de interés, se detallan secciones estratigráficas de la región con toda la información recopilada y a detalle, así mismo, se presenta la figura principal que resume las condiciones del ATOC.

4.3.1. Unidad Geológica *Q'al*

Es la unidad geológica predominante en toda la extensión del ATOC (ver mapa geológico en Figura 11), se caracteriza por poseer materiales de depositación, principalmente conglomerados, cantos rodados, tobas y arenas finas, así como sedimentos que se disponen en capas discordantes, posiblemente reflejo de episodios súbitos de arrastre de material, el actor principal de generación de los depósitos es el Río Lempa.

La investigación a partir de datos de litologías de pozos e interpretación geofísica de resistividad eléctrica logró determinar 3 subunidades de materiales relacionados a la unidad *Q'al*, las cuales pueden ser observadas en la Figura 88 correspondiente a la sección geológica transversal de cada punto de muestreo (Pozos, SEV y TE2D), en ella se identifica también el nivel freático observado en el caso de los pozos e inferido en el caso de los SEV y TE2D.

A continuación, se detalla las características de las 3 subunidades que comprenden la unidad *Q'al*:

4.3.1.1. Subunidad de materiales superficiales permeables/semipermeables

Caracterizada por poseer materiales compactados y con alto grado de alteración, la subunidad cuenta con depósitos de arcillas semipermeables de media – alta resistividad; tobas compactadas en intercalación con cantos rodados que dan forma a depósitos resistivos con permeabilidad alta, muy característicos de valles fluviales; la subunidad cuenta con espesores promedio de 12 metros, existiendo a su vez espesores más importantes en las zonas más cercanas al Río Lempa donde la pendiente es más suavizada (parte central de la Figura 88 correspondiente al punto de muestreo SEV27-Ocotepeque), la Figura 89 muestra un detalle más general con muestreo discretizado que permite apreciar de mejor manera la disposición de esta capa (delimitada por línea punteada negra).

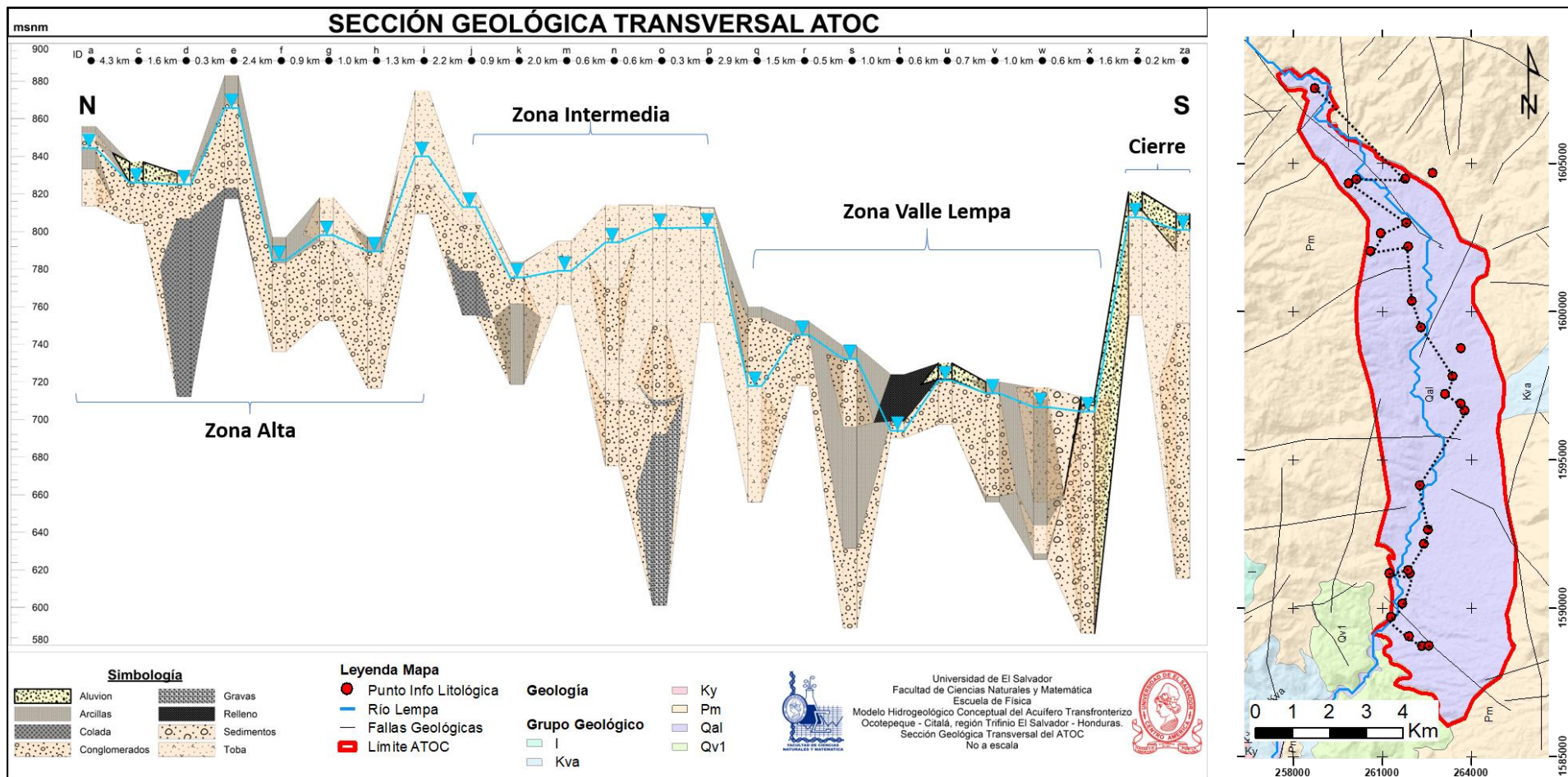


Figura 88. Sección geológica transversal del ATOC, basado en información de puntos de muestreo o información de pozos (Fuente: Elaboración propia).

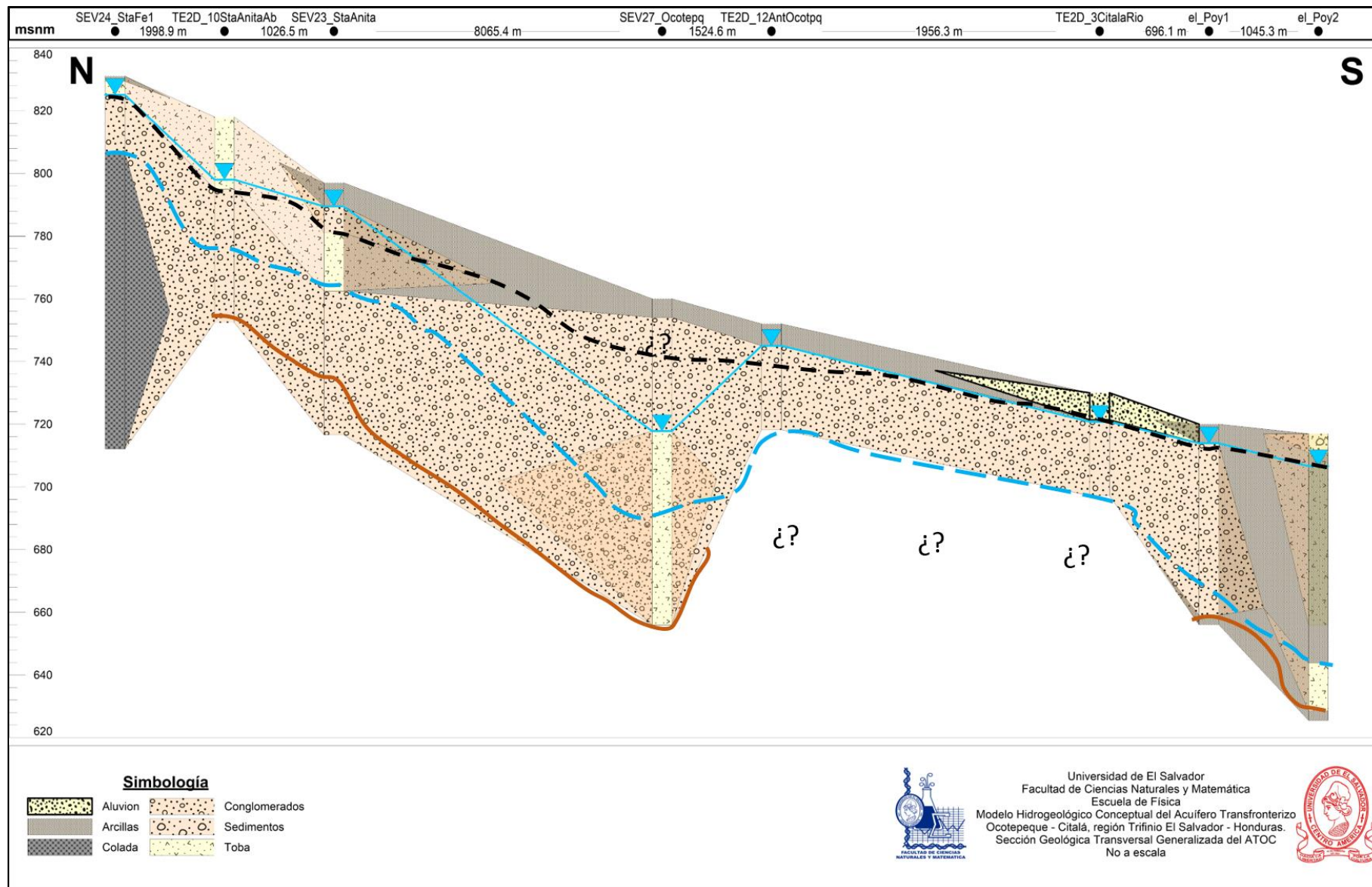


Figura 89. Sección transversal simplificada. Detalle de las 3 subunidades relacionadas con la unidad geológica Q'al; línea punteada negra: unidad superficial; línea punteada azul, límite unidad acuífera; línea marrón: límite unidad de consolidado poco permeable (Fuente: Elaboración propia)

La delimitación presentada en la sección transversal de la Figura 89 es estimada, existen tramos de la sección que no es posible identificarla dado que los datos indican la presencia de una sola unidad geológica que coincide con el tipo de material relacionada al acuífero superficial.

Además, la subunidad no presenta características de ser capa confinante del acuífero superficial, a excepción de los resultados obtenidos en la TE2D correspondiente a la localidad de El Poy (TE2D – 13ElPoy), Honduras, donde se refleja un espesor importante con altas resistividades, que difiere en cierta manera con la descripción de materiales que presenta el registro de pozos El Poy 1, lo que genera una ambigüedad en la interpretación y genera la propuesta de mejorar el detalle de la descripción del material en los registros de perforación.

4.3.1.2. Subunidad acuífera superficial

Compuesta principalmente por conglomerados, gravas y secuencias de arenas gruesas; cuenta con permeabilidad y capacidad de almacenaje dadas sus propiedades de porosidad. La unidad se hace presente desde el Norte de la delimitación del acuífero hasta la zona Sur, con espesores promedio que ronda los 17 – 35 metros, con algunas excepciones en las zonas más cercanas al límite del acuífero donde el espesor de este se ve disminuido a menos de 12 metros. El nivel freático es el indicador principal del inicio de esta subunidad, en la Figura 88 se aprecia que el comportamiento de la profundidad del nivel freático es independiente de la topografía, es decir que este se mantiene “constante” en casi todos los puntos de muestreo respecto a la superficie.

El material principal que conforma la unidad acuífera se relaciona a un segmento de conglomerados y tobas; con algunos segmentos donde las gravas y “sedimentos” (según descripción del registro de pozos) son los que delimitan la zona acuífera. La figura de detalle (Figura 89) nos permite observar que la región en la que se tiene menor información sobre el límite inferior de esta subunidad geológica y principal unidad acuífera es la región cercana a las localidades de Antigua Ocotepeque y El Poy (segmentos señalados con “¿?”) en donde las TE2D y SEV no aportan mucha información acerca de la unidad que podría servir con piso del acuífero.

El volumen de esta unidad acuífera está corresponde a aproximadamente 2.05 Gm^3 ; el cálculo se realizó considerando que toda la extensión del ATOC (75.82 km^2) se encuentra saturada, un espesor promedio de 27 m, y que toda la unidad se comporta como un “fluido”, o sea, sin considerar el volumen que aporta la roca.

4.3.1.3. Subunidad de materiales arcillosos o consolidados

El techo de esta unidad marca el final del acuífero superficial de la región ATOC; se conforma de rocas de gran medio a fino bien consolidado con composiciones que van desde arcillas y tobas bien consolidadas con niveles de saturación variables. Basados en la información proporcionada por la sección transversal de la Figura 88 y Figura 89, son depósitos de menor potencia comparados con la subunidad acuífera; siendo los sitios más cercanos al valle de Antigua Ocotepeque los lugares que presentan espesores mucho más grandes de hasta 60 m. correspondientes a arcillas. Por otro lado, y basado en la correlación con los materiales de pozos, se encuentran puntos donde la zona saturada está limitada por tobas bien consolidadas, con permeabilidad intermedia.

Por debajo de esta subunidad se encuentra, con base a la información de pozos y los registros de resistividad eléctrica un segmento con altas resistividades, que podría estar asociado a materiales como coladas de lava.

Esta subunidad también se caracteriza por ser el piso de la unidad geológica *Q'al*, dado que después de las profundidades alcanzadas por dicha subunidad, se aprecian materiales más sólidos correspondientes a la unidad *Pm*.

4.3.2. Unidad Geológica *Pm*

Corresponde a la unidad más profunda dentro de los límites de la región ATOC a la que se tuvo alcance esta investigación a través de la información colectada. Una descripción detallada de esta unidad se realiza en la sección 2.6.1.4, correspondiente a la descripción geológica de la zona del Trifinio. A continuación, se dará una descripción basada en la información colectada a partir de registro litológico de pozos y las pruebas de resistividad eléctrica.

4.3.2.1. Basamento del acuífero superficial ATOC

Al menos 2 puntos de muestreo permiten observar la existencia de materiales descritos como coladas de lava, principalmente los más cercanos al pozo Clínica Sinuapa, en donde se registran 2 segmentos de “Coladas Fracturadas” aproximadamente a unos 754 m.s.n.m. o lo que es equivalente a unos 55 m de profundidad respecto a la superficie. Estos segmentos, que alcanzan los 80 m. de espesor, cuya descripción concuerda con el tipo de roca que forma parte de la unidad *Pm* son tomados como la parte que separa el acuífero superficial de la región ATOC con los posibles acuíferos más profundos.

Sin embargo, la aparición de elementos que puedan correlacionarse con este pozo y dichos materiales se reduce a una TE2D en el sector más al Oeste y próximo al límite del acuífero (TE2D – 7Botadero), por lo que se desconoce realmente cuál es el alcance en cuanto a espesores de las unidades suprayacentes a estas coladas de lava. No obstante, dentro de esta investigación, dado que el interés principal es el acuífero superficial consideramos dichas coladas de lava como basamento del acuífero.

4.3.3. Esquema Modelo Hidrogeológico Conceptual (MHC) ATOC

La información recabada, procesada e interpretada permitió la creación del modelo del acuífero superficial del ATOC; este se resume en un acuífero que se limita en una extensión de 75.82 km^2 , dentro de una unidad geológica conformada por materiales de depositación aluvional, conglomerados y tobas con alta porosidad principalmente producto de la dinámica del Río Lempa, cuya denominación según (OIEA & Plan Trifinio, 2009) es *Q'al*. Por debajo de esta unidad acuífera se encuentra el que se considera como basamento del acuífero superficial, la unidad *Pm*, la cual consta de rocas más consolidadas, principalmente ignimbritas y coladas de riolitas bien meteorizadas que tienden a generar segmentos arcillosos. La región está predominada por una precipitación anual de 1296 mm, según la información colectada por la estación de Nuevo Ocotepeque, Honduras, la cual es la más representativa para el área del ATOC; por medio del balance hídrico de suelos, siguiendo la metodología de (Schosinsky, 2006), se obtiene que la recarga potencial (RP) del acuífero equivale a $84.7 \text{ Mm}^3/\text{año}$ (1123.23 mm/año) y una evapotranspiración potencial (ETP) de 1852.10 mm/año . Las líneas equipotenciales de flujo correspondientes al acuífero superficial sugieren una dirección de movimiento preferencial del fluido subterráneo Este – Oeste, siguiendo de manera perpendicular al río. La información de registros litológicos de pozos, inversión e interpretación de SEV y TE2D nos permitieron identificar 3 subunidades dentro de la unidad *Q'al*, en las cuales podemos destacar la subunidad correspondiente al acuífero superficial del ATOC, dicha unidad consta de una capa de conglomerados y tobas de alta porosidad con espesor que ronda los 17 – 35 m, y que se encuentra en promedio a unos 12 m. de profundidad respecto a la superficie. El volumen que comprende esta unidad acuífera equivale a 2.05 Gm^3 tomando las consideraciones mencionadas en los apartados anteriores. Las posibles zonas de recarga del acuífero se concentran en las regiones altas más próximas a los macizos de Montecristo y El Pital, en la parte alta de Aldea Santa Anita y además de zonas donde existen fallamiento y fracturamiento de roca a grandes escalas; el sistema de fallas

Pull-Apart que delimita el grabado (valle) de Ocotepeque, aporta permeabilidad a las unidades geológicas presentes en la región. No obstante, podría existir una recarga del acuífero proveniente de regiones más al Norte del valle de Ocotepeque, por lo que se sugiere profundizar los estudios de zonas de recarga por medio de isótopos. La descarga del sistema acuífero, basado en la dirección de líneas de flujo equipotencial, se da a través del Río Lempa, esto a lo largo del área que comprende el ATOC.

La Figura 90 resume y presenta el MHC para el Acuífero Transfronterizo Ocotepeque – Citalá (ATOC), región Trifinio, El Salvador – Honduras; mientras que la Figura 91, presenta de manera simplificada la disposición de los materiales de las subunidades del miembro *Q'al* vinculadas al acuífero superficial de la región ATOC

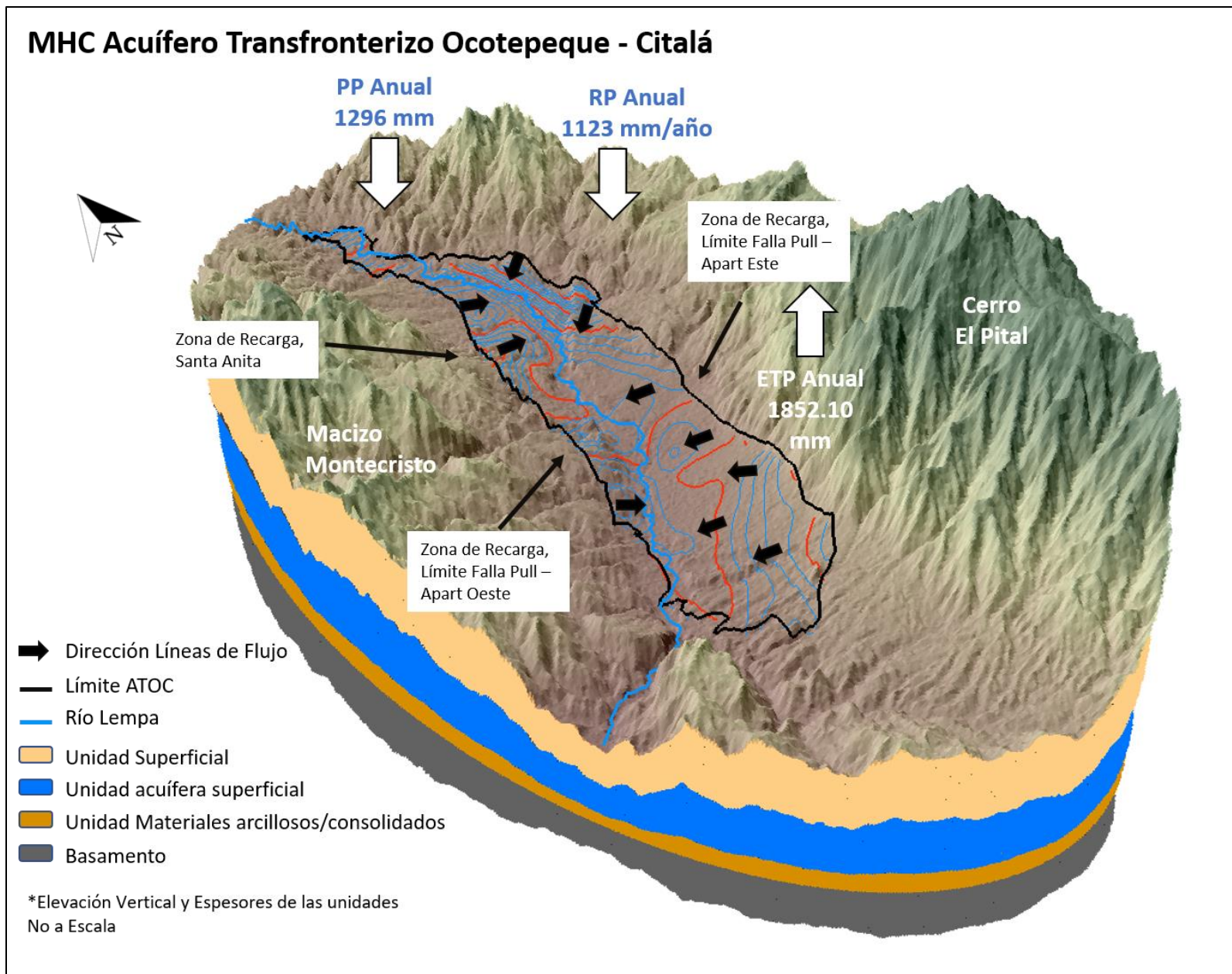


Figura 90. Modelo Hidrogeológico Conceptual del Acuífero Transfronterizo Ocotepeque - Citalá, región Trifinio, El Salvador - Honduras (Fuente: Elaboración propia)

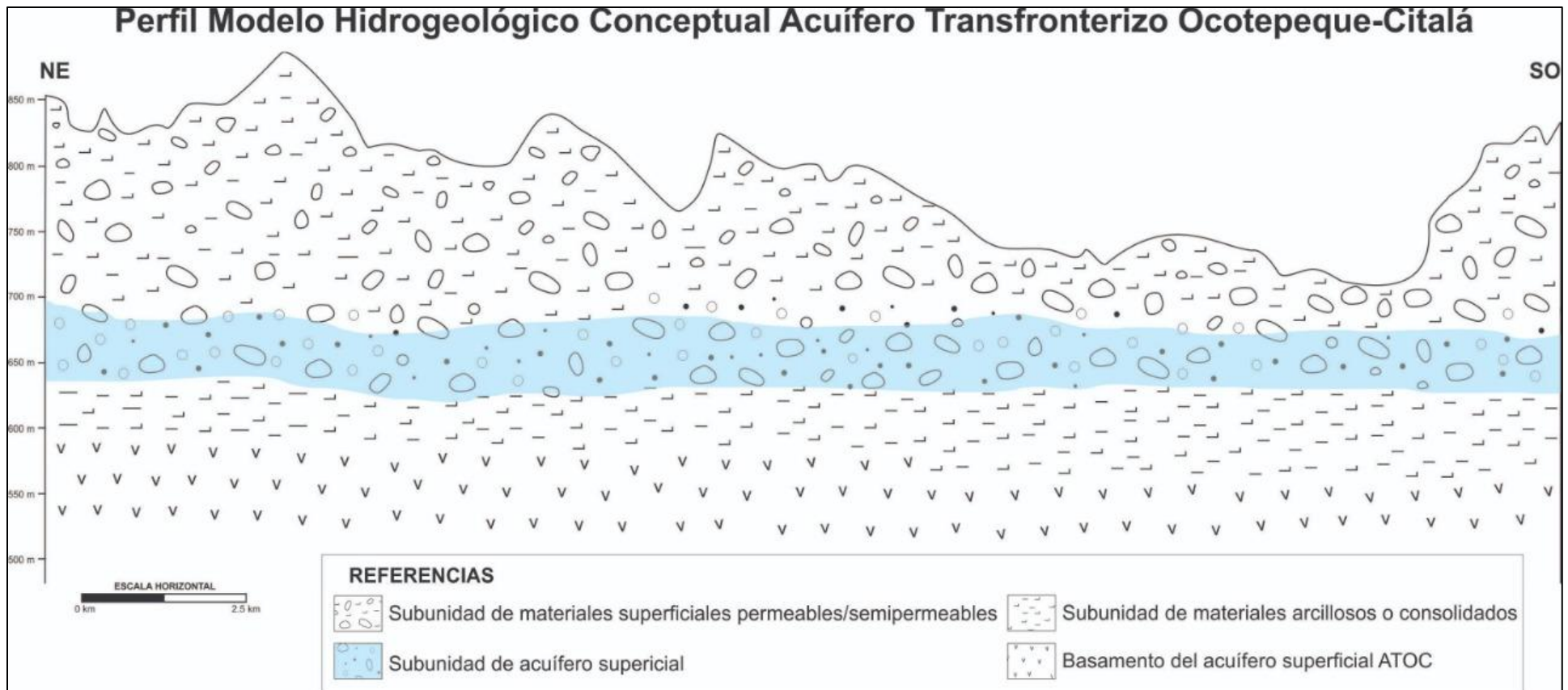


Figura 91. Vista en perfil de las unidades que conforman el ATOC y los parámetros más importantes del balance hídrico de suelos; los espesores no están a escala y sirven para tener una idea de la disposición de los diferentes materiales (Fuente: Elaboración Propia)

5. CONCLUSIONES

El acuífero transfronterizo Ocotepeque – Citalá (ATOC), ubicado dentro de la región Trifinio, en los territorios de El Salvador y Honduras es un acuífero granular, poroso (OIEA & Plan Trifinio, 2009) y libre, caracterizado por emplazarse en unidades rocosas correspondientes a depósitos aluvionales, conglomerados y tobas de alta porosidad (unidad Q'al (Ídem)), cuyo espesor ronda los 17 – 35 metros, dichos materiales son principalmente producto de la dinámica propia del Río Lempa, principal afluente en la región. El nivel freático, según la información de registros de pozos y pruebas de resistividad eléctrica muestran que este se encuentra a una profundidad promedio de 12 – 18 metros, siendo más somero en las regiones más cercanas a los límites del acuífero y algunas regiones cercanas al cauce principal del Río Lempa; el volumen de dicha unidad acuífera es equivalente a 2.05 Gm^3 .

La fuente principal de la recarga del acuífero es por medio de precipitación, la cual alcanza sus valores máximos en el período comprendido entre mayo – octubre, alcanzado así los 1296 mm de precipitación; los valores de evapotranspiración potencial equivalen a 1852.10 mm/año, según el cálculo por metodología de Thornwaithe (GIZ & CTPT, 2011); mientras que la recarga potencial del acuífero estimada por método de balance hídrico de suelos de Schosisnky es de $84.7 \text{ Mm}^3/\text{año}$ (equivalente a 1123 mm/año); las zonas de recarga del acuífero no ha sido posible determinarlas con total exactitud, pero se sugiere que estas están emplazadas en la parte más elevada del acuífero, donde el tipo de textura de suelo es arenoso, por ejemplo en la zona Oeste de Aldea Santa Anita, y en regiones donde el fracturamiento debido a fallamiento permita la penetración de la precipitación de mejor manera.

La predominancia de uso de suelo en la región vincula de manera directa la recarga potencial, escorrentía y evapotranspiración, siendo el uso de suelo que más extensión posee los pastos naturales (42% del área total), seguido de zonas de cultivos (36% del área total) y por último zonas de bosques (14% del área total); las áreas urbanas (8% del área total) no aportan a la recarga potencial del acuífero superficial.

El desplazamiento del flujo subterráneo reflejado a partir de las líneas equipotenciales refleja una dirección de flujo preferencial Este – Oeste, es decir perpendicular al cauce del Río Lempa, la sección Oeste del ATOC, posee un comportamiento de dirección de flujo variante, con segmentos

que definen una dirección Oeste – Este, Noroeste – Sureste, y en los casos más irregulares debido a la poca información de pozos en ese sector direcciones Sureste - Noroeste.

Basado en los gráficos de precipitación – evapotranspiración potencial, se determina que la recarga al acuífero se realiza durante los meses con mayor cantidad de precipitaciones (de mayo a octubre), debido a que la cantidad de precipitación es mayor a los valores de evapotranspiración en ese periodo de tiempo, siendo los meses de mayo a julio donde se da la recuperación y recarga del acuífero, posteriormente, de agosto a octubre se cuenta con un excedente al no generar recarga al acuífero se convierte en escorrentía. Los periodos que contemplan la época seca en la región Trifinio (noviembre a abril), se caracterizan por ser los meses donde se da el consumo de la reserva de agua en suelo y los periodos de déficit, siendo este último más representativo en los primeros meses del año (enero a abril).

Los modelos de resistividad obtenidos a partir de las tomografías eléctricas 2 – D permitieron identificar y delimitar los estratos geológicos que conforman el acuífero superficial del ATOC por medio de los valores de resistividad, los cuales oscilan entre $12 - 35 \Omega \cdot m$, dependiendo de los niveles de saturación y tipo de roca que almacena el fluido; las profundidades estimadas a partir de los modelos de resistividad rondan los $15 - 25$ metros de profundidad; la tomografía realizada en la localidad considerada como “no acuífera”, no presentó patrones o valores de resistividad que sugirieran saturación, esto aportó un indicativo de fiabilidad en la delimitación de las unidades acuíferas y no acuíferas presentadas en el mapa hidrogeológico de (OIEA & Plan Trifinio, 2009).

La integración de datos de sondeos eléctricos verticales adquiridos en la campaña realizada por (Geociencia Aplicada, 2015) aportó mayor cantidad de información para mejorar la interpretación de las unidades resistivas, los materiales que las componen y la ubicación estimada del nivel freático del acuífero superficial. Los valores que se asociaron a los estratos con saturación rondaban los $7 - 22 \Omega \cdot m$, y las profundidades a las que se encontraban dichas unidades se presentan entre los $7 - 15$ m.

6. RECOMENDACIONES

Tras el desarrollo de la investigación se identificaron diferentes problemas que pueden ser resueltos mediante el afinado de las metodologías o por medio de la mejora en la colecta de datos, a continuación, se enumeran algunas de las recomendaciones para futuras investigaciones en la zona, así como comentarios para las entidades encargadas de la gestión del recurso hídrico en la región del Trifinio.

Para futuras investigaciones o proyectos

El análisis de balance hídrico de suelos es un instrumento que permite observar el comportamiento de las variables como la recarga potencial del acuífero dependiendo de los valores de precipitación, evapotranspiración y algunas características propias del tipo y uso de suelos, por lo que realizar con periodicidad balances hídricos en la región ayudará a documentar la evolución del acuífero con el paso del tiempo.

Para generar mejores resultados en la generación de balances hídricos, se sugiere la realización de análisis generales de muestras de suelo en los puntos donde se realicen pruebas de infiltración, esto permitirá obtener parámetros de entrada más confiables al momento de realizar el balance hídrico, esto debido a que la textura del suelo es uno de los factores más importantes e influyentes para la infiltración de agua al acuífero.

Realizar la gestión e instalación de estaciones meteorológicas de bajo costo en diferentes puntos de la región ATOC, esto permitirá densificar y obtener valores de precipitación y evapotranspiración más detalladas para los análisis de balance hídrico.

Con respecto al inventario de pozos se hace el llamado a realizar la integración de información existente, y que sea manejada por los actores claves en la gestión del recurso hídrico, esto permitirá tener la información de manera ordenada de modo que facilite el uso a futuras investigaciones.

El monitoreo de niveles freáticos y pruebas de bombeo en pozos perforados, esta acción daría paso a obtener información importante para conocer las condiciones dinámicas del acuífero superficial, principalmente para obtener valores de transmisividad de este.

Implementar métodos de prospección geofísica para la determinación de niveles de saturación en las unidades geológicas; con énfasis en los métodos de prospección eléctrica. Se anima a que en

futuras investigaciones se favorezca el método de resistividad eléctrica en su modalidad Tomografía 2D, dado que esta permite obtener resultados de la sección vertical y horizontal del punto de muestreo, lo que permite generar mejores descripciones de las unidades geológicas en profundidad, la implementación de sondeos eléctricos verticales debe de reducirse, debido a que la interpretación de estos cuenta con demasiada ambigüedad si no se cuenta con registros geológicos de pozos bien detallados. Si se desea alcanzar profundidades mayores a 200 metros se sugiere la implementación de métodos electromagnéticos como el TDEM y MT.

Solicitar los registros geológicos cuando se realice perforación de pozos; esto permitirá tener mayor conocimiento de las características de los materiales que forman parte del acuífero en la región, además de mejorar los modelos conceptuales. Además, se sugiere que los registros sean generados por personal con experiencia en geología o, en su defecto, por personas con experiencia en ciencias de la Tierra, esto permitirá tener registros que auxilien a futuros investigadores o instituciones interesadas en el acuífero.

Realizar pruebas de análisis químicos, isotópicos y de trazadores en el acuífero; estos permitirán conocer a fondo las propiedades del fluido que compone el acuífero, además generar una línea base que pueda servir como parámetro de calidad; los análisis isotópicos permitirán conocer las zonas de recarga con mejor certeza, mientras que las pruebas de trazadores darán lugar a la interpretación del nivel de interconexión del acuífero y su patrón de flujo.

Para instituciones y tomadores de decisiones

El apoyo institucional a las entidades educativas y de investigación estatales e internacionales es de suma importancia para conseguir un protocolo de gestión del recurso hídrico, por lo que se motiva a continuar con el soporte a investigaciones relacionadas al ATOC.

Creación unidades de divulgación de información. Esto permitirá que la población no especialista conozca en términos generales las condiciones del acuífero y la zona de influencia de este, a su vez, esto fomenta la concientización para la preservación y cuidado del recurso.

Generar políticas y/u ordenanzas de gestión territorial inclusivas del recurso hídrico para las municipalidades y territorios que forman parte del ATOC para mejorar la eficiencia de las actividades productivas que involucren el uso del recurso hídrico.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Anderson, M. P., Woessner, W. W., & Hunt, R. J. (2015). *Applied groundwater modeling: simulation of flow and advective transport*. Academic Press.
- Astier, J. L. (1975). *Geofísica Aplicada a la Hidrogeología*. Madrid: Paraninfo.
- Carrasco García, P. (2011). *Mejora de Técnicas Geofísicas para la Caracterización del Subsuelo mediante Innovación y el uso de herramientas de Gestión de Información Espacial*. Salamanca, España.
- Chow, V. T., Maidment, D. R., & Mays, L. W. (1994). *Hidrología Aplicada*. Santafé de Bogotá: McGraw-Hill, Inc.
- Custodio, E., & Llamas, M. R. (2001). *Hidrología Subterránea*. Barcelona. España: Omega.
- de By, R. A., Knippers, R. A., Weir, M. J., Georgiadou, Y., Kraak, M.-J., van Westen, C. J., & Sun, Y. (2004). *Principles of Geographic Information Systems: An introductory Textbook* (Third ed.). (R. A. de By, Ed.) Enschede, Netherlands: The International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation.
- Deras Cortéz, J. (2003). *Guía Técnica de Riesgos*. San Salvador: Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal.
- ESRI, A. (12 de julio de 2019). *Polígonos de Thiessen*. Obtenido de <https://pro.arcgis.com/es/pro-app/tool-reference/analysis/create-thiessen-polygons.htm>
- Estrada, L. A. (2012). *Apuntes de Prospección Geoeléctrica*. Tucumán, Argentina: Universidad de Tucumán.
- Fetter, C. W. (2000). *Applied Hydrogeology*. New Jersey: Prentice Hall.
- Gabriels, D., Lobo, D., & Pulido, M. (2011). Métodos para determinar la conductividad hidráulica saturada y no saturada de los suelos. *Venesuelos*, 7-22.
- Geociencia Aplicada. (2015). *Estudio Geofísico de Resistividad Eléctrica*. Guatemala.

- GIZ, & CTPT. (2011). *Estado de la Región Trifinio 2010*.
- Hradecky, P., Baburek, J., Boratoux, L., Barón, I., Cech, S., Hernández, W., . . . Zemkova, M. (2005). *Estudio Geológico de los peligros Naturales, área de Metapán, El Salvador*. San Salvador, El Salvador: Ceska Geological Sluzba (CGC).
- IGRAC, I. G., & UNESCO - IHP, U. I. (2015). Transboundary Aquifers of the World [map]. Obtenido de <https://www.un-igrac.org/resource/transboundary-aquifers-world-map-2015>
- Kresic, N., & Mikszewski, A. (2013). *Hydrogeological Conceptual Site Models: Data Analysis and Visualization*. CRC Press.
- Loke, M. H. (1999). Electrical Imaging Surveys for environmental and engineering studies.
- Manton, W. (1987). Tectonic Interpretation of the Morphology of Honduras. *Tectonics*, 6(5), 633 - 651.
- Novák, V., & Havrila, J. (2006). Method to estimate the critical soil water content of limited availability for plants. *Biologia, Bratislava*, 289 - 293.
- OIEA, & Plan Trifinio. (2009). *Desarrollo Sostenible de los recursos ambientales e hídricos en la cuenca Alta del Rio Lempa*. Esquipulas, Guatemala.
- ONU. (2009). Resolución aprobada por la Asamblea General: 63/124. El Derecho de los Acuíferos Transfronterizos.
- Pirttijärvi, M. (2007). DCINV: 1-D interpretation of electrical (DC) sounding.
- Plan Trifinio. (18 de febrero de 2016). *Plan Trifinio*. Obtenido de <http://www.plantrifinio.int/quienes-somos/plan-trifinio>
- Reynolds, J. M. (2011). *An introduction to applied and environmental geophysics*. Wiley - Blackwell.
- Samayoa, J. F. (2014). *Asistencia Técnica Especializada en Aspectos Hidrogeológicos para la Caracterización y Diagnóstico del Acuífero Esquipulas - Ocotepeque - Citalá*. Guatemala.
- Schosinsky, G. (2006). Cálculo de la recarga potencial de acuíferos mediante un balance hídrico de suelos. *Revista Geológica de América Central*, 13 - 30.

- Schosinsky, G., & Losilla, M. (2000). Modelo analítico para determinar la infiltración con base en la lluvia mensual. *Revista Geológica de América Central*, 43 - 55.
- Sokolov, A. A., & Chapman, T. G. (1974). *Methods for water balance computations. An international guide for research and practice*. Paris: The UNESCO Press.
- Sundararajan, N., Sankaran, S., & Al-Hosni, T. K. (2012). Vertical electrical sounding (VES) and multi-electrode resistivity in environmental impact assessment studies over some selected lakes: a case study. *Environmental Earth Science*, 881 - 895.
- Telford, W. M., Geldart, L. P., & Sheriff, R. E. (1990). *Applied Geophysics* (Second ed.). Cambridge, Estados Unidos: Cambridge University Press.
- Thornwaite, C. W. (1948). *An approach toward a rational classification of climate* (Vol. 6). LWW.
- UICN. (2015). *Estudio de las Características y de la Vulnerabilidad del Acuífero Trifinio*. Guatemala.
- UNESCO - PHI, & OEA. (2007). *SISTEMAS ACUÍFEROS TRANSFRONTERIZOS EN LAS AMÉRICAS*. Montevideo/Washington D.C.
- UNESCO-PHI/UICN. (2016). *Trifinio: estudio de las aguas subterráneas; proyecto GGRETA, Fase 1, 2013-2015*. UNESCO.
- Veihmeyer, F. J., & Hendrickson, A. H. (1927). Soil-Moisture conditions in relation to plant growth. *Plant Physiology*, 71 - 82.
- Veihmeyer, F. J., & Hendrickson, A. H. (1949). Methods of Measuring Field Capacity and Permanent Wilting Percentage of Soils. *Soil Science*, 75 - 94.

ANEXOS

ANEXO 1. Listado de fuentes de agua, pozos excavados de la región ATOC (Fuente: (Samayoa, 2014)).

N°	PAIS	Departamento	MUNICIPIO	SITIO	NOMBRE	X	Y	Fam.Beneficiarias	TIPO	EN USO
1	EL SALVADOR	Chalatenango	La Palma	Cumbres de San José	Sin Nombre	264517	1578982	0	Manantial	No
2	EL SALVADOR	Chalatenango	La Palma	Cumbres del Gramal	Sin Nombre	264359	1579044	6	Manantial	Si
3	EL SALVADOR	Chalatenango	La Palma	El Terreno	Sin Nombre	261356	1579566	0	Manantial	No.
4	EL SALVADOR	Chalatenango	La Palma	San José Sacare	Sin Nombre	268311	1579945	0	Manantial	No
5	EL SALVADOR	Chalatenango	La Palma	Cantón San José Sacare	Sin Nombre	264095	1579968	0	Manantial	No
6	EL SALVADOR	Chalatenango	La Palma	La Montañaíta	La Montañaíta	265136	1579985	36	Manantial	Si
7	EL SALVADOR	Chalatenango	La Palma	Cumbres del Gramal	Alberto Morales	263322	1580102	12	Manantial	Si
8	EL SALVADOR	Chalatenango	La Palma	Don Joel Pineda	El Zarzal	268448	1580324	0	Manantial	Si
9	EL SALVADOR	Chalatenango	La Palma	Cumbres del Gramal	Sin Nombre	263280	1580501	36	Manantial	Si
10	EL SALVADOR	Chalatenango	La Palma	Cumbres del Gramal	Sin Nombre	263255	1580637	60	Manantial	Si
11	EL SALVADOR	Chalatenango	La Palma	Cantón Horcones, Caserío El Pino	El Pino	257597	1580638	0	Manantial	
12	EL SALVADOR	Chalatenango	La Palma	La Paterna	Sin Nombre	261878	1580745	15	Manantial	Si
13	EL SALVADOR	Chalatenango	La Palma	Cantón Horcones, Caserío El Pino	El Amatillo	257838	1580759	0	Manantial	
14	EL SALVADOR	Chalatenango	La Palma	Cantón Horcones, Caserío El Pino	El Pino	257565	1580786	0	Manantial	
15	EL SALVADOR	Chalatenango	La Palma	El Quidambal	El Quidambal	271295	1580884	12	Manantial	Si
16	EL SALVADOR	Chalatenango	La Palma	La Paterna	Sin Nombre	261903	1580951	18	Manantial	Si
17	EL SALVADOR	Chalatenango	La Palma	La Montañaíta	Sin Nombre	271316	1581008	0	Manantial	No
18	EL SALVADOR	Chalatenango	La Palma	Cumbres del Gramal	Sin Nombre	263371	1581056	6	Manantial	Si
19	EL SALVADOR	Chalatenango	La Palma	Caserío El Refugio	Caserío El Refugio	267247	1581092	0	Manantial	No
20	EL SALVADOR	Chalatenango	La Palma	La Paterna	La Paterna	261418	1581139	15	Manantial	Si
21	EL SALVADOR	Chalatenango	La Palma	La Paterna	La Paterna	261315	1581164	0	Manantial	No
22	EL SALVADOR	Chalatenango	La Palma	Cumbres del Gramal	Sin Nombre	263265	1581172	12	Manantial	Si
23	EL SALVADOR	Chalatenango	La Palma	El Guayabito	Sin Nombre	261272	1581191	180	Manantial	No
24	EL SALVADOR	Chalatenango	La Palma	El Chagüite	El Chagüite	257753	1581255	12	Manantial	Si
25	EL SALVADOR	Chalatenango	La Palma	Cantón Los Horcones	Sin Nombre	257919	1581355	0	Manantial	No
26	EL SALVADOR	Chalatenango	La Palma	La Vega del Nance	Sin Nombre	265660	1581456	30	Manantial	Si
27	EL SALVADOR	Chalatenango	La Palma	El Guayabito	Sin Nombre	260045	1581475	30	Manantial	Si
28	EL SALVADOR	Chalatenango	La Palma	El Guayabito	El Guayabito	260588	1581502	6	Manantial	Si

N°	PAIS	Departamento	MUNICIPIO	SITIO	NOMBRE	X	Y	Fam.Beneficiarias	TIPO	EN USO
29	EL SALVADOR	Chalatenango	La Palma	Cumbres del Gramal	Familia Vásquez	263136	1581624	30	Manantial	Si
30	EL SALVADOR	Chalatenango	La Palma	Cantón Los Horcones, La Ceibita, La Palma	La ceibita	257967	1581701	0	Manantial	
31	EL SALVADOR	Chalatenango	La Palma	La Brea	Sin Nombre	265104	1581810	0	Manantial	No
32	EL SALVADOR	Chalatenango	La Palma	La Brea	La Brea	264625	1581851	4	Manantial	Si
33	EL SALVADOR	Chalatenango	La Palma	El Molino	Sin Nombre	265602	1581861	30	Manantial	Si
34	EL SALVADOR	Chalatenango	La Palma	El Molino	El Molino	266140	1582098	0	Manantial	No
35	EL SALVADOR	Chalatenango	La Palma	Cantón El Aguacatal	Sin Nombre	266918	1582368	0	Manantial	No
36	EL SALVADOR	Chalatenango	La Palma	El Panal	Sin Nombre	262111	1582517	54	Manantial	Si
37	EL SALVADOR	Chalatenango	La Palma	El Panal	Sin Nombre	262511	1582630	0	Manantial	Si
38	EL SALVADOR	Chalatenango	La Palma	Caballero	Sin Nombre	268884	1582745	0	Manantial	No
39	EL SALVADOR	Chalatenango	La Palma	Cantón El Gramal	Tierra Blanca	266496	1582830	0	Manantial	No
40	EL SALVADOR	Chalatenango	La Palma	Río Talquezalar		272919	1582861	0	Rio	x
41	EL SALVADOR	Chalatenango	La Palma	La Laguna	Juan Antonio Murcia	270196	1582878	5	Manantial	Si
42	EL SALVADOR	Chalatenango	La Palma	El Espino	Sin Nombre	265752	1582885	0	Manantial	Si
43	EL SALVADOR	Chalatenango	La Palma	La Laguna	Señora Sofia	270073	1582929	3	Manantial	Si
44	EL SALVADOR	Chalatenango	La Palma	Cantón El Aguacatal	El Guarda	267053	1583201	0	Manantial	Si
45	EL SALVADOR	Chalatenango	La Palma	La Loma Larga	Sr. Esquivel	265475	1583918	0	Manantial	No
46	EL SALVADOR	Chalatenango	La Palma	La Loma Larga	Sin Nombre	266696	1583923	0	Manantial	Si
47	EL SALVADOR	Chalatenango	La Palma	Los Tecomates	Los Tecomates	268401	1584016	6	Manantial	Si
48	EL SALVADOR	Chalatenango	La Palma	Qda. El Espino	Qda. El Espino	265850	1584024	0	Manantial	No
49	EL SALVADOR	Chalatenango	La Palma	Barrancones	Barrancones	269056	1584038	0	Manantial	No
50	EL SALVADOR	Chalatenango	San Ignacio	El Chagüitón	Manantial Familia Don Héctor	261607	1584065	3	Manantial	Si
51	EL SALVADOR	Chalatenango	La Palma	El Terreno Colorado	Sin Nombre	263848	1584098	0	Manantial	Si
52	EL SALVADOR	Chalatenango	La Palma	El Malcotal	El Malcotal	272040	1584185	0	Manantial	No
53	EL SALVADOR	Chalatenango	La Palma	El Malcotal	El Malcotal	272059	1584279	0	Manantial	No
54	EL SALVADOR	Chalatenango	La Palma	El Malcotal	El Malcotal	272109	1584396	0	Manantial	Si
55	EL SALVADOR	Chalatenango	La Palma	Barrio El Manzanar	Barrio El Manzanar	265089	1584454	12	Manantial	Si
56	EL SALVADOR	Chalatenango	La Palma	El Malcotal	El Malcotal	272158	1584526	0	Manantial	Si
57	EL SALVADOR	Chalatenango	San Ignacio	El Chagüitón	El Chagüitón	261714	1585107	0	Manantial	Si
58	EL SALVADOR	Chalatenango	La Palma	Cantón El Aguacatal	Andrea Flores	269798	1585398	6	Manantial	Si
59	EL SALVADOR	Chalatenango	La Palma	Miramundo	Miramundo	272517	1585491	0	Manantial	n.d

N°	PAIS	Departamento	MUNICIPIO	SITIO	NOMBRE	X	Y	Fam.Beneficiarias	TIPO	EN USO
60	EL SALVADOR	Chalatenango	San Ignacio	El Chagüitón	n.d	261338	1585521	0	Manantial	Si
61	EL SALVADOR	Chalatenango	La Palma	Miramundo	n.d	272588	1585532	0	Manantial	Si
62	EL SALVADOR	Chalatenango	San Ignacio	El Chagüitón	Manantial Familia Guillermo Chávez	261368	1585637	30	Manantial	Si
63	EL SALVADOR	Chalatenango	San Ignacio	Cantón El Pinar	Quinta La Zorrita	265450	1585637	0	Pozo Perforado	Si
64	EL SALVADOR	Chalatenango	La Palma	Cantón El Aguacatal, La Palma	El Aguacatal	271406	1585820	0	Manantial	Si
65	EL SALVADOR	Chalatenango	San Ignacio	El Chagüitón	Manantial de Familia Chávez	261105	1585980	12	Manantial	Si
66	EL SALVADOR	Chalatenango	San Ignacio	El Chagüitón	Manantial de Familia Chávez	261133	1585981	12	Manantial	Si
67	EL SALVADOR	Chalatenango	San Ignacio	El Chagüitón	Manantial de Familia Portillo	261007	1586037	15	Manantial	Si
68	EL SALVADOR	Chalatenango	San Ignacio	Teosinte		265999	1586522	0	Manantial	Si
69	EL SALVADOR	Chalatenango	San Ignacio	Teosinte Cantón Sta.Rosa	Teosinte #1	267513	1586582	0	Manantial	Si
70	EL SALVADOR	Chalatenango	San Ignacio	Teosinte Cantón Sta.Rosa	Teosinte #2	266770	1586601	0	Manantial	Si
71	EL SALVADOR	Chalatenango	La Palma	Miramundo	Don Miguel	271670	1586721	6	Manantial	Si
72	EL SALVADOR	Chalatenango	La Palma	Miramundo	Miramundo	271675	1586779	0	Manantial	Si
73	EL SALVADOR	Chalatenango	La Palma	Las Granadillas, Miramundo	Sin Nombre	271687	1587072	0	Manantial	Si
74	EL SALVADOR	Chalatenango	La Palma	Miramundo	Sin Nombre	271505	1587101	0	Manantial	Si
75	EL SALVADOR	Chalatenango	La Palma	Las Granadillas	Sin Nombre	271470	1587215	0	Manantial	Si
76	EL SALVADOR	Chalatenango	San Ignacio	Las Duanas	Sin Nombre	269980	1587222	6	Manantial	Si
77	EL SALVADOR	Chalatenango	La Palma	Río La Palma		270856	1587230	0	Río	No
78	EL SALVADOR	Chalatenango	San Ignacio	Cantón El Carmen, J. San Ignacio	Lloraderos Río Jupú	264697	1587462	0	Manantial	Si
79	EL SALVADOR	Chalatenango	San Ignacio	El Guarumal	El Guarumal	264793	1587466	600	Manantial	Si
80	EL SALVADOR	Chalatenango	San Ignacio	Las Duanas	Sin nombre	270392	1587579	900	Manantial	Si
81	EL SALVADOR	Chalatenango	Citalá	Pie de la Cuesta	El Zarzal	259507	1587593	120	Manantial	Si
82	EL SALVADOR	Chalatenango	San Ignacio	El Caracol	Sin Nombre	267670	1587601	0	Manantial	No
83	EL SALVADOR	Chalatenango	San Ignacio	Santa Rosa	Manantial de Edras Elí García	269785	1587645	300	Manantial	Si
84	EL SALVADOR	Chalatenango	San Ignacio	Santa Rosa	Manantial de Edras Elí García	269738	1587647	0	Manantial	Si
85	EL SALVADOR	Chalatenango	San Ignacio	Las Duanas	Manantial de Lino Vásquez	270175	1587659	120	Manantial	Si
86	EL SALVADOR	Chalatenango	San Ignacio	Santa Rosa	Manantial de Edras Elí	269843	1587676	0	Manantial	Si

N°	PAIS	Departamento	MUNICIPIO	SITIO	NOMBRE	X	Y	Fam.Beneficiarias	TIPO	EN USO
					García					
87	EL SALVADOR	Chalatenango	San Ignacio	El Chupte	Manantial de Porfirio Vásquez García	267553	1587720	4	Manantial	Si
88	EL SALVADOR	Chalatenango	San Ignacio	El Chupte	Manantial de Porfirio Vásquez García	267491	1587765	4	Manantial	Si
89	EL SALVADOR	Chalatenango	San Ignacio	El Chupte	Manantial El Chupte	267310	1587783	0	Manantial	No
90	EL SALVADOR	Chalatenango	San Ignacio	El Chupte	Manantial El Chupte	267166	1587876	0	Manantial	Si
91	EL SALVADOR	Chalatenango	San Ignacio	Cantón El Carmen	Lotificación San Ignacio	263874	1587883	0	Pozo Perforado	Si
92	EL SALVADOR	Chalatenango	San Ignacio	El Chupte	Manantial de Adin Pozada	267731	1587948	0	Manantial	Si
93	EL SALVADOR	Chalatenango	San Ignacio	Santa Rosa	Manantial de Tulio López	269539	1587953	6	Manantial	Si
94	EL SALVADOR	Chalatenango	San Ignacio	El Chupte	Manantial de Adin Pozada	267747	1587963	0	Manantial	Si
95	EL SALVADOR	Chalatenango	San Ignacio	El Chupte	Manantial de Cornelio Vásquez	268033	1588000	0	Manantial	Si
96	EL SALVADOR	Chalatenango	San Ignacio	Santa Rosa	Sin Nombre	268940	1588123	0	Manantial	No
97	EL SALVADOR	Chalatenango	San Ignacio	Santa Rosa	Sin Nombre	268910	1588132	6	Manantial	Si
98	EL SALVADOR	Chalatenango	San Ignacio	Río Chiquito	Manantial de Jes-s Reyes	270330	1588134	6	Manantial	Si
99	EL SALVADOR	Chalatenango	San Ignacio	Santa Rosa	Sin Nombre	268898	1588156	0	Manantial	No
100	EL SALVADOR	Chalatenango	San Ignacio	Santa Rosa	Manantial de Jorge Pozada	268647	1588179	0	Manantial	No
101	EL SALVADOR	Chalatenango	San Ignacio	Río Chiquito	Manantial de Teófilo Rivera	270423	1588181	0	Manantial	Si
102	EL SALVADOR	Chalatenango	San Ignacio	Santa Rosa	Manantial de Jorge Pozada	268550	1588210	0	Manantial	No
103	EL SALVADOR	Chalatenango	San Ignacio	Santa Rosa	Manantial de Israel Gutiérrez	269872	1588338	6	Manantial	Si
104	EL SALVADOR	Chalatenango	San Ignacio	Santa Rosa	Sin Nombre	269123	1588404	0	Manantial	No
105	EL SALVADOR	Chalatenango	Citalá	Los Hornitos	Los Hornitos	253167	1588430	100	Manantial	Si
106	EL SALVADOR	Chalatenango	San Ignacio	El Botoncillal	Manantial de Antonio García	269980	1588505	0	Manantial	No
107	EL SALVADOR	Chalatenango	San Ignacio	El Botoncillal	Manantial de Miguel Erazo Guillén	269697	1588522	18	Manantial	Si
108	EL SALVADOR	Chalatenango	San Ignacio	El Botoncillal	Manantial de Antonio García	269873	1588540	5	Manantial	Si
109	EL SALVADOR	Chalatenango	San Ignacio	El Botoncillal	Manantial de Miguel Erazo Guillén	269646	1588565	0	Manantial	No
110	EL SALVADOR	Chalatenango	San Ignacio	Quebrada el Borcillal		270468	1588634	0	Manantial	x
111	EL SALVADOR	Chalatenango	San Ignacio	El Rosario	Manantial de Don Humberto	265690	1588637	0	Manantial	Si

N°	PAIS	Departamento	MUNICIPIO	SITIO	NOMBRE	X	Y	Fam.Beneficiarias	TIPO	EN USO
112	EL SALVADOR	Chalatenango	San Ignacio	Santa Rosa	Sin Nombre	268717	1588658	0	Manantial	No
113	EL SALVADOR	Chalatenango	San Ignacio	Río Chiquito	Manantial de Edras Vásquez	270735	1588899	6	Manantial	Si
114	EL SALVADOR	Chalatenango	San Ignacio	Santa Rosa	Manantial de Pedro Huevo	268632	1588939	0	Manantial	No
115	EL SALVADOR	Chalatenango	San Ignacio	Santa Rosa	Manantial de Pedro Huevo	268365	1589101	0	Manantial	Si
116	EL SALVADOR	Chalatenango	San Ignacio	Rfo Chiquito	Río Chiquito, Paula Vásquez	270889	1589105	0	Manantial	No
117	EL SALVADOR	Chalatenango	San Ignacio	Santa Rosa	Sin Nombre	268295	1589155	0	Manantial	No
118	EL SALVADOR	Chalatenango	Citalá	Los Hornitos	Sin Nombre	253968	1589321	0	Manantial	No
119	EL SALVADOR	Chalatenango	Citalá	Los Hornitos	Sin Nombre	254230	1589364	0	Manantial	Si
120	EL SALVADOR	Chalatenango	San Ignacio	Río Chiquito	Río Chiquito	270593	1589374	0	Manantial	No
121	EL SALVADOR	Chalatenango	Citalá	Caserío San Ramón	Fuente San Ramón	256183	1589393	30	Manantial	Si
122	EL SALVADOR	Chalatenango	San Ignacio	Río Chiquito	Manantial de Alfonso Mejía	270830	1589410	6	Manantial	Si
123	EL SALVADOR	Chalatenango	Citalá	Caserío San Ramón	Fuente San Ramón	256287	1589467	0	Manantial	Si
124	EL SALVADOR	Chalatenango	Citalá	Caserío San Ramón	Fuente San Ramón	256186	1589471	120	Manantial	Si
125	EL SALVADOR	Chalatenango	Citalá	Caserío San Ramón	Pozo de San Ramón	256136	1589558	6	Pozo Excavado	Si
126	EL SALVADOR	Chalatenango	San Ignacio	Las Tunas	Manantial de Elia Vda. De Valdivieso	268037	1589602	200	Manantial	Si
127	EL SALVADOR	Chalatenango	San Ignacio	La Montañita-Cantón Sta. Rosa	La Montañita #1	269640	1589632	0	Manantial	
128	EL SALVADOR	Chalatenango	San Ignacio	La Montañita-Cantón Sta. Rosa	La Montañita #2	269640	1589632	0	Manantial	
129	EL SALVADOR	Chalatenango	San Ignacio	La Montañita-Cantón Sta. Rosa	La Montañita #3	269640	1589632	0	Manantial	
130	EL SALVADOR	Chalatenango	Citalá	San Lorenzo	Sin Nombre	258389	1589647	4	Pozo Excavado	Si
131	EL SALVADOR	Chalatenango	Citalá	San Lorenzo	Pozo de San Lorenzo	258440	1589688	10	Pozo Excavado	Si
132	EL SALVADOR	Chalatenango	San Ignacio	Río Chiquito	Manantial de Rigoberto Vásquez	270614	1589691	0	Manantial	Si
133	EL SALVADOR	Chalatenango	San Ignacio	La Montañita	Manantial de Melitón Reyes	269637	1589725	10000	Manantial	Si
134	EL SALVADOR	Chalatenango	Citalá	San Lorenzo	Ojo de Avon	258561	1589741	120	Manantial	Si
135	EL SALVADOR	Chalatenango	San Ignacio	La Montañita	Manantial de Melitón Reyes	269568	1589768	10000	Manantial	Si
136	EL SALVADOR	Chalatenango	Citalá	Barrio El Poy, Citalá		261708	1589831	0	Pozo Excavado	Si

N°	PAIS	Departamento	MUNICIPIO	SITIO	NOMBRE	X	Y	Fam.Beneficiarias	TIPO	EN USO
137	EL SALVADOR	Chalatenango	Citalá	San Lorenzo	Nacimiento	258595	1589846	24	Manantial	Si
138	EL SALVADOR	Chalatenango	Citalá	San Lorenzo	Sin Nombre	258612	1589869	180	Manantial	Si
139	EL SALVADOR	Chalatenango	Citalá	El Poy, Gasolinera SHELL	Gasolinera Shell	261681	1589917	0	Pozo Excavado	Si
140	EL SALVADOR	Chalatenango	San Ignacio	Río Jupula		270330	1589986	0	Río	Si
141	EL SALVADOR	Chalatenango	Citalá	Tichán	Sin Nombre	255967	1589990	12	Manantial	Si
142	EL SALVADOR	Chalatenango	Citalá	Los Planes	Quebrada	254524	1590089	0	Río	No
143	EL SALVADOR	Chalatenango	Citalá	Citalá		261317	1590305	0	Pozo Excavado	No
144	EL SALVADOR	Chalatenango	San Ignacio	El Polvón	Manantial de Noé Escobar	267786	1590599	0	Manantial	Si
145	EL SALVADOR	Chalatenango	San Ignacio	Las Nubes	Manantial de Wilfredo Eliseo Vásquez	269274	1590674	0	Manantial	No
146	EL SALVADOR	Chalatenango	San Ignacio	El Pital	El Pital	270630	1590855	0	Manantial	Si
147	EL SALVADOR	Chalatenango	Citalá	Cantón Los Planes	Los Planes	254057	1591713	0	Manantial	Si
148	EL SALVADOR	Chalatenango	Citalá	Los Planes de Citalá	Los Planes	254070	1591714	3000	Manantial	Si
149	EL SALVADOR	Chalatenango	Citalá	El Encino, El Chagüitón	Sin Nombre	252343	1592211	0	Manantial	Si
150	EL SALVADOR	Chalatenango	Citalá	El Chagüitón	Sin Nombre	252513	1592527	0	Manantial	Si
151	EL SALVADOR	Chalatenango	Citalá	El Chagüitón	Río El Polcho	252414	1592539	0	Río	No
152	EL SALVADOR	Chalatenango	Citalá	El Chagüitón	Sin Nombre	252571	1592650	0	Manantial	Si
153	EL SALVADOR	Chalatenango	Citalá	El Talquezalar	Sin Nombre	251299	1593495	30	Río	Si
154	EL SALVADOR	Chalatenango	Citalá	El Talquezalar	Sin Nombre	251651	1593907	60	Manantial	Si
155	EL SALVADOR	Chalatenango	Citalá	El Talquezalar	La Escuela	251639	1594049	100	Manantial	Si
246	HONDURAS	Ocotepeque	Ocotepeque	Quebrada las Mojarras		268683	1590350	0	Manantial	No
247	HONDURAS	Ocotepeque	Ocotepeque	Los Cortes	Los Cortes	269832	1593199	74	Río	SI
248	HONDURAS	Ocotepeque	Ocotepeque	El Volcán	Quebrada seca, nombre desconocido	272005	1594133	0	Río	NO
249	HONDURAS	Ocotepeque	Ocotepeque	El Volcán	Nacimiento con nombre desconocido	272156	1594308	0	Manantial	NO
250	HONDURAS	Ocotepeque	Ocotepeque	El Volcán	Quebrada de invierno nombre desconocido	272573	1594352	0	Río	NO
251	HONDURAS	Ocotepeque	Ocotepeque	El Volcán	Nacimiento nombre desconocido	271401	1594387	0	Manantial	SI
252	HONDURAS	Ocotepeque	Ocotepeque	El Volcancito	Nombre desconocido	269978	1594558	194	Río	SI
253	HONDURAS	Ocotepeque	Ocotepeque	El Volcán	Quebrada El Derroche	271300	1594649	0	Río	SI
254	HONDURAS	Ocotepeque	Ocotepeque	Cerca de San Miguel	Nacimiento Nombre desconocido	270568	1594755	173	Manantial	SI
255	HONDURAS	Ocotepeque	Sinuapa	Plan del Rancho	Quebrada El Pericón	273260	1596636	0	Río	No

N°	PAIS	Departamento	MUNICIPIO	SITIO	NOMBRE	X	Y	Fam.Beneficiarias	TIPO	EN USO
256	HONDURAS	Ocotepeque	Sinuapa	Plan del Rancho	Quebrada Talnete	272647	1597202	0	Rio	NO
257	HONDURAS	Ocotepeque	Sinuapa	Plan del Rancho	Nacimiento nombre desconocido	272525	1597508	0	Manantial	NO
258	HONDURAS	Ocotepeque	Sinuapa	Las Mataras / El Carrizal	Reservorio Natural	269689	1598834	0	Manantial	SI
259	HONDURAS	Ocotepeque	Sinuapa	El Carrizal	Río Tepescuintle	272699	1598977	0	Rio	NO
260	HONDURAS	Ocotepeque	Sinuapa	El Carrizal	Nombre desconocido	271029	1599346	0	Rio	NO
261	HONDURAS	Ocotepeque	Sinuapa	La Cuchilla, Entre Moral y El Carrizal	Nombre desconocido	270994	1599918	0	Rio	NO
262	HONDURAS	Ocotepeque	Sinuapa	La Laborcita	Nombre desconocido	270330	1600463	0	Rio	NO
263	HONDURAS	Ocotepeque	Sinuapa	La Laborcita	Quebrada de invierno, afluente del Río Tulas, agua	267520	1600576	0	Rio	NO
264	HONDURAS	Ocotepeque	Sinuapa	La Laborcita	Nombre desconocido	267364	1600707	0	Rio	NO
265	HONDURAS	Ocotepeque	Sinuapa	La Laborcita	Sin Nombre	267185	1600825	0	Manantial	NO
266	HONDURAS	Ocotepeque	Concepción	Arriba del Mangueyal, Santa Anita	Río Guajjala	259796	1600847	1504	Rio	SI
267	HONDURAS	Ocotepeque	Sinuapa	El Comedero	Quebrada El Comedero	270152	1601232	0	Rio	NO
268	HONDURAS	Ocotepeque	Sinuapa	La Laborcita	Nombre desconocido	267516	1601481	0	Rio	NO
269	HONDURAS	Ocotepeque	Sinuapa	La Laborcita	Nombre desconocido	270454	1601691	0	Rio	NO
270	HONDURAS	Ocotepeque	Santa Fe	Los Encinos	Quebrada Cotanmil	255860	1601949	1105	Rio	SI
271	HONDURAS	Ocotepeque	Sinuapa	La Laborcita	Sin Nombre	267658	1601987	0	Rio	NO
272	HONDURAS	Ocotepeque	Sinuapa	La Laborcita	Rio Montegalán	271663	1602109	574	Rio	SI
273	HONDURAS	Ocotepeque	Sinuapa	El Cutal, La Laborcita	Quebrada Lavandero	271172	1602115	0	Rio	NO
274	HONDURAS	Ocotepeque	Santa Fe	Entre las comunidades de Piedra Molar y Planes	Afluente del Río Frío, Nombre desconocido	252909	1602159	0	Rio	NO
275	HONDURAS	Ocotepeque	Santa Fe	Entre las comunidades de Piedra Molar y Planes	Afluente del Río Frío, nombre desconocido	252824	1602205	0	Rio	NO
276	HONDURAS	Ocotepeque	Sinuapa	La Laborcita	Quebrada Los Cangrejos	267674	1602212	0	Rio	NO
277	HONDURAS	Ocotepeque	Santa Fe	El Mojonel	Afluente del Humedal, nombre desconocido	251447	1602214	0	Rio	NO
278	HONDURAS	Ocotepeque	Santa Fe	El Mojonel	Quebrada El Chuctal	252099	1602257	0	Rio	NO
279	HONDURAS	Ocotepeque	Santa Fe	El Mojonel	Afluente del Río Frío, nombre desconocido	251220	1602262	0	Rio	NO
280	HONDURAS	Ocotepeque	Sinuapa	La Laborcita	Afluente Río La Laborcita	270600	1602318	0	Rio	NO
281	HONDURAS	Ocotepeque	Sinuapa	El Cutal, La Laborcita	Afluente del Río Montegalán	271460	1602320	0	Rio	NO

N°	PAIS	Departamento	MUNICIPIO	SITIO	NOMBRE	X	Y	Fam.Beneficiarias	TIPO	EN USO
282	HONDURAS	Ocotepeque	Santa Fe	El Mojonal	Afluente de Río Frío, nombre desconocido	250943	1602323	0	Rio	NO
283	HONDURAS	Ocotepeque	Sinuapa	La Laborcita	Río La Laborcita	270604	1602326	0	Rio	NO
284	HONDURAS	Ocotepeque	Santa Fe	Los Planes	Afluente del Río Frío, nombre desconocido	252669	1602370	0	Rio	NO
285	HONDURAS	Ocotepeque	Santa Fe	El Mojonal	Afluente de Quebrada El Chuctal	251992	1602371	0	Rio	NO
286	HONDURAS	Ocotepeque	Santa Fe	El Mojonal	Quebrada la Quebradora	250873	1602405	0	Rio	NO
287	HONDURAS	Ocotepeque	Santa Fe	Los Planes	Humedal o Ciénega, nombre desconocido	252578	1602467	0	Manantial	NO
288	HONDURAS	Ocotepeque	Sinuapa	La Laborcita	Quebrada La Laborcita	267749	1602469	0	Rio	NO
289	HONDURAS	Ocotepeque	Santa Fe	El Mojonal	Humedal, nombre desconocido	251864	1602475	0	Manantial	NO
290	HONDURAS	Ocotepeque	Santa Fe	El Mojonal	Quebrada Crisanto	249708	1602491	0	Rio	NO
291	HONDURAS	Ocotepeque	Sinuapa	La Laborcita	Nombre desconocido	271408	1602557	0	Rio	NO
292	HONDURAS	Ocotepeque	Concepción	Arriba de Santa Anita	Río Guajiala	259503	1602574	417	Rio	SI
293	HONDURAS	Ocotepeque	Santa Fe	El Mojonal	Río Frío	249678	1602579	0	Rio	NO
294	HONDURAS	Ocotepeque	Sinuapa	Entre La Laborcita y Tulas	Río Tulas	266421	1602771	151	Rio	SI
295	HONDURAS	Ocotepeque	Santa Fe	Abajo de El Olvido, El Mojonal	Nombre desconocido	249997	1602814	0	Rio	NO
296	HONDURAS	Ocotepeque	Sinuapa	La Laborcita	Nombre desconocido	267959	1602853	0	Rio	NO
297	HONDURAS	Ocotepeque	Santa Fe	Los Encinos	Quebrada Hedionda	254865	1602885	0	Rio	NO
298	HONDURAS	Ocotepeque	Santa Fe	Los Encinos	Afluente Quebrada Cotamil, nombre desconocido	255285	1602940	0	Rio	SI
299	HONDURAS	Ocotepeque	Sinuapa	La Laborcita	Nombre desconocido	266681	1602951	0	Rio	NO
300	HONDURAS	Ocotepeque	Sinuapa	Entre La Laborcita y Tulas	Río Tulas	266942	1603063	18269	Rio	SI
301	HONDURAS	Ocotepeque	Santa Fe	La Quesera	Nombre desconocido	254691	1603083	0	Rio	NO
302	HONDURAS	Ocotepeque	Sinuapa	La Laborcita	Río Tulas	266834	1603100	0	Rio	SI
303	HONDURAS	Ocotepeque	Sinuapa	La Laborcita	Quebrada El Cocal	268082	1603363	0	Rio	NO
304	HONDURAS	Ocotepeque	Sinuapa	Entre La Laborcita y Tulas	Nombre desconocido	267933	1603376	0	Rio	NO
305	HONDURAS	Ocotepeque	Sinuapa	Entre La Laborcita y Tulas	Afluente Río Tulas, nombre desconocido	268072	1603413	0	Rio	NO
306	HONDURAS	Ocotepeque	Santa Fe	Comunidad de Río Frío,	Río Frío	253254	1603647	0	Rio	SI

N°	PAIS	Departamento	MUNICIPIO	SITIO	NOMBRE	X	Y	Fam.Beneficiarias	TIPO	EN USO
				Piedras Bonitas, Santa Fe						
307	HONDURAS	Ocotepeque	Concepción	Tulas	Afluente del Río Quilio,	264572	1603668	0	Rio	No
308	HONDURAS	Ocotepeque	Concepción	Tulas	Nombre desconocido	265602	1603693	0	Rio	NO
309	HONDURAS	Ocotepeque	Concepción	Tulas	Afluente del Río Quilio, n	264613	1603705	0	Rio	No
310	HONDURAS	Ocotepeque	Santa Fe	Comunidad de Río Frio, Piedras Bonitas, Santa Fe	Quebrada Salada	253353	1603781	0	Rio	NO
311	HONDURAS	Ocotepeque	Concepción	Tulas	Afluente del Río Quilio	264744	1603806	0	Rio	No
312	HONDURAS	Ocotepeque	Concepción	Tulas	Nombre desconocido	265991	1603832	0	Rio	NO
313	HONDURAS	Ocotepeque	Concepción	Tulas	Afluente del Río Quilio,	264849	1603926	0	Rio	No
314	HONDURAS	Ocotepeque	Concepción	Tulas	Afluente del Río Quilio,	264874	1603956	0	Rio	NO
315	HONDURAS	Ocotepeque	Concepción	Tulas	Afluente del Río Quilio,	264795	1604345	0	Rio	No
316	HONDURAS	Ocotepeque	Concepción	Tulas	Afluente del Río Quilio,	264805	1604525	0	Rio	No
317	HONDURAS	Ocotepeque	Concepción	Tulas	Quebrada Agua Caliente	264943	1604696	0	Rio	NO
318	HONDURAS	Ocotepeque	Concepción	Tulas	Afluente del Río Quilio,	264915	1604879	0	Rio	No
319	HONDURAS	Ocotepeque	Concepción	Tulas	Afluente del Río Quilio,	264941	1605037	0	Rio	No
320	HONDURAS	Ocotepeque	Concepción	Concepción	Nombre desconocido	265114	1605235	0	Rio	NO
321	HONDURAS	Ocotepeque	Concepción	Concepción	Afluente del Río Quilio	265099	1605261	0	Rio	No
322	HONDURAS	Ocotepeque	Concepción	Concepción	Nacimiento afluente del Río Quilio	265082	1605322	0	Manantial	NO
323	HONDURAS	Ocotepeque	Concepción	Concepción	Afluente del Río Quilio,	265097	1605336	0	Rio	No
324	HONDURAS	Ocotepeque	Concepción	Arriba de caserío de Agua Caliente	Rio Quilio	265129	1605359	4421	Rio	NO
325	HONDURAS	Ocotepeque	Concepción	Concepción	Afluente del Río Quilio,	265222	1605380	0	Rio	No
326	HONDURAS	Ocotepeque	Concepción	Concepción	Afluente del Río Quilio	265360	1605511	0	Rio	No
327	HONDURAS	Ocotepeque	Concepción	Concepción	Afluente del Río Quilio, nombre desconocido	255445	1605581	0	Rio	NO
328	HONDURAS	Ocotepeque	Concepción	Concepción	Quebrada El Presidente	261956	1605728	4421	Rio	SI
329	HONDURAS	Ocotepeque	Santa Fe		Afluente de Quebrada Tolo	257478	1605736	0	Rio	No
330	HONDURAS	Ocotepeque	Concepción	Concepción	Afluente del Río Quilio,	265580	1605740	0	Rio	No
331	HONDURAS	Ocotepeque	Concepción	Tulas	Afluente del Río Quilio,	265441	1605813	0	Rio	NO
332	HONDURAS	Ocotepeque	Concepción	Tulas	Afluente del Río Quilio,	265679	1605816	0	Rio	No
333	HONDURAS	Ocotepeque	Concepción	Tulas	Afluente del Río Quilio,	265700	1605834	0	Rio	No
334	HONDURAS	Ocotepeque	Santa Fe	Piñuelas	Quebrada Tolo	257192	1605894	97	Rio	SI

N°	PAIS	Departamento	MUNICIPIO	SITIO	NOMBRE	X	Y	Fam.Beneficiarias	TIPO	EN USO
335	HONDURAS	Ocotepeque	Santa Fe	Piñuelas	Quebrada Tolo	257232	1605897	0	Rio	SI
336	HONDURAS	Ocotepeque	Santa Fe	Piñuelas	Afluente de Quebrada Tolo,	257264	1605920	0	Rio	No
337	HONDURAS	Ocotepeque	Concepción	Tulas	Afluente del Río Quilio,	265899	1605980	0	Rio	NO
338	HONDURAS	Ocotepeque	Concepción	Tulas	Rio Quilio	265893	1606029	4421	Rio	SI
339	HONDURAS	Ocotepeque	Santa Fe	Agua Caliente	Nombre desconocido	258359	1606194	0	Rio	No
340	HONDURAS	Ocotepeque	Santa Fe	Agua Caliente	Quebrada de las Colmenas	256196	1606479	149	Rio	SI
341	HONDURAS	Ocotepeque	Santa Fe	Agua Caliente	Nombre desconocido	257955	1606594	0	Rio	No
342	HONDURAS	Ocotepeque	Santa Fe	Agua Caliente	Quebrada de las Colmenas	257115	1606627	0	Rio	No
343	HONDURAS	Ocotepeque	Santa Fe	Agua Caliente	Nombre desconocido	258002	1606738	0	Rio	No
344	HONDURAS	Ocotepeque	Santa Fe	Agua Caliente	Nombre desconocido	256904	1606917	0	Rio	No
345	HONDURAS	Ocotepeque	Santa Fe	Agua Caliente	Nombre desconocido	256441	1607050	0	Rio	No
346	HONDURAS	Ocotepeque	Santa Fe	Agua Caliente	Nombre desconocido	256747	1607198	0	Rio	No
347	HONDURAS	Ocotepeque	Santa Fe	Agua Caliente	Nombre desconocido	256309	1607261	0	Rio	No
348	HONDURAS	Ocotepeque	Santa Fe	Agua Caliente	Nombre desconocido	256282	1607299	0	Rio	No
349	HONDURAS	Ocotepeque	Santa Fe	Agua Caliente	Quebrada sin nombre	255998	1607665	0	Rio	No
350	HONDURAS	Ocotepeque	Santa Fe	Agua Caliente	Nombre desconocido	256060	1607713	0	Rio	No
351	HONDURAS	Ocotepeque	Santa Fe	Agua Caliente	Quebrada Tecomapa	254162	1607927	0	Rio	NO
352	HONDURAS	Ocotepeque	Santa Fe	Agua Caliente	Nombre desconocido	255994	1607948	0	Rio	No
353	HONDURAS	Ocotepeque	Concepción	Concepción	Río Salitre	261002	1608176	1307	Rio	SI
354	HONDURAS	Ocotepeque	Santa Fe		Nombre desconocido	256013	1608224	0	Rio	No
355	HONDURAS	Ocotepeque	Santa Fe		Afluente de Quebrada Tecomapa	255867	1608665	0	Rio	No
356	HONDURAS	Ocotepeque	Santa Fe		Afluente de Quebrada Tecomapa	254856	1608778	0	Rio	No
357	HONDURAS	Ocotepeque	Santa Fe		Afluente de Quebrada Tecomapa,	255155	1608813	0	Rio	No
358	HONDURAS	Ocotepeque	Santa Fe		Afluente de la Quebrada Tecomapa	254989	1608852	0	Rio	No
359	HONDURAS	Ocotepeque	Santa Fe		Afluente de Quebrada Tecomapa	255259	1608854	0	Rio	No
360	HONDURAS	Ocotepeque	Santa Fe		Afluente de Quebrada Tecomapa	255316	1609163	0	Rio	No

ANEXO 2. Listado de pozos, sondeos eléctricos verticales y tomografías eléctricas 2D utilizadas para el modelo de sección transversal

ID	CS_IND_ID	CS_ID_FULL	Tipo	x	y	z	Desde	Hasta	inicio	final	prof_wt	sup_wt
Sta_Anita2	W1	f	Pozo	261822	1602986	797	797	736.04	0	60.96	12.2	784.8
Clinica_Sinuapa	W2	n	Pozo	263123	1597211	814	814	675.32	0	138.68	19.81	794.19
JFK_NO	W3	o	Pozo	263651	1596895	814	814	601	0	213	12.19	801.81
el_Poy1	W4	v	Pozo	261939	1591162	720	720	655.99	0	64.01	6.1	713.9
el_Poy2	W5	w	Pozo	261685	1590148	712	712	617.49	0	94.51	5.4	706.6
SEV30_StaFe2	SEV1	a	SEV	258737	1607527	856	856	813.56	0	42.44	11.62	844.38
SEV24_StaFe1	SEV2	d	SEV	260137	1604458	831	831	712.06	0	118.94	5.95	825.05
SEV23_StaAnita	SEV3	h	SEV	261882	1602190	797	797	716.56	0	80.44	7.54	789.46
SEV20_Ocotepq	SEV4	k	SEV	262311	1599463	784	784	718.64	0	65.36	8.47	775.53
SEV26_NvaOcotpq	SEV5	p	SEV	263777	1596656	813	813	751.68	0	61.32	10.95	802.05
SEV27_Ocotepq	SEV6	q	SEV	262271	1594134	760	760	655.93	0	104.07	42.21	717.79
SEV21_NvaOco	SEV7	s	SEV	262406	1592160	739	739	631.42	0	107.58	6.78	732.22
SEV28_Citala	SEV7	x	SEV	261299	1589692	712	712	586.22	0	125.78	7.73	704.27
SEV22_Citala	SEV8	za	SEV	262345	1588714	810	810	615.44	0	194.56	9.09	800.91
TE2D_4Zacamil	TOMO1	b	TE2D	262703	1604667	900	900	834.4	0	65.6	N/A	-

TE2D_5ConcepPozo	TOMO2	c	TE2D	261782	1604477	837	837	803.2	0	33.8	11	826
TE2D_6StaFe	TOMO3	e	TE2D	259877	1604318	883	883	817.4	0	65.6	17.3	865.7
TE2D_10StaAnitaAb	TOMO4	g	TE2D	260957	1602635	818	818	752.4	0	65.6	20	798
TE2D_9StaAnitaArr	TOMO5	i	TE2D	260608	1602032	875	875	809.4	0	65.6	35	840
TE2D_7Botadero	TOMO6	j	TE2D	262005	1600349	821	821	755.4	0	65.6	8	813
TE2D_11SinuapaCult	TOMO7	l	TE2D	263656	1598762	807	807	773.2	0	33.8	N/A	-
TE2D_8SinuapaGrave	TOMO8	m	TE2D	263370	1597809	795	795	761.2	0	33.8	15.9	779.1
TE2D_12AntOcotpq	TOMO9	r	TE2D	262544	1592634	752	752	718.2	0	33.8	7	745
TE2D_13ElPoyHon	TOMO10	t	TE2D	261878	1591269	724	724	690.2	0	33.8	30	694
TE2D_3CitalaRio	TOMO11	u	TE2D	261243	1591173	730	730	697.2	0	32.8	9.25	720.75
TE2D_2LaVuelta	TOMO12	y	TE2D	261909	1589046	768	768	702.4	0	65.6	N/A	-
TE2D_1SnIgnacio1	TOMO13	z	TE2D	262576	1588729	821	821	755.4	0	65.6	13.5	807.5

ANEXO 3. Detalle de Estratigrafía por cada elemento utilizado en las secciones transversales

Información de Pozos

ID	Desde [m]	Hasta [m]	Material	Detalle Material	Descripción
JFK_NO	0	27.43	Toba	Toba	Toba grano fino, color beige
JFK_NO	27.43	51.82	Toba	Toba Arcillosa Beige	Toba arcillosa grano fino, color beige
JFK_NO	51.82	64.01	Toba	Toba Café	Toba arcillosa grano fino, color café oscuro
JFK_NO	64.01	103.63	Conglomerados	Conglomerado	Conglomerado basáltico grano grueso, color negro
JFK_NO	103.63	106.68	Gravas	Grava	Grano grueso color gris
JFK_NO	106.68	121.92	Conglomerados	Arena y Grava	Grano fino y mediano color gris
JFK_NO	121.92	152.4	Gravas	Grava Negro	Grava y arena, grano grueso, color negro
JFK_NO	152.4	213	Gravas	Grava	Grava y arena, grano grueso
Clinica_Sinuapa	0	36.57	Toba	Toba 1	Toba Arcillosa, Grano Fino, Color Beige Oscuro
Clinica_Sinuapa	36.57	44.2	Toba	Toba Gravo Arcillosa	Toba Gravo Arcillosa, Grano Medio, Color Beige Oscuro
Clinica_Sinuapa	44.2	59.43	Conglomerados	Colada Fracturada	Roca Fracturada, Grano Grueso, Color Beige Oscuro
Clinica_Sinuapa	59.43	73.15	Conglomerados	Colada	Roca Fracturada, Grano Medio, Color Beige Oscuro
Clinica_Sinuapa	73.15	79.24	Conglomerados	Colada Fracturada	Roca Fracturada, Grano Grueso, Color Beige Oscuro
Clinica_Sinuapa	79.24	82.29	Conglomerados	Colada 2	Roca Fracturada, Grano Fino, Color Beige Oscuro
Clinica_Sinuapa	82.29	85.34	Toba	Escoria	Roca Fracturada, Grano Fino, Color Morado claro

Clinica_Sinuapa	85.34	103.63	Toba	Toba Gravo Arcillosa	Toba Gravo Arcillosa, Grano Medio, Color Beige Oscuro
Clinica_Sinuapa	103.63	112.77	Conglomerados	Colada Fracturada	Roca Fracturada, Grano Grueso, Color Beige Oscuro
Clinica_Sinuapa	112.77	125.57	Conglomerados	Colada	Roca Fracturada, Grano Medio, Color Beige Oscuro
Clinica_Sinuapa	125.57	138.68	Conglomerados	Colada Fracturada	Roca Fracturada, Grano Grueso, Color Beige Oscuro
el_Poy1	0	1.52	Arcillas	Arcilla	Arcilla grano fino, color café oscuro
el_Poy1	1.52	6.1	Arcillas	Arcilla	Arcilla Arenosa, grano fino de color beige
el_Poy1	6.1	42.67	Conglomerados	Conglomerados con Grava Gris	Arenilla con grava, grano medio color gris
el_Poy1	42.67	60.96	Conglomerados	Conglomerados Arena Fina	Arenilla grano fino color gris
el_Poy1	60.96	64.01	Arcillas	Arcilla	Arcilla, color pistacho
el_Poy2	0	3.05	Toba		
el_Poy2	3.05	9.15	Sedimentos		
el_Poy2	9.15	76.22	Arcillas		
el_Poy2	76.22	91.46	Toba		
el_Poy2	91.46	94.51	Arcillas		
Sta_Anita2	0	13.72	Arcillas	Arcilla	Arcilla arenosa grano fino color beige
Sta_Anita2	13.72	42.67	Conglomerados	Conglomerado	Arenilla con grava grano medio color gris
Sta_Anita2	42.67	60.96	Conglomerados	Conglomerado con Arenisca	Arenilla grano fino color gris

Información de Sondeos Eléctricos Verticales

ID	Desde [m]	Hasta [m]	Resistividad Promedio [$\Omega \cdot m$]	Material
SEV20_Ocotepq	0	0.53	116	Arcillas
SEV20_Ocotepq	0.53	3.29	20.9	Toba
SEV20_Ocotepq	3.29	8.47	63.5	Toba
SEV20_Ocotepq	8.47	22.62	11.3	Conglomerados
SEV20_Ocotepq	22.62	65.36	39.4	Arcillas
SEV21_NvaOco	0	0.17	600	Arcillas
SEV21_NvaOco	0.17	6.78	101.5	Arcillas
SEV21_NvaOco	6.78	42.83	14	Conglomerados
SEV21_NvaOco	42.83	107.58	69.5	Arcillas
SEV21_NvaOco	107.58	150	12.6	Conglomerados
SEV22_Citala	0	0.86	317.9	Arcillas
SEV22_Citala	0.86	9.09	78.5	Aluvion
SEV22_Citala	9.09	20.47	12.2	Conglomerados
SEV22_Citala	20.47	58.85	73.8	Toba
SEV22_Citala	58.85	194.56	8.26	Conglomerados
SEV23_StaAnita	0	1.89	169	Arcillas

SEV23_StaAnita	1.89	7.54	115	Arcillas
SEV23_StaAnita	7.54	16.02	8.11	Conglomerados
SEV23_StaAnita	16.02	34.51	88.5	Toba
SEV23_StaAnita	34.51	80.44	11.3	Conglomerados
SEV24_StaFe1	0	0.54	617	Arcillas
SEV24_StaFe1	0.54	1.66	25	Arcillas
SEV24_StaFe1	1.66	5.95	458	Toba
SEV24_StaFe1	5.95	24.29	29.1	Conglomerados
SEV24_StaFe1	24.29	118.94	327	Colada
SEV26_NvaOcotpq	0	0.65	180	Arcillas
SEV26_NvaOcotpq	0.54	10.85	43.8	Toba
SEV26_NvaOcotpq	10.85	18.04	10.6	Toba
SEV26_NvaOcotpq	18.04	41.4	338	Toba
SEV26_NvaOcotpq	41.1	61.32	25.5	Toba
SEV27_Ocotepq	0	0.56	322	Arcillas
SEV27_Ocotepq	0.56	5.95	216	Arcillas
SEV27_Ocotepq	5.95	11.18	215	Conglomerados

SEV27_Ocotepq	11.18	42.21	71.6	Conglomerados
SEV27_Ocotepq	42.21	104.07	11.6	Toba
SEV28_Citala	0	2.28	167	Aluvion
SEV28_Citala	2.28	4.56	261	Aluvion
SEV28_Citala	4.56	7.73	31	Conglomerados
SEV28_Citala	7.73	50.18	6.14	Conglomerados
SEV28_Citala	50.18	125.78	5.32	Conglomerados
SEV30_StaFe2	0	3.55	21	Arcillas
SEV30_StaFe2	3.55	7.75	38.6	Toba
SEV30_StaFe2	7.75	11.62	7.6	Conglomerados
SEV30_StaFe2	11.62	22.85	3.64	Arcillas
SEV30_StaFe2	22.85	42.44	45.1	Toba

Información de Tomografías Eléctricas 2D

ID	Desde [m]	Hasta [m]	Resistividad Promedio [$\Omega \cdot m$]	Material	Descripción
TE2D_1SnIgnacio1	0	9.94	40	Aluvión	Sedimentos de deposición fluvial dispuestos en capas no ordenadas y presencia de cantos rodados en una matriz de arenas finas color beige
TE2D_1SnIgnacio1	9.94	65.6	25	Toba	Material de depositación de grano medio con alto potencial de retención y transmisión de fluidos
TE2D_2LaVuelta	0	50	51	Aluvión	Sedimentos de deposición fluvial dispuestos en capas no ordenadas y presencia de cantos rodados en una matriz de arenas finas color beige
TE2D_2LaVuelta	50	65.6	25	Toba	Material de depositación de grano medio con alto potencial de retención y transmisión de fluidos
TE2D_3CitalaRio	0	8.64	45	Aluvión	Sedimentos de deposición fluvial dispuestos en capas no ordenadas y presencia de cantos rodados en una matriz de arenas finas color beige
TE2D_3CitalaRio	8.64	32.8	14.5	Conglomerados	Arenilla con grava, grano medio color gris (ElPoy1)
TE2D_5ConcepPozo	0	11	42	Aluvión	Sedimentos de deposición fluvial dispuestos en capas no ordenadas y presencia de cantos rodados en una matriz de arenas finas color beige
TE2D_5ConcepPozo	8.64	32.8	18	Conglomerados	Arenilla con grava, grano medio color gris (ElPoy1)
TE2D_6StaFe	0	15	70	Arcillas	Material compacto y de grano medio
TE2D_6StaFe	15	60	22	Conglomerados	Arenilla con grava, grano medio color gris (StaAnita2)
TE2D_6StaFe	60	65.6	55	Colada	Material compacto, grano fino poco permeable
TE2D_7Botadero	0	17.3	35	Toba	Toba Grano Fino, color beige

TE2D_7Botadero	17.3	42	12	Conglomerados	Arenilla con grava, gano medio color gris (StaAnita2)
TE2D_7Botadero	42	65.6	55	Colada	Material compacto, grano fino
TE2D_8SinuapaGrave	0	15.9	42	Toba	Toba Grano Fino, color beige
TE2D_8SinuapaGrave	17.3	33.8	25.3	Toba	Toba Gravo Arcillosa, Grano Medio, Color Beige Oscuro (Pozo Clínica)
TE2D_9StaAnitaArr	0	18	30	Toba	Toba Grano Fino, color beige
TE2D_9StaAnitaArr	18	50	25.3	Toba	Toba Gravo Arcillosa, Grano Medio, Color Beige Oscuro (Pozo Clínica)
TE2D_9StaAnitaArr	50	65.6	15	Conglomerados	Arenilla con grava grano medio color gris (SantaAnita2)
TE2D_10StaAnitaAb	0	23	30	Toba	Toba Grano Fino, color beige
TE2D_10StaAnitaAb	23	65.6	16	Conglomerados	Arenilla con grava grano medio color gris (StaAnita2)
TE2D_12AntOcotpq	0	7	10	Arcillas	Arcilla grano fino, color café oscuro (ElPoy1)
TE2D_12AntOcotpq	7	33.8	24	Conglomerados	Conglomerados con grava gris, arenilla y grano medio color gris
TE2D_13ElPoyHon	0	25	50	Relleno	Material de compactación para carretera
TE2D_13ElPoyHon	25	33.8	24	Conglomerados	Conglomerados con grava gris, arenilla y grano medio color gris

ANEXO 4. Pruebas de Infiltración y hoja de cálculo de permeámetro de Guelph**Ubicación y valor obtenido de las pruebas de infiltración**

Id	Nombre	Tipo suelo	x	y	z	Fc [mm/día]
PIPG-001	San_Ignacio1	Potrero	-89°12' 2.5"	14°21'33.3"	833	364.608
PIPG-002	La_Recta_SI	Granos Básicos	-89°12'24.8"	14°21'45.7"	776	457.056
PIPG-003	Citala_Rio	Granos Básicos	-89°12'48.3"	14°22'58.4"	730	481.248
PIPG-004	Concepcion_Zacamil	Potrero	-89°12'10.4"	14°30'18"	964	36.6336
PIPG-005	Concepcion_Pozo	Potrero	-89°12'39.2"	14°30'10.6"	836	164.16
PIPG-006	SantaFe_Cementerio	Bosque de Pinos	-89°13'43.8"	14°30'7.7"	872	421.632
PIPG-007	Botadero_Concepcion	Potrero	-89°12'27.5"	14°27'55.6"	826	206.496
PIPG-008	Sinuapa_Cementerio	Lotificación	-89°11'42.9"	14°26'30.1"	808	167.616
PIPG-009	SantaAnita_Arriba	Potrero	-89°13'16.2"	14°28'51.9"	874	1468.8
PIPG-010	SantaAnita_Centro	Granos Básicos	-89°12'56.5"	14°29'9"	819	497.664
PIPG-011	Sinuapa_Cultivos	Pastos	-89°11'34.1"	14°27'4.4"	811	516.672
PIPG-012	Antigua_Ocotepeque	Potrero	-89°12'4.9"	14°23'45.6"	759	121.824
PIPG-013	El_PoyHN	Pastos	-89°12'27.4"	14°22'59.8"	726	362.88



Guelph Permeameter

 Input

 Result

Single Head Method (1)

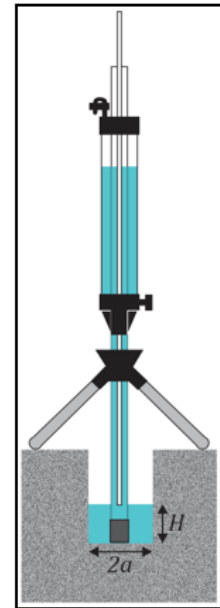
Reservoir Cross-sectional area in cm ² (enter "35.22" for Combined and "2.16" for Inner reservoir):	35.22
Enter water Head Height ("H" in cm):	5
Enter the Borehole Radius ("a" in cm):	4
Enter the soil texture-structure category (enter one of the below numbers):	
<ol style="list-style-type: none"> 1. Compacted, Structure-less, clayey or silty materials such as landfill caps and liners, lacustrine or marine sediments, etc. 2. Soils which are both fine textured (clayey or silty) and unstructured; may also include some fine sands. 3. Most structured soils from clays through loams; also includes unstructured medium and fine sands. The category most frequently applicable for agricultural soils. 4. Coarse and gravely sands; may also include some highly structured soils with large and/or numerous cracks, macropors, etc 	2
Steady State Rate of Water Level Change ("R" in cm/min):	
Res Type 35.2	1.0000
H 5	
a 4	$\alpha^* = $ 0.04 <i>cm</i> ⁻¹
H/a 1.25	
a* 0.04	C = 0.70033
C0.01 0.68	Q = 0.587
C0.04 0.7	
C0.12 0.66	K_{fs} = 4.20E-04 cm/sec
C0.36 0.66	2.52E-02 cm/min
C 0.7	4.20E-06 m/sec
R 1.000	9.93E-03 inch/min
Q 0.59	1.66E-04 inch/sec
pi 3.1415	
	Φ_m = 1.05E-02 cm²/min

Single Head Method (2)

Reservoir Cross-sectional area in cm ² (enter "35.22" for Combined and "2.16" for Inner reservoir):	35.22
Enter water Head Height ("H" in cm):	10
Enter the Borehole Radius ("a" in cm):	4
Enter the soil texture-structure category (enter one of the below numbers):	
<ol style="list-style-type: none"> 1. Compacted, Structure-less, clayey or silty materials such as landfill caps and liners, lacustrine or marine sediments, etc. 2. Soils which are both fine textured (clayey or silty) and unstructured; may also include some fine sands. 3. Most structured soils from clays through loams; also includes unstructured medium and fine sands. The category most frequently applicable for agricultural soils. 4. Coarse and gravely sands; may also include some highly structured soils with large and/or numerous cracks, macropors, etc 	2
Steady State Rate of Water Level Change ("R" in cm/min):	
Res Type 35.22	1.5000
H 10	
a 4	$\alpha^* = $ 0.04 <i>cm</i> ⁻¹
H/a 2.5	
a* 0.04	C = 1.08468
C0.01 1.0326	Q = 0.8805
C0.04 1.0847	
C0.12 1.0626	K_{fs} = 4.24E-04 cm/sec
C0.36 1.0626	2.54E-02 cm/min
C 1.0847	4.24E-06 m/sec
R 1.500	1.00E-02 inch/min
Q 0.8805	1.67E-04 inch/sec
pi 3.1415	
	Φ_m = 1.06E-02 cm²/min

Average

K_{fs} = 4.22E-04 cm/sec
2.53E-02 cm/min
4.22E-06 m/s
9.97E-03 inch/min
1.66E-04 inch/sec
Φ_m = 1.06E-02 cm²/min





Guelph Permeameter

Input

Result

Single Head Method (1)

Reservoir Cross-sectional area in cm^2
 (enter "35.22" for Combined and "2.16" for Inner reservoir): 35.22

Enter water Head Height ("H" in cm): 5

Enter the Borehole Radius ("a" in cm): 5

Enter the soil texture-structure category (enter one of the below numbers): 3

1. Compacted, Structure-less, clayey or silty materials such as landfill caps and liners, lacustrine or marine sediments, etc.
2. Soils which are both fine textured (clayey or silty) and unstructured; may also include some fine sands.
3. Most structured soils from clays through loams; also includes unstructured medium and fine sands. The category most frequently applicable for agricultural soils.
4. Coarse and gravelly sands; may also include some highly structured soils with large and/or numerous cracks, macropors, etc

Steady State Rate of Water Level Change ("R" in cm/min): 1.0000

Res Type 35.2	
H 5	
a 5	$\alpha^* = $ 0.12 cm^{-1}
H/a 1	
a* 0.12	C = 0.55816
C0.01 0.59	Q = 0.587
C0.04 0.61	
C0.12 0.56	$K_{fs} = $ 7.08E-04 cm/sec
C0.36 0.56	4.25E-02 cm/min
C 0.56	7.08E-06 m/sec
R 1.000	1.67E-02 inch/min
Q 0.59	2.79E-04 inch/sec
pi 3.14	
	$\Phi_m = $ 5.90E-03 cm^2/min

Single Head Method (2)

Reservoir Cross-sectional area in cm^2
 (enter "35.22" for Combined and "2.16" for Inner reservoir): 35.22

Enter water Head Height ("H" in cm): 10

Enter the Borehole Radius ("a" in cm): 5

Enter the soil texture-structure category (enter one of the below numbers): 3

1. Compacted, Structure-less, clayey or silty materials such as landfill caps and liners, lacustrine or marine sediments, etc.
2. Soils which are both fine textured (clayey or silty) and unstructured; may also include some fine sands.
3. Most structured soils from clays through loams; also includes unstructured medium and fine sands. The category most frequently applicable for agricultural soils.
4. Coarse and gravelly sands; may also include some highly structured soils with large and/or numerous cracks, macropors, etc

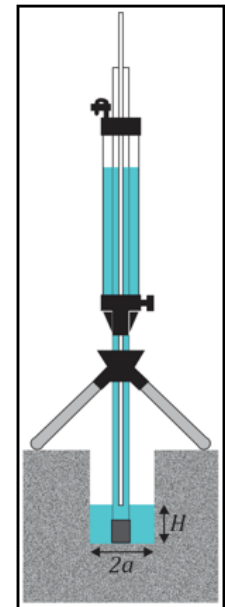
Steady State Rate of Water Level Change ("R" in cm/min): 0.8000

Res Type 35.22	
H 10	
a 5	$\alpha^* = $ 0.12 cm^{-1}
H/a 2	
a* 0.12	C = 0.91197
C0.01 0.9043	Q = 0.4696
C0.04 0.9446	
C0.12 0.912	$K_{fs} = $ 3.50E-04 cm/sec
C0.36 0.912	2.10E-02 cm/min
C 0.912	3.50E-06 m/sec
R 0.800	8.27E-03 inch/min
Q 0.4696	1.38E-04 inch/sec
pi 3.1415	
	$\Phi_m = $ 2.92E-03 cm^2/min

Average

$K_{fs} =$ 5.29E-04 cm/sec
3.17E-02 cm/min
5.29E-06 m/s
1.25E-02 inch/min
2.08E-04 inch/sec

$\Phi_m =$ 4.41E-03 cm^2/min





Input
 Result

Single Head Method (1)

Reservoir Cross-sectional area in cm²
 (enter "35.22" for Combined and "2.16" for Inner reservoir): 35.22
 Enter water Head Height ("H" in cm): 5
 Enter the Borehole Radius ("a" in cm): 4

Enter the soil texture-structure category (enter one of the below numbers): 3

1. Compacted, Structure-less, clayey or silty materials such as landfill caps and liners, lacustrine or marine sediments, etc.
2. Soils which are both fine textured (clayey or silty) and unstructured; may also include some fine sands.
3. Most structured soils from clays through loams; also includes unstructured medium and fine sands. The category most frequently applicable for agricultural soils.
4. Coarse and gravely sands; may also include some highly structured soils with large and/or numerous cracks, macropors, etc

Steady State Rate of Water Level Change ("R" in cm/min): 0.7000

Res Type 35.2	
H 5	
a 4	$\alpha^* = $ 0.12 cm^{-1}
H/a 1.25	
a* 0.12	C = 0.65515
C0.01 0.68	Q = 0.4109
C0.04 0.7	
C0.12 0.66	$K_{fs} = $ 5.96E-04 cm/sec
C0.36 0.66	3.58E-02 cm/min
C 0.66	5.96E-06 m/sec
R 0.700	1.41E-02 $inch/min$
Q 0.41	2.35E-04 $inch/sec$
pi 3.14	
	$\Phi_m = $ 4.97E-03 cm^2/min

Single Head Method (2)

Reservoir Cross-sectional area in cm²
 (enter "35.22" for Combined and "2.16" for Inner reservoir): 35.22
 Enter water Head Height ("H" in cm): 10
 Enter the Borehole Radius ("a" in cm): 4

Enter the soil texture-structure category (enter one of the below numbers): 3

1. Compacted, Structure-less, clayey or silty materials such as landfill caps and liners, lacustrine or marine sediments, etc.
2. Soils which are both fine textured (clayey or silty) and unstructured; may also include some fine sands.
3. Most structured soils from clays through loams; also includes unstructured medium and fine sands. The category most frequently applicable for agricultural soils.
4. Coarse and gravely sands; may also include some highly structured soils with large and/or numerous cracks, macropors, etc

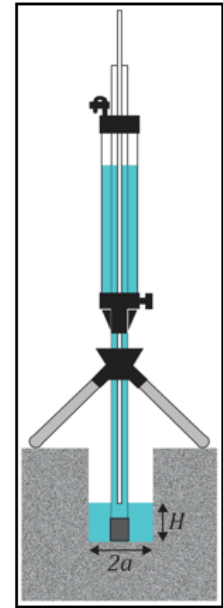
Steady State Rate of Water Level Change ("R" in cm/min): 1.0000

Res Type 35.22	
H 10	
a 4	$\alpha^* = $ 0.12 cm^{-1}
H/a 2.5	
a* 0.12	C = 1.06262
C0.01 1.0326	Q = 0.587
C0.04 1.0847	
C0.12 1.0626	$K_{fs} = $ 5.18E-04 cm/sec
C0.36 1.0626	3.11E-02 cm/min
C 1.0626	5.18E-06 m/sec
R 1.000	1.22E-02 $inch/min$
Q 0.587	2.04E-04 $inch/sec$
pi 3.1415	
	$\Phi_m = $ 4.31E-03 cm^2/min

Average

$K_{fs} =$ 5.57E-04 cm/sec
3.34E-02 cm/min
5.57E-06 m/s
1.31E-02 $inch/min$
2.19E-04 $inch/sec$

$\Phi_m =$ 4.64E-03 cm^2/min





Guelph Permeameter

Input

Result

Single Head Method (1)

Reservoir Cross-sectional area in cm²
 (enter "35.22" for Combined and "2.16" for Inner reservoir): **35.22**

Enter water Head Height ("H" in cm): **10**

Enter the Borehole Radius ("a" in cm): **4**

Enter the soil texture-structure category (enter one of the below numbers): **2**

1. Compacted, Structure-less, clayey or silty materials such as landfill caps and liners, lacustrine or marine sediments, etc.
2. Soils which are both fine textured (clayey or silty) and unstructured; may also include some fine sands.
3. Most structured soils from clays through loams; also includes unstructured medium and fine sands. The category most frequently applicable for agricultural soils.
4. Coarse and gravely sands; may also include some highly structured soils with large and/or numerous cracks, macropors, etc

Steady State Rate of Water Level Change ("R" in cm/min): **0.2000**

Res Type 35.2
 H 10
 a 4
 H/a 2.5
 a* 0.04
 C0.01 1.03
 C0.04 1.08
 C0.12 1.06
 C0.36 1.06
 C 1.08
 R 0.200
 Q 0.12
 pi 3.14

$\alpha^* = 0.04 \text{ cm}^{-1}$

C = 1.08468
Q = 0.1174

$K_{fs} = 5.65E-05 \text{ cm/sec}$
 $3.39E-03 \text{ cm/min}$
 $5.65E-07 \text{ m/sec}$
 $1.33E-03 \text{ inch/min}$
 $2.22E-05 \text{ inch/sec}$

$\Phi_m = 1.41E-03 \text{ cm}^2 / \text{min}$

Single Head Method (2)

Reservoir Cross-sectional area in cm²
 (enter "35.22" for Combined and "2.16" for Inner reservoir): **35.22**

Enter water Head Height ("H" in cm): **10**

Enter the Borehole Radius ("a" in cm): **4**

Enter the soil texture-structure category (enter one of the below numbers): **2**

1. Compacted, Structure-less, clayey or silty materials such as landfill caps and liners, lacustrine or marine sediments, etc.
2. Soils which are both fine textured (clayey or silty) and unstructured; may also include some fine sands.
3. Most structured soils from clays through loams; also includes unstructured medium and fine sands. The category most frequently applicable for agricultural soils.
4. Coarse and gravely sands; may also include some highly structured soils with large and/or numerous cracks, macropors, etc

Steady State Rate of Water Level Change ("R" in cm/min): **0.1000**

Res Type 35.22
 H 10
 a 4
 H/a 2.5
 a* 0.04
 C0.01 1.0326
 C0.04 1.0847
 C0.12 1.0626
 C0.36 1.0626
 C 1.0847
 R 0.100
 Q 0.0587
 pi 3.1415

$\alpha^* = 0.04 \text{ cm}^{-1}$

C = 1.08468
Q = 0.0587

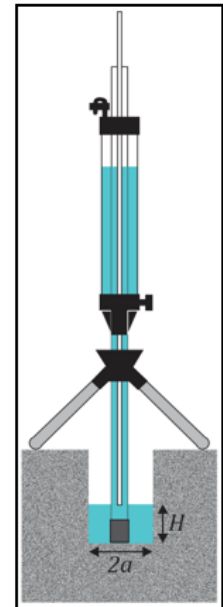
$K_{fs} = 2.83E-05 \text{ cm/sec}$
 $1.70E-03 \text{ cm/min}$
 $2.83E-07 \text{ m/sec}$
 $6.67E-04 \text{ inch/min}$
 $1.11E-05 \text{ inch/sec}$

$\Phi_m = 7.06E-04 \text{ cm}^2 / \text{min}$

Average

$K_{fs} = 4.24E-05 \text{ cm/sec}$
 $2.54E-03 \text{ cm/min}$
 $4.24E-07 \text{ m/s}$
 $1.00E-03 \text{ inch/min}$
 $1.67E-05 \text{ inch/sec}$

$\Phi_m = 1.06E-03 \text{ cm}^2 / \text{min}$





Guelph Permeameter

 Input

 Result

Single Head Method (1)

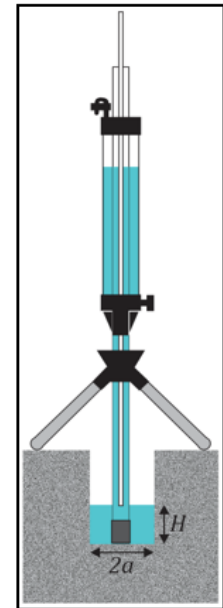
Reservoir Cross-sectional area in cm ²	
(enter "35.22" for Combined and "2.16" for Inner reservoir):	35.22
Enter water Head Height ("H" in cm):	5
Enter the Borehole Radius ("a" in cm):	4
Enter the soil texture-structure category (enter one of the below numbers): 2	
<ol style="list-style-type: none"> 1. Compacted, Structure-less, clayey or silty materials such as landfill caps and liners, lacustrine or marine sediments, etc. 2. Soils which are both fine textured (clayey or silty) and unstructured; may also include some fine sands. 3. Most structured soils from clays through loams; also includes unstructured medium and fine sands. The category most frequently applicable for agricultural soils. 4. Coarse and gravely sands; may also include some highly structured soils with large and/or numerous cracks, macropors, etc 	
Steady State Rate of Water Level Change ("R" in cm/min):	0.5000
Res Type	35.2
H	5
a	4
H/a	1.25
a*	0.04
C0.01	0.68
C0.04	0.7
C0.12	0.66
C0.36	0.66
C	0.7
R	0.500
Q	0.29
pi	3.14
α^* =	0.04 cm ⁻¹
C =	0.70033
Q =	0.2935
K_{fs} =	2.10E-04 cm/sec
	1.26E-02 cm/min
	2.10E-06 m/sec
	4.97E-03 inch/min
	8.28E-05 inch/sec
Φ_m =	5.26E-03 cm ² /min

Single Head Method (2)

Reservoir Cross-sectional area in cm ²	
(enter "35.22" for Combined and "2.16" for Inner reservoir):	35.22
Enter water Head Height ("H" in cm):	10
Enter the Borehole Radius ("a" in cm):	4
Enter the soil texture-structure category (enter one of the below numbers): 2	
<ol style="list-style-type: none"> 1. Compacted, Structure-less, clayey or silty materials such as landfill caps and liners, lacustrine or marine sediments, etc. 2. Soils which are both fine textured (clayey or silty) and unstructured; may also include some fine sands. 3. Most structured soils from clays through loams; also includes unstructured medium and fine sands. The category most frequently applicable for agricultural soils. 4. Coarse and gravely sands; may also include some highly structured soils with large and/or numerous cracks, macropors, etc 	
Steady State Rate of Water Level Change ("R" in cm/min):	0.6000
Res Type	35.22
H	10
a	4
H/a	2.5
a*	0.04
C0.01	1.0326
C0.04	1.0847
C0.12	1.0626
C0.36	1.0626
C	1.0847
R	0.600
Q	0.3522
pi	3.1415
α^* =	0.04 cm ⁻¹
C =	1.08468
Q =	0.3522
K_{fs} =	1.70E-04 cm/sec
	1.02E-02 cm/min
	1.70E-06 m/sec
	4.00E-03 inch/min
	6.67E-05 inch/sec
Φ_m =	4.24E-03 cm ² /min

Average

K_{fs} =	1.90E-04 cm/sec
	1.14E-02 cm/min
	1.90E-06 m/s
	4.49E-03 inch/min
	7.48E-05 inch/sec
Φ_m =	4.75E-03 cm ² /min





Guelph Permeameter

Single Head Method (1)

Reservoir Cross-sectional area in cm ²	
(enter "35.22" for Combined and "2.16" for Inner reservoir):	35.22
Enter water Head Height ("H" in cm):	10
Enter the Borehole Radius ("a" in cm):	5
Enter the soil texture-structure category (enter one of the below numbers):	
	2
<ol style="list-style-type: none"> 1. Compacted, Structure-less, clayey or silty materials such as landfill caps and liners, lacustrine or marine sediments, etc. 2. Soils which are both fine textured (clayey or silty) and unstructured; may also include some fine sands. 3. Most structured soils from clays through loams; also includes unstructured medium and fine sands. The category most frequently applicable for agricultural soils. 4. Coarse and gravelly sands; may also include some highly structured soils with large and/or numerous cracks, macropors, etc 	
Steady State Rate of Water Level Change ("R" in cm/min):	
	2.0000
Res Type	35.2
H	10
a	5
H/a	2
a*	0.04
C0.01	0.9
C0.04	0.94
C0.12	0.91
C0.36	0.91
C	0.94
R	2.000
Q	1.17
pi	3.14
α* =	0.04 cm ⁻¹
C =	0.94462
Q =	1.174
K_{fs} =	4.88E-04 cm/sec
	2.93E-02 cm/min
	4.88E-06 m/sec
	1.15E-02 inch/min
	1.92E-04 inch/sec
Φ_m =	1.22E-02 cm ² /min

SOILMOISTURE **Guelph Permeameter**

Input

Result

Single Head Method (1)

Reservoir Cross-sectional area in cm²
 (enter "35.22" for Combined and "2.16" for Inner reservoir): **35.22**
 Enter water Head Height ("H" in cm): **5**
 Enter the Borehole Radius ("a" in cm): **2.5**

Enter the soil texture-structure category (enter one of the below numbers): **2**

1. Compacted, Structure-less, clayey or silty materials such as landfill caps and liners, lacustrine or marine sediments, etc.
2. Soils which are both fine textured (clayey or silty) and unstructured; may also include some fine sands.
3. Most structured soils from clays through loams; also includes unstructured medium and fine sands. The category most frequently applicable for agricultural soils.
4. Coarse and gravely sands; may also include some highly structured soils with large and/or numerous cracks, macropors, etc

Steady State Rate of Water Level Change ("R" in cm/min): **0.5000**

Res Type	35.2	
H	5	
a	2.5	$\alpha^* = 0.04 \text{ cm}^{-1}$
H/a	2	
a*	0.04	C = 0.94462
C0.01	0.9	Q = 0.2935
C0.04	0.94	
C0.12	0.91	K_{fs} = 2.88E-04 cm/sec
C0.36	0.91	1.73E-02 cm/min
C	0.94	2.88E-06 m/sec
R	0.500	6.81E-03 inch/min
Q	0.29	1.14E-04 inch/sec
pi	3.14	

$\Phi_m = 7.21E-03 \text{ cm}^2 / \text{min}$

Single Head Method (2)

Reservoir Cross-sectional area in cm²
 (enter "35.22" for Combined and "2.16" for Inner reservoir): **35.22**
 Enter water Head Height ("H" in cm): **10**
 Enter the Borehole Radius ("a" in cm): **2.5**

Enter the soil texture-structure category (enter one of the below numbers): **2**

1. Compacted, Structure-less, clayey or silty materials such as landfill caps and liners, lacustrine or marine sediments, etc.
2. Soils which are both fine textured (clayey or silty) and unstructured; may also include some fine sands.
3. Most structured soils from clays through loams; also includes unstructured medium and fine sands. The category most frequently applicable for agricultural soils.
4. Coarse and gravely sands; may also include some highly structured soils with large and/or numerous cracks, macropors, etc

Steady State Rate of Water Level Change ("R" in cm/min): **0.5000**

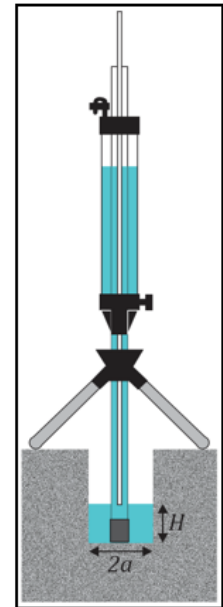
Res Type	35.22	
H	10	
a	2.5	$\alpha^* = 0.04 \text{ cm}^{-1}$
H/a	4	
a*	0.04	C = 1.43553
C0.01	1.348	Q = 0.2935
C0.04	1.4355	
C0.12	1.449	K_{fs} = 1.89E-04 cm/sec
C0.36	1.449	1.14E-02 cm/min
C	1.4355	1.89E-06 m/sec
R	0.500	4.47E-03 inch/min
Q	0.2935	7.45E-05 inch/sec
pi	3.1415	

$\Phi_m = 4.73E-03 \text{ cm}^2 / \text{min}$

Average

K_{fs} = 2.39E-04 cm/sec
1.43E-02 cm/min
2.39E-06 m/s
5.64E-03 inch/min
9.40E-05 inch/sec

Φ_m = 5.97E-03 cm² / min





Guelph Permeameter

Single Head Method (1)

Reservoir Cross-sectional area in cm ²	
(enter "35.22" for Combined and "2.16" for Inner reservoir):	35.22
Enter water Head Height ("H" in cm):	5
Enter the Borehole Radius ("a" in cm):	4.5
Enter the soil texture-structure category (enter one of the below numbers):	2
<ol style="list-style-type: none"> 1. Compacted, Structure-less, clayey or silty materials such as landfill caps and liners, lacustrine or marine sediments, etc. 2. Soils which are both fine textured (clayey or silty) and unstructured; may also include some fine sands. 3. Most structured soils from clays through loams; also includes unstructured medium and fine sands. The category most frequently applicable for agricultural soils. 4. Coarse and gravely sands; may also include some highly structured soils with large and/or numerous cracks, macropors, etc 	
Steady State Rate of Water Level Change ("R" in cm/min):	0.5000
Res Type	35.2
H	5
a	4.5
H/a	1.11
a*	0.04
C0.01	0.63
C0.04	0.65
C0.12	0.6
C0.36	0.6
C	0.65
R	0.500
Q	0.29
pi	3.14
α^*	0.04 cm ⁻¹
C	0.64886
Q	0.2935
K_{fs}	1.94E-04 cm/sec
	1.16E-02 cm/min
	1.94E-06 m/sec
	4.57E-03 inch/min
	7.62E-05 inch/sec
Φ_m	4.84E-03 cm ² /min



Guelph Permeameter

Input
 Result

Single Head Method (1)

Reservoir Cross-sectional area in cm ²	
(enter "35.22" for Combined and "2.16" for Inner reservoir):	35.22
Enter water Head Height ("H" in cm):	5
Enter the Borehole Radius ("a" in cm):	5

Enter the soil texture-structure category (enter one of the below numbers): 2

1. Compacted, Structure-less, clayey or silty materials such as landfill caps and liners, lacustrine or marine sediments, etc.
2. Soils which are both fine textured (clayey or silty) and unstructured; may also include some fine sands.
3. Most structured soils from clays through loams; also includes unstructured medium and fine sands. The category most frequently applicable for agricultural soils.
4. Coarse and gravelly sands; may also include some highly structured soils with large and/or numerous cracks, macropors, etc

Steady State Rate of Water Level Change ("R" in cm/min):	2.0000
--	--------

Res Type	35.2		
H	5	α^*	0.04 cm ⁻¹
a	5	C	0.60581
H/a	1	Q	1.174
a*	0.04	K_{fs}	7.18E-04 cm/sec
C0.01	0.59		4.31E-02 cm/min
C0.04	0.61		7.18E-06 m/sec
C0.12	0.56		1.70E-02 inch/min
C0.36	0.56		2.83E-04 inch/sec
C	0.61	Φ_m	1.80E-02 cm ² /min
R	2.000		
Q	1.17		
pi	3.14		

Single Head Method (2)

Reservoir Cross-sectional area in cm ²	
(enter "35.22" for Combined and "2.16" for Inner reservoir):	35.22
Enter water Head Height ("H" in cm):	10
Enter the Borehole Radius ("a" in cm):	5

Enter the soil texture-structure category (enter one of the below numbers): 2

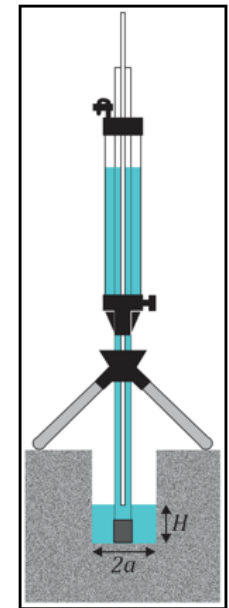
1. Compacted, Structure-less, clayey or silty materials such as landfill caps and liners, lacustrine or marine sediments, etc.
2. Soils which are both fine textured (clayey or silty) and unstructured; may also include some fine sands.
3. Most structured soils from clays through loams; also includes unstructured medium and fine sands. The category most frequently applicable for agricultural soils.
4. Coarse and gravelly sands; may also include some highly structured soils with large and/or numerous cracks, macropors, etc

Steady State Rate of Water Level Change ("R" in cm/min):	11.0000
--	---------

Res Type	35.22		
H	10	α^*	0.04 cm ⁻¹
a	5	C	0.94462
H/a	2	Q	6.457
a*	0.04	K_{fs}	2.68E-03 cm/sec
C0.01	0.9043		1.61E-01 cm/min
C0.04	0.9446		2.68E-05 m/sec
C0.12	0.912		6.34E-02 inch/min
C0.36	0.912		1.06E-03 inch/sec
C	0.9446	Φ_m	6.71E-02 cm ² /min
R	11.000		
Q	6.457		
pi	3.1415		

Average

K_{fs}	1.70E-03	cm/sec
	1.02E-01	cm/min
	1.70E-05	m/s
	4.02E-02	inch/min
	6.70E-04	inch/sec
Φ_m	4.25E-02	cm ² /min





Input

Result

Single Head Method (1)

Reservoir Cross-sectional area in cm²
 (enter "35.22" for Combined and "2.16" for Inner reservoir): **35.22**
 Enter water Head Height ("H" in cm): **5**
 Enter the Borehole Radius ("a" in cm): **4.5**

Enter the soil texture-structure category (enter one of the below numbers): **3**

1. Compacted, Structure-less, clayey or silty materials such as landfill caps and liners, lacustrine or marine sediments, etc.
2. Soils which are both fine textured (clayey or silty) and unstructured; may also include some fine sands.
3. Most structured soils from clays through loams; also includes unstructured medium and fine sands. The category most frequently applicable for agricultural soils.
4. Coarse and gravelly sands; may also include some highly structured soils with large and/or numerous cracks, macropors, etc

Steady State Rate of Water Level Change ("R" in cm/min): **1.0000**

Res Type	35.22	
H	5	
a	4.5	α* = 0.12 cm⁻¹
H/a	1.11	C = 0.60215
a*	0.12	Q = 0.587
C0.01	0.63	K_{fs} = 7.73E-04 cm/sec
C0.04	0.65	
C0.12	0.6	
C0.36	0.6	
C	0.6	4.64E-02 cm/min
R	1.000	7.73E-06 m/sec
Q	0.59	1.83E-02 inch/min
pi	3.14	3.04E-04 inch/sec

Φ_m = 6.44E-03 cm²/min

Single Head Method (2)

Reservoir Cross-sectional area in cm²
 (enter "35.22" for Combined and "2.16" for Inner reservoir): **35.22**
 Enter water Head Height ("H" in cm): **10**
 Enter the Borehole Radius ("a" in cm): **4.5**

Enter the soil texture-structure category (enter one of the below numbers): **3**

1. Compacted, Structure-less, clayey or silty materials such as landfill caps and liners, lacustrine or marine sediments, etc.
2. Soils which are both fine textured (clayey or silty) and unstructured; may also include some fine sands.
3. Most structured soils from clays through loams; also includes unstructured medium and fine sands. The category most frequently applicable for agricultural soils.
4. Coarse and gravelly sands; may also include some highly structured soils with large and/or numerous cracks, macropors, etc

Steady State Rate of Water Level Change ("R" in cm/min): **0.8000**

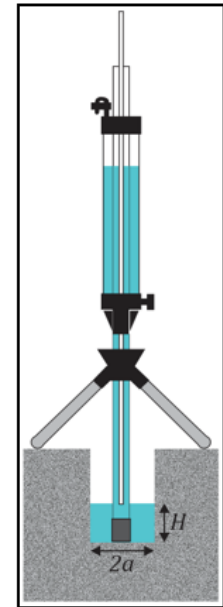
Res Type	35.22	
H	10	
a	4.5	α* = 0.12 cm⁻¹
H/a	2.2222	C = 0.98062
a*	0.12	Q = 0.4696
C0.01	0.9632	K_{fs} = 3.79E-04 cm/sec
C0.04	1.0087	
C0.12	0.9806	
C0.36	0.9806	
C	0.9806	2.28E-02 cm/min
R	0.800	3.79E-06 m/sec
Q	0.4696	8.96E-03 inch/min
pi	3.1415	1.49E-04 inch/sec

Φ_m = 3.16E-03 cm²/min

Average

K_{fs} = 5.76E-04 cm/sec
3.46E-02 cm/min
5.76E-06 m/s
1.36E-02 inch/min
2.27E-04 inch/sec

Φ_m = 4.80E-03 cm²/min





Guelph Permeameter

Input

Result

Single Head Method (1)

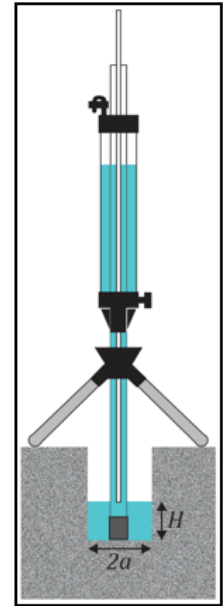
	Reservoir Cross-sectional area in cm ²
(enter "35.22" for Combined and "2.16" for Inner reservoir):	35.22
Enter water Head Height ("H" in cm):	5
Enter the Borehole Radius ("a" in cm):	4
Enter the soil texture-structure category (enter one of the below numbers): 2	
<ol style="list-style-type: none"> 1. Compacted, Structure-less, clayey or silty materials such as landfill caps and liners, lacustrine or marine sediments, etc. 2. Soils which are both fine textured (clayey or silty) and unstructured; may also include some fine sands. 3. Most structured soils from clays through loams; also includes unstructured medium and fine sands. The category most frequently applicable for agricultural soils. 4. Coarse and gravely sands; may also include some highly structured soils with large and/or numerous cracks, macropors, etc 	
Steady State Rate of Water Level Change ("R" in cm/min): 1.5000	
Res Type	35.2
H	5
a	4
H/a	1.25
a*	0.04
C0.01	0.68
C0.04	0.7
C0.12	0.66
C0.36	0.66
C	0.7
R	1.500
Q	0.88
pi	3.14
α^* =	0.04 cm ⁻¹
C =	0.70033
Q =	0.8805
K_{fs} =	6.31E-04 cm/sec
	3.78E-02 cm/min
	6.31E-06 m/sec
	1.49E-02 inch/min
	2.48E-04 inch/sec
Φ_m =	1.58E-02 cm ² /min

Single Head Method (2)

	Reservoir Cross-sectional area in cm ²
(enter "35.22" for Combined and "2.16" for Inner reservoir):	35.22
Enter water Head Height ("H" in cm):	10
Enter the Borehole Radius ("a" in cm):	4
Enter the soil texture-structure category (enter one of the below numbers): 2	
<ol style="list-style-type: none"> 1. Compacted, Structure-less, clayey or silty materials such as landfill caps and liners, lacustrine or marine sediments, etc. 2. Soils which are both fine textured (clayey or silty) and unstructured; may also include some fine sands. 3. Most structured soils from clays through loams; also includes unstructured medium and fine sands. The category most frequently applicable for agricultural soils. 4. Coarse and gravely sands; may also include some highly structured soils with large and/or numerous cracks, macropors, etc 	
Steady State Rate of Water Level Change ("R" in cm/min): 2.0000	
Res Type	35.22
H	10
a	4
H/a	2.5
a*	0.04
C0.01	1.0326
C0.04	1.0847
C0.12	1.0626
C0.36	1.0626
C	1.0847
R	2.000
Q	1.174
pi	3.1415
α^* =	0.04 cm ⁻¹
C =	1.08468
Q =	1.174
K_{fs} =	5.65E-04 cm/sec
	3.39E-02 cm/min
	5.65E-06 m/sec
	1.33E-02 inch/min
	2.22E-04 inch/sec
Φ_m =	1.41E-02 cm ² /min

Average

K_{fs} =	5.98E-04		<i>cm/sec</i>
	3.59E-02		<i>cm/min</i>
	5.98E-06		<i>m/s</i>
	1.41E-02		<i>inch/min</i>
	2.35E-04		<i>inch/sec</i>
Φ_m =	1.49E-02		<i>cm²/min</i>





 Input

 Result

Single Head Method (1)

Reservoir Cross-sectional area in cm^2
 (enter "35.22" for Combined and "2.16" for Inner reservoir): 35.22

Enter water Head Height ("H" in cm): 10

Enter the Borehole Radius ("a" in cm): 4

Enter the soil texture-structure category (enter one of the below numbers): 2

1. Compacted, Structure-less, clayey or silty materials such as landfill caps and liners, lacustrine or marine sediments, etc.
2. Soils which are both fine textured (clayey or silty) and unstructured; may also include some fine sands.
3. Most structured soils from clays through loams; also includes unstructured medium and fine sands. The category most frequently applicable for agricultural soils.
4. Coarse and gravely sands; may also include some highly structured soils with large and/or numerous cracks, macropors, etc

Steady State Rate of Water Level Change ("R" in cm/min): 0.5000

Res Type 35.2	
H 10	
a 4	$\alpha^* = $ 0.04 cm^{-1}
H/a 2.5	$C = $ 1.08468
$a^* 0.04$	$Q = $ 0.2935
C0.01 1.03	$K_{fs} = $ 1.41E-04 cm/sec 8.48E-03 cm/min 1.41E-06 m/sec 3.34E-03 inch/min 5.56E-05 inch/sec
C0.04 1.08	
C0.12 1.06	
C0.36 1.06	
C 1.08	
R 0.500	$\Phi_m = $ 3.53E-03 cm^2/min
Q 0.29	
pi 3.14	

Single Head Method (2)

Reservoir Cross-sectional area in cm^2
 (enter "35.22" for Combined and "2.16" for Inner reservoir): 35.22

Enter water Head Height ("H" in cm): 10

Enter the Borehole Radius ("a" in cm): 4

Enter the soil texture-structure category (enter one of the below numbers): 2

1. Compacted, Structure-less, clayey or silty materials such as landfill caps and liners, lacustrine or marine sediments, etc.
2. Soils which are both fine textured (clayey or silty) and unstructured; may also include some fine sands.
3. Most structured soils from clays through loams; also includes unstructured medium and fine sands. The category most frequently applicable for agricultural soils.
4. Coarse and gravely sands; may also include some highly structured soils with large and/or numerous cracks, macropors, etc

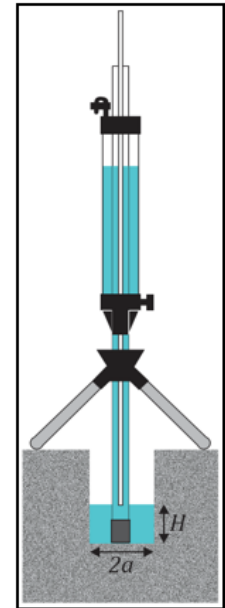
Steady State Rate of Water Level Change ("R" in cm/min): 0.5000

Res Type 35.22	
H 10	
a 4	$\alpha^* = $ 0.04 cm^{-1}
H/a 2.5	$C = $ 1.08468
$a^* 0.04$	$Q = $ 0.2935
C0.01 1.0326	$K_{fs} = $ 1.41E-04 cm/sec 8.48E-03 cm/min 1.41E-06 m/sec 3.34E-03 inch/min 5.56E-05 inch/sec
C0.04 1.0847	
C0.12 1.0626	
C0.36 1.0626	
C 1.0847	
R 0.500	$\Phi_m = $ 3.53E-03 cm^2/min
Q 0.2935	
pi 3.1415	

Average

$K_{fs} =$ 1.41E-04 cm/sec
8.48E-03 cm/min
1.41E-06 m/s
3.34E-03 inch/min
5.56E-05 inch/sec

$\Phi_m =$ 3.53E-03 cm^2/min





Guelph Permeameter

Single Head Method (1)

Reservoir Cross-sectional area in cm ²	
(enter "35.22" for Combined and "2.16" for Inner reservoir):	35.22
Enter water Head Height ("H" in cm):	5
Enter the Borehole Radius ("a" in cm):	4
Enter the soil texture-structure category (enter one of the below numbers):	
	2
<ol style="list-style-type: none"> 1. Compacted, Structure-less, clayey or silty materials such as landfill caps and liners, lacustrine or marine sediments, etc. 2. Soils which are both fine textured (clayey or silty) and unstructured; may also include some fine sands. 3. Most structured soils from clays through loams; also includes unstructured medium and fine sands. The category most frequently applicable for agricultural soils. 4. Coarse and gravely sands; may also include some highly structured soils with large and/or numerous cracks, macropors, etc 	
Steady State Rate of Water Level Change ("R" in cm/min):	1.0000
Res Type 35.2	
H 5	
a 4	$\alpha^* = 0.04 \text{ cm}^{-1}$
H/a 1.25	
a* 0.04	C = 0.70033
C0.01 0.68	Q = 0.587
C0.04 0.7	
C0.12 0.66	$K_{fs} = 4.20E-04 \text{ cm/sec}$
C0.36 0.66	2.52E-02 cm/min
C 0.7	4.20E-06 m/sec
R 1.000	9.93E-03 inch/min
Q 0.59	1.66E-04 inch/sec
pi 3.14	
	$\Phi_m = 1.05E-02 \text{ cm}^2 / \text{min}$

ANEXO 5. Hojas de Cálculo del Balance Hídrico de Suelos.

BALANCE HIDRICO DE SUELOS Gunther Schosinsky

Zona de Estudio: **San Ignacio 1(Bosque)**
Fecha: **8 de junio**

Textura de Suelo: **Franco-Limoso**

Simbología

fc: Capacidad de Infiltración.

I: Infiltración.

CC: Capacidad de Campo.

PM: Punto de Marchitez.

PR: Profundidad de Raíces.

(CC-PM): Rango de Agua Disponible.

DS: Densidad de Suelo.

C1: Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR

C2: Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR

Kp: Factor por pendiente (ver léame)

Kv: Factor por vegetación (ver léame)

Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración

P: Precipitación Media Mensual.

Pi: Precipitación que infiltra.

ESC: Escorrentía Superficial

ETP: Evapotranspiración Potencial.

ETR: Evapotranspiración Real.

HSi: Humedad de Suelo Inicial.

HD: Humedad Disponible

HSf: Humedad de Suelo Final.

DCC: Déficit de Capacidad de Campo.

Rp: Recarga Potencial

NR: Necesidad de Riego.

Ret: Retención de lluvia

fc [mm/d]

Kp [0.01%]

Kv [0.01%]

Kfc [0.01%]

I [0.01%] =

DS (g/cm³):

PR (mm)

HSi (mm)

Nº de mes con que inicia HSi:1,2,3...12?

Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.1

364.61

0.06

0.20

0.7958

1

1.43

2500.00

26.00

10

0.20

por peso

(%)

(mm)

CC 22.00 786.50

PM 10.00 357.50

(CC-PM) 12.00 429.00

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
Ret [mm]	0.90	5.00	5.00	8.64	28.06	53.56	39.64	43.18	52.52	24.64	5.00	5.00	271.14
Pi (mm)	0.00	0.10	4.90	34.56	112.24	214.24	158.56	172.72	210.08	98.56	17.10	2.10	1025.16
ESC (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ETP (mm)	132.60	141.10	179.10	184.20	183.60	159.30	165.20	164.40	145.80	145.50	125.40	125.90	1852.10
HSi (mm)	368.69	365.77	363.57	364.85	385.28	450.42	571.78	614.41	654.11	26.00	357.50	370.33	
C1	0.03	0.02	0.03	0.10	0.33	0.72	0.87	1.00	1.00	-0.54	0.04	0.03	
C2	0.02	0.01	0.01	0.06	0.19	0.45	0.53	0.62	0.84	0.00	0.03	0.02	
HD (mm)	11.19	8.37	10.97	41.91	140.02	307.16	372.84	429.63	506.69	-232.94	17.10	14.93	
ETR (mm)	2.92	2.30	3.62	14.13	47.10	92.88	115.93	133.02	134.23	-232.94	4.27	3.74	321.20
HSf (mm)	365.77	363.57	364.85	385.28	450.42	571.78	614.41	654.11	729.96	357.50	370.33	368.69	
DCC (mm)	420.73	422.93	421.65	401.22	336.08	214.72	172.09	132.39	56.54	429.00	416.17	417.81	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
NR (mm)	550.41	561.73	597.13	571.29	472.58	281.14	221.36	163.77	68.11	807.44	537.30	539.97	5372.25

BALANCE HIDRICO DE SUELOS
Gunther Schosinsky

Zona de Estudio: **San Ignacio 1(Cultivos)**
Fecha: **8 de junio**

Textura de Suelo: **Franco-Limoso**

Simbología

- | | |
|--|-------------------------------------|
| fc: Capacidad de Infiltración. | P: Precipitación Media Mensual. |
| I: Infiltración. | Pi: Precipitación que infiltra. |
| CC: Capacidad de Campo. | ESC: Escorrentía Superficial |
| PM: Punto de Marchitez. | ETP: Evapotranspiración Potencial. |
| PR: Profundidad de Raíces. | ETR: Evapotranspiración Real. |
| (CC-PM): Rango de Agua Disponible. | HSi: Humedad de Suelo Inicial. |
| DS: Densidad de Suelo. | HD: Humedad Disponible |
| C1: Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR | HSf: Humedad de Suelo Final. |
| C2: Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR | DCC: Déficit de Capacidad de Campo. |
| Kp: Factor por pendiente (ver léame) | Rp: Recarga Potencial |
| Kv: Factor por vegetación (ver léame) | NR: Necesidad de Riego. |
| Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración | Ret: Retención de lluvia |

fc [mm/d]	364.61
Kp [0.01%]	0.06
Kv [0.01%]	0.10
Kfc [0.01%]	0.7958
I [0.01%] =	0.9558
DS (g/cm ³):	1.43
PR (mm)	150.00
HSi (mm)	26.00
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	10
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.1	0.12

	por peso	
	(%)	(mm)
CC	22.00	47.19
PM	10.00	21.45
(CC-PM)	12.00	25.74

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
Ret [mm]	0.90	5.00	5.00	5.18	16.84	32.14	23.78	25.91	31.51	14.78	5.00	5.00	171.04
Pi (mm)	0.00	0.10	4.68	36.34	118.01	225.26	166.71	181.60	220.88	103.63	16.34	2.01	1075.56
ESC (mm)	0.00	0.00	0.22	1.68	5.45	10.41	7.70	8.39	10.21	4.79	0.76	0.09	49.70
ETP (mm)	132.60	141.10	179.10	184.20	183.60	159.30	165.20	164.40	145.80	145.50	125.40	125.90	1852.10
HSi (mm)	21.45	21.45	21.45	21.45	21.45	47.19	47.19	47.19	47.19	26.00	47.19	21.45	
C1	0.00	0.00	0.18	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.08	
C2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	
HD (mm)	0.00	0.10	4.68	36.34	118.01	251.00	192.45	207.34	246.62	108.18	42.08	2.01	
ETR (mm)	0.00	0.10	4.68	36.34	91.80	159.30	165.20	164.40	145.80	72.75	42.08	2.01	884.46
HSf (mm)	21.45	21.45	21.45	21.45	47.19	47.19	47.19	47.19	47.19	47.19	21.45	21.45	
DCC (mm)	25.74	25.74	25.74	25.74	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	25.74	25.74	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.47	65.96	1.51	17.20	75.08	9.69	0.00	0.00	169.91
NR (mm)	158.34	166.74	200.16	173.60	91.80	0.00	0.00	0.00	0.00	72.75	109.06	149.63	1122.08

BALANCE HIDRICO DE SUELOS
Gunther Schosinsky

Zona de Estudio: **San Ignacio 1(Pastos)**
Fecha: **8 de junio**

Textura de Suelo: **Franco-Limoso**

Simbología

fc: Capacidad de Infiltración.

I: Infiltración.

CC: Capacidad de Campo.

PM: Punto de Marchitez.

PR: Profundidad de Raíces.

(CC-PM): Rango de Agua Disponible.

DS: Densidad de Suelo.

C1: Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR

C2: Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR

Kp: Factor por pendiente (ver léame)

Kv: Factor por vegetación (ver léame)

Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración

P: Precipitación Media Mensual.

Pi: Precipitación que infiltra.

ESC: Escorrentía Superficial

ETP: Evapotranspiración Potencial.

ETR: Evapotranspiración Real.

HSi: Humedad de Suelo Inicial.

HD: Humedad Disponible

HSf: Humedad de Suelo Final.

DCC: Déficit de Capacidad de Campo.

Rp: Recarga Potencial

NR: Necesidad de Riego.

Ret: Retención de lluvia

fc [mm/d] **364.61**
Kp [0.01%] **0.06**
Kv [0.01%] **0.18**
Kfc [0.01%] **0.7958**
I [0.01%] = **1**
DS (g/cm³): **1.43**
PR (mm) **1500.00**
HSi (mm) **26.00**
N° de mes con que inicia HSi:1,2,3...12? **10**
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.1 **0.12**

por peso
(%) (mm)
CC **22.00** 471.90
PM **10.00** 214.50
(CC-PM) **12.00** 257.40

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
Ret [mm]	0.90	5.00	5.00	5.18	16.84	32.14	23.78	25.91	31.51	14.78	5.00	5.00	171.04
Pi (mm)	0.00	0.10	4.90	38.02	123.46	235.66	174.42	189.99	231.09	108.42	17.10	2.10	1125.26
ESC (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ETP (mm)	132.60	141.10	179.10	184.20	183.60	159.30	165.20	164.40	145.80	145.50	125.40	125.90	1852.10
HSi (mm)	222.63	219.52	217.58	218.86	237.40	293.70	401.58	430.40	461.07	26.00	214.50	225.30	
C1	0.03	0.02	0.03	0.16	0.57	1.00	1.00	1.00	1.00	-0.31	0.07	0.05	
C2	0.02	0.01	0.01	0.05	0.16	0.60	0.76	0.94	1.00	0.00	0.03	0.03	
HD (mm)	8.13	5.12	7.98	42.38	146.37	314.86	361.49	405.89	477.66	-80.08	17.10	12.90	
ETR (mm)	3.11	2.04	3.62	19.48	67.17	127.79	145.59	159.32	145.80	-80.08	6.30	4.77	604.89
HSf (mm)	219.52	217.58	218.86	237.40	293.70	401.58	430.40	461.07	471.90	214.50	225.30	222.63	
DCC (mm)	252.38	254.32	253.04	234.50	178.20	70.32	41.50	10.83	0.00	257.40	246.60	249.27	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	74.46	0.00	0.00	0.00	74.46
NR (mm)	381.87	393.38	428.52	399.22	294.63	101.84	61.11	15.91	0.00	482.98	365.70	370.40	3295.56

BALANCE HIDRICO DE SUELOS
Gunther Schosinsky

Zona de Estudio: **San Ignacio2(Bosque)**
Fecha: **8 de junio**

Textura de Suelo: **Franco-Limoso**

Simbología

fc: Capacidad de Infiltración.	P: Precipitación Media Mensual.
I: Infiltración.	Pi: Precipitación que infiltra.
CC: Capacidad de Campo.	ESC: Escorrentía Superficial
PM: Punto de Marchitez.	ETP: Evapotranspiración Potencial.
PR: Profundidad de Raíces.	ETR: Evapotranspiración Real.
(CC-PM): Rango de Agua Disponible.	HSi: Humedad de Suelo Inicial.
DS: Densidad de Suelo.	HD: Humedad Disponible
C1: Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR	HSf: Humedad de Suelo Final.
C2: Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR	DCC: Déficit de Capacidad de Campo.
Kp: Factor por pendiente (ver léame)	Rp: Recarga Potencial
Kv: Factor por vegetación (ver léame)	NR: Necesidad de Riego.
Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración	Ret: Retención de lluvia

fc [mm/d]	457.06
Kp [0.01%]	0.06
Kv [0.01%]	0.20
Kfc [0.01%]	0.8419
I [0.01%] =	1
DS (g/cm ³):	1.43
PR (mm)	2550.00
HSi (mm)	26.00
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	10
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.1	0.20

	por peso	
	(%)	(mm)
CC	22.00	802.23
PM	10.00	364.65
(CC-PM)	12.00	437.58

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
Ret [mm]	0.90	5.00	5.00	8.64	28.06	53.56	39.64	43.18	52.52	24.64	5.00	5.00	271.14
Pi (mm)	0.00	0.10	4.90	34.56	112.24	214.24	158.56	172.72	210.08	98.56	17.10	2.10	1025.16
ESC (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ETP (mm)	132.60	141.10	179.10	184.20	183.60	159.30	165.20	164.40	145.80	145.50	125.40	125.90	1852.10
HSi (mm)	375.96	373.05	370.85	372.14	392.72	458.44	580.95	624.71	665.37	26.00	364.65	377.55	
C1	0.03	0.02	0.03	0.10	0.32	0.70	0.86	0.99	1.00	-0.55	0.04	0.03	
C2	0.02	0.01	0.01	0.06	0.19	0.45	0.53	0.62	0.83	0.00	0.03	0.02	
HD (mm)	11.31	8.50	11.10	42.05	140.31	308.03	374.86	432.78	510.80	-240.09	17.10	15.00	
ETR (mm)	2.91	2.30	3.61	13.97	46.52	91.73	114.81	132.05	133.71	-240.09	4.20	3.70	309.41
HSf (mm)	373.05	370.85	372.14	392.72	458.44	580.95	624.71	665.37	741.75	364.65	377.55	375.96	
DCC (mm)	429.18	431.38	430.09	409.51	343.79	221.28	177.52	136.86	60.48	437.58	424.68	426.27	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
NR (mm)	558.87	570.18	605.58	579.73	480.87	288.85	227.92	169.20	72.58	823.17	545.88	548.48	5471.31

BALANCE HIDRICO DE SUELOS
Gunther Schosinsky

Zona de Estudio: **San Ignacio2(Pastos)**
Fecha: **8 de junio**

Textura de Suelo: **Franco-Limoso**

Simbología

- | | |
|--|-------------------------------------|
| fc: Capacidad de Infiltración. | P: Precipitación Media Mensual. |
| I: Infiltración. | Pi: Precipitación que infiltra. |
| CC: Capacidad de Campo. | ESC: Escorrentía Superficial |
| PM: Punto de Marchitez. | ETP: Evapotranspiración Potencial. |
| PR: Profundidad de Raíces. | ETR: Evapotranspiración Real. |
| (CC-PM): Rango de Agua Disponible. | HSi: Humedad de Suelo Inicial. |
| DS: Densidad de Suelo. | HD: Humedad Disponible |
| C1: Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR | HSf: Humedad de Suelo Final. |
| C2: Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR | DCC: Déficit de Capacidad de Campo. |
| Kp: Factor por pendiente (ver léame) | Rp: Recarga Potencial |
| Kv: Factor por vegetación (ver léame) | NR: Necesidad de Riego. |
| Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración | Ret: Retención de lluvia |

fc [mm/d]	457.06
Kp [0.01%]	0.06
Kv [0.01%]	0.21
Kfc [0.01%]	0.8419
I [0.01%] =	1
DS (g/cm ³):	1.43
PR (mm)	400.00
HSi (mm)	26.00
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	10
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.1	0.12

	por peso	
	(%)	(mm)
CC	22.00	125.84
PM	10.00	57.20
(CC-PM)	12.00	68.64

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
Ret [mm]	0.90	5.00	5.00	5.18	16.84	32.14	23.78	25.91	31.51	14.78	5.00	5.00	171.04
Pi (mm)	0.00	0.10	4.90	38.02	123.46	235.66	174.42	189.99	231.09	108.42	17.10	2.10	1125.26
ESC (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ETP (mm)	132.60	141.10	179.10	184.20	183.60	159.30	165.20	164.40	145.80	145.50	125.40	125.90	1852.10
HSi (mm)	57.53	57.21	57.20	57.20	57.20	88.86	125.84	125.84	125.84	26.00	61.67	59.07	
C1	0.00	0.00	0.07	0.55	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.31	0.06	
C2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	
HD (mm)	0.33	0.11	4.90	38.02	123.46	267.33	243.06	258.63	299.73	77.22	21.57	3.97	
ETR (mm)	0.32	0.11	4.90	38.02	91.80	159.30	165.20	164.40	145.80	72.75	19.70	3.64	865.93
HSf (mm)	57.21	57.20	57.20	57.20	88.86	125.84	125.84	125.84	125.84	61.67	59.07	57.53	
DCC (mm)	68.63	68.64	68.64	68.64	36.98	0.00	0.00	0.00	0.00	64.17	66.77	68.31	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	39.39	9.22	25.59	85.29	0.00	0.00	0.00	159.48
NR (mm)	200.91	209.63	242.84	214.82	128.78	0.00	0.00	0.00	0.00	136.92	172.47	190.57	1496.95

BALANCE HIDRICO DE SUELOS
Gunther Schosinsky

Zona de Estudio: **Citalá-Río(Cultivos)**
Fecha: **8 de junio**

Textura de Suelo: **Franco-Arenoso**

Simbología

- | | |
|--|-------------------------------------|
| fc: Capacidad de Infiltración. | P: Precipitación Media Mensual. |
| I: Infiltración. | Pi: Precipitación que infiltra. |
| CC: Capacidad de Campo. | ESC: Escorrentía Superficial |
| PM: Punto de Marchitez. | ETP: Evapotranspiración Potencial. |
| PR: Profundidad de Raíces. | ETR: Evapotranspiración Real. |
| (CC-PM): Rango de Agua Disponible. | HSi: Humedad de Suelo Inicial. |
| DS: Densidad de Suelo. | HD: Humedad Disponible |
| C1: Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR | HSf: Humedad de Suelo Final. |
| C2: Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR | DCC: Déficit de Capacidad de Campo. |
| Kp: Factor por pendiente (ver léame) | Rp: Recarga Potencial |
| Kv: Factor por vegetación (ver léame) | NR: Necesidad de Riego. |
| Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración | Ret: Retención de lluvia |

fc [mm/d]	481.25
Kp [0.01%]	0.06
Kv [0.01%]	0.18
Kfc [0.01%]	0.852
I [0.01%] =	1
DS (g/cm ³):	1.50
PR (mm)	1500.00
HSi (mm)	26.00
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	10
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.1	0.12

	por peso	(mm)
CC	14.00	315.00
PM	6.00	135.00
(CC-PM)	8.00	180.00

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
Ret [mm]	0.90	5.00	5.00	5.18	16.84	32.14	23.78	25.91	31.51	14.78	5.00	5.00	171.04
Pi (mm)	0.00	0.10	4.90	38.02	123.46	235.66	174.42	189.99	231.09	108.42	17.10	2.10	1125.26
ESC (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ETP (mm)	132.60	141.10	179.10	184.20	183.60	159.30	165.20	164.40	145.80	145.50	125.40	125.90	1852.10
HSi (mm)	141.23	138.33	136.80	138.35	155.20	205.40	296.47	309.96	315.00	26.00	135.00	144.34	
C1	0.03	0.02	0.04	0.23	0.80	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.10	0.06	
C2	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.82	0.95	1.00	1.00	0.00	0.03	0.02	
HD (mm)	6.23	3.43	6.70	41.36	143.66	306.06	335.88	364.95	411.09	-0.58	17.10	11.44	
ETR (mm)	2.90	1.64	3.35	21.16	73.27	144.59	160.93	164.40	145.80	-0.58	7.76	5.20	730.42
HSf (mm)	138.33	136.80	138.35	155.20	205.40	296.47	309.96	315.00	315.00	135.00	144.34	141.23	
DCC (mm)	176.67	178.20	176.65	159.80	109.60	18.53	5.04	0.00	0.00	180.00	170.66	173.77	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	20.55	85.29	0.00	0.00	0.00	105.84
NR (mm)	306.37	317.67	352.40	322.84	219.94	33.24	9.32	0.00	0.00	326.08	288.30	294.46	2470.61

BALANCE HIDRICO DE SUELOS
Gunther Schosinsky

Zona de Estudio: Citalá-Río(Pastos)

Fecha: 8 de junio

Textura de Suelo: Franco-Arenoso

Simbología

fc: Capacidad de Infiltración.

I: Infiltración.

CC: Capacidad de Campo.

PM: Punto de Marchitez.

PR: Profundidad de Raíces.

(CC-PM): Rango de Agua Disponible.

DS: Densidad de Suelo.

C1: Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR

C2: Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR

Kp: Factor por pendiente (ver léame)

Kv: Factor por vegetación (ver léame)

Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración

P: Precipitación Media Mensual.

Pi: Precipitación que infiltra.

ESC: Escorrentía Superficial

ETP: Evapotranspiración Potencial.

ETR: Evapotranspiración Real.

HSi: Humedad de Suelo Inicial.

HD: Humedad Disponible

HSf: Humedad de Suelo Final.

DCC: Déficit de Capacidad de Campo.

Rp: Recarga Potencial

NR: Necesidad de Riego.

Ret: Retención de lluvia

fc [mm/d] 481.25

Kp [0.01%] 0.06

Kv [0.01%] 0.21

Kfc [0.01%] 0.852

I [0.01%] = 1

DS (g/cm³): 1.50

PR (mm) 400.00

HSi (mm) 26.00

Nº de mes con que inicia HSi:1,2,3...12? 10

Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.1 0.12

por peso

(%) (mm)

CC 14.00 84.00

PM 6.00 36.00

(CC-PM) 8.00 48.00

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
Ret [mm]	0.90	5.00	5.00	5.18	16.84	32.14	23.78	25.91	31.51	14.78	5.00	5.00	171.04
Pi (mm)	0.00	0.10	4.90	38.02	123.46	235.66	174.42	189.99	231.09	108.42	17.10	2.10	1125.26
ESC (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ETP (mm)	132.60	141.10	179.10	184.20	183.60	159.30	165.20	164.40	145.80	145.50	125.40	125.90	1852.10
HSi (mm)	36.00	36.00	36.00	36.00	36.00	67.66	84.00	84.00	84.00	26.00	61.67	36.00	
C1	0.00	0.00	0.10	0.79	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.89	0.04	
C2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	
HD (mm)	0.00	0.10	4.90	38.02	123.46	267.33	222.42	237.99	279.09	98.42	42.77	2.10	
ETR (mm)	0.00	0.10	4.90	38.02	91.80	159.30	165.20	164.40	145.80	72.75	42.77	2.10	887.13
HSf (mm)	36.00	36.00	36.00	36.00	67.66	84.00	84.00	84.00	84.00	61.67	36.00	36.00	
DCC (mm)	48.00	48.00	48.00	48.00	16.34	0.00	0.00	0.00	0.00	22.33	48.00	48.00	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	60.03	9.22	25.59	85.29	0.00	0.00	0.00	180.12
NR (mm)	180.60	189.00	222.20	194.18	108.14	0.00	0.00	0.00	0.00	95.08	130.63	171.80	1291.64

BALANCE HIDRICO DE SUELOS
Gunther Schosinsky

Zona de Estudio: **Concepción-Zacamil(Cultivos)**
Fecha: **8 de junio**

Textura de Suelo: **Arcilloso**

Simbología

- | | |
|--|-------------------------------------|
| fc: Capacidad de Infiltración. | P: Precipitación Media Mensual. |
| I: Infiltración. | Pi: Precipitación que infiltra. |
| CC: Capacidad de Campo. | ESC: Escorrentía Superficial |
| PM: Punto de Marchitez. | ETP: Evapotranspiración Potencial. |
| PR: Profundidad de Raíces. | ETR: Evapotranspiración Real. |
| (CC-PM): Rango de Agua Disponible. | HSi: Humedad de Suelo Inicial. |
| DS: Densidad de Suelo. | HD: Humedad Disponible |
| C1: Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR | HSf: Humedad de Suelo Final. |
| C2: Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR | DCC: Déficit de Capacidad de Campo. |
| Kp: Factor por pendiente (ver léame) | Rp: Recarga Potencial |
| Kv: Factor por vegetación (ver léame) | NR: Necesidad de Riego. |
| Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración | Ret: Retención de lluvia |

fc [mm/d]	36.63
Kp [0.01%]	0.06
Kv [0.01%]	0.10
Kfc [0.01%]	0.2328
I [0.01%] =	0.3928
DS (g/cm ³):	1.25
PR (mm)	150.00
HSi (mm)	26.00
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	10
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.1	0.12

	por peso (%)	(mm)
CC	35.00	65.63
PM	17.00	31.88
(CC-PM)	18.00	33.75

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
Ret [mm]	0.90	5.00	5.00	5.18	16.84	32.14	23.78	25.91	31.51	14.78	5.00	5.00	171.04
Pi (mm)	0.00	0.04	1.92	14.93	48.50	92.57	68.51	74.63	90.78	42.59	6.72	0.82	442.02
ESC (mm)	0.00	0.06	2.98	23.08	74.97	143.09	105.90	115.36	140.31	65.83	10.38	1.28	683.24
ETP (mm)	132.60	141.10	179.10	184.20	183.60	159.30	165.20	164.40	145.80	145.50	125.40	125.90	1852.10
HSi (mm)	31.88	31.88	31.88	31.88	31.88	31.88	44.80	31.88	31.88	26.00	31.88	31.88	
C1	0.00	0.00	0.06	0.44	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.20	0.02	
C2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
HD (mm)	0.00	0.04	1.92	14.93	48.50	92.57	81.44	74.63	90.78	36.71	6.72	0.82	
ETR (mm)	0.00	0.04	1.92	14.93	48.50	79.65	81.44	74.63	72.90	36.71	6.72	0.82	418.27
HSf (mm)	31.88	31.88	31.88	31.88	31.88	44.80	31.88	31.88	49.75	31.88	31.88	31.88	
DCC (mm)	33.75	33.75	33.75	33.75	33.75	20.83	33.75	33.75	15.87	33.75	33.75	33.75	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
NR (mm)	166.35	174.81	210.93	203.02	168.85	100.48	117.51	123.52	88.77	142.54	152.43	158.83	1808.03

BALANCE HIDRICO DE SUELOS
Gunther Schosinsky

Zona de Estudio: **Concepción-Zacamil(Pastos)**
Fecha: **8 de junio**

Textura de Suelo: **Arcilloso**

Simbología

- | | |
|--|-------------------------------------|
| fc: Capacidad de Infiltración. | P: Precipitación Media Mensual. |
| I: Infiltración. | Pi: Precipitación que infiltra. |
| CC: Capacidad de Campo. | ESC: Escorrentía Superficial |
| PM: Punto de Marchitez. | ETP: Evapotranspiración Potencial. |
| PR: Profundidad de Raíces. | ETR: Evapotranspiración Real. |
| (CC-PM): Rango de Agua Disponible. | HSi: Humedad de Suelo Inicial. |
| DS: Densidad de Suelo. | HD: Humedad Disponible |
| C1: Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR | HSf: Humedad de Suelo Final. |
| C2: Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR | DCC: Déficit de Capacidad de Campo. |
| Kp: Factor por pendiente (ver léame) | Rp: Recarga Potencial |
| Kv: Factor por vegetación (ver léame) | NR: Necesidad de Riego. |
| Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración | Ret: Retención de lluvia |

fc [mm/d]	36.63
Kp [0.01%]	0.06
Kv [0.01%]	0.18
Kfc [0.01%]	0.2328
I [0.01%] =	0.4728
DS (g/cm ³):	1.25
PR (mm)	400.00
HSi (mm)	26.00
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	10
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.1	0.12

por peso	
(%)	(mm)
CC	35.00 175.00
PM	17.00 85.00
(CC-PM)	18.00 90.00

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
Ret [mm]	0.90	5.00	5.00	5.18	16.84	32.14	23.78	25.91	31.51	14.78	5.00	5.00	171.04
Pi (mm)	0.00	0.05	2.32	17.97	58.38	111.43	82.47	89.83	109.26	51.26	8.09	0.99	532.04
ESC (mm)	0.00	0.05	2.58	20.04	65.09	124.24	91.95	100.16	121.83	57.16	9.01	1.11	593.22
ETP (mm)	132.60	141.10	179.10	184.20	183.60	159.30	165.20	164.40	145.80	145.50	125.40	125.90	1852.10
HSi (mm)	86.04	85.27	85.07	85.01	85.00	85.00	116.78	116.64	124.27	26.00	85.00	87.45	
C1	0.01	0.00	0.03	0.20	0.65	1.00	1.00	1.00	1.00	-0.09	0.09	0.04	
C2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.05	0.00	0.00	
HD (mm)	1.04	0.32	2.39	17.99	58.38	111.43	114.24	121.47	148.54	-7.74	8.09	3.45	
ETR (mm)	0.76	0.25	2.37	17.99	58.38	79.65	82.60	82.20	75.12	-7.74	5.63	2.41	399.62
HSf (mm)	85.27	85.07	85.01	85.00	85.00	116.78	116.64	124.27	158.42	85.00	87.45	86.04	
DCC (mm)	89.73	89.93	89.99	90.00	90.00	58.22	58.36	50.73	16.58	90.00	87.55	88.96	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
NR (mm)	221.56	230.78	266.71	256.21	215.22	137.87	140.96	132.93	87.26	243.24	207.31	212.45	2352.53

BALANCE HIDRICO DE SUELOS
Gunther Schosinsky

Zona de Estudio: **Concepción-Centro(Cultivos)**
Fecha: **8 de junio**

Textura de Suelo: **Franco-Arcilloso**

Simbología

fc: Capacidad de Infiltración.	P: Precipitación Media Mensual.
I: Infiltración.	Pi: Precipitación que infiltra.
CC: Capacidad de Campo.	ESC: Escorrentía Superficial
PM: Punto de Marchitez.	ETP: Evapotranspiración Potencial.
PR: Profundidad de Raíces.	ETR: Evapotranspiración Real.
(CC-PM): Rango de Agua Disponible.	HSi: Humedad de Suelo Inicial.
DS: Densidad de Suelo.	HD: Humedad Disponible
C1: Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR	HSf: Humedad de Suelo Final.
C2: Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR	DCC: Déficit de Capacidad de Campo.
Kp: Factor por pendiente (ver léame)	Rp: Recarga Potencial
Kv: Factor por vegetación (ver léame)	NR: Necesidad de Riego.
Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración	Ret: Retención de lluvia

fc [mm/d]	164.16
Kp [0.01%]	0.06
Kv [0.01%]	0.10
Kfc [0.01%]	0.6136
I [0.01%] =	0.7736
DS (g/cm ³):	1.35
PR (mm)	500.00
HSi (mm)	26.00
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	10
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.1	0.12

	por peso	
	(%)	(mm)
CC	27.00	182.25
PM	13.00	87.75
(CC-PM)	14.00	94.50

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
Ret [mm]	0.90	5.00	5.00	5.18	16.84	32.14	23.78	25.91	31.51	14.78	5.00	5.00	171.04
Pi (mm)	0.00	0.08	3.79	29.41	95.52	182.32	134.94	146.99	178.78	83.88	13.23	1.62	870.55
ESC (mm)	0.00	0.02	1.11	8.61	27.95	53.34	39.48	43.01	52.31	24.54	3.87	0.48	254.71
ETP (mm)	132.60	141.10	179.10	184.20	183.60	159.30	165.20	164.40	145.80	145.50	125.40	125.90	1852.10
HSi (mm)	90.35	88.53	87.97	87.96	88.50	92.22	171.72	177.11	179.31	26.00	92.84	93.92	
C1	0.03	0.01	0.04	0.31	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.23	0.19	0.08	
C2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.29	0.57	0.76	1.00	0.00	0.00	0.00	
HD (mm)	2.60	0.85	4.01	29.62	96.27	186.79	218.91	236.35	270.34	22.13	18.32	7.79	
ETR (mm)	1.82	0.64	3.80	28.87	91.80	102.82	129.54	144.78	145.80	17.03	12.16	5.19	684.25
HSf (mm)	88.53	87.97	87.96	88.50	92.22	171.72	177.11	179.31	182.25	92.84	93.92	90.35	
DCC (mm)	93.72	94.28	94.29	93.75	90.03	10.53	5.14	2.94	0.00	89.41	88.33	91.90	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	30.04	0.00	0.00	0.00	30.04
NR (mm)	224.50	234.75	269.59	249.08	181.83	67.01	40.79	22.55	0.00	217.87	201.58	212.61	1922.17

BALANCE HIDRICO DE SUELOS
Gunther Schosinsky

Zona de Estudio: **Concepción-Centro(Pastos)**
Fecha: **8 de junio**

Textura de Suelo: **Franco-Arcilloso**

Simbología

- | | |
|--|-------------------------------------|
| fc: Capacidad de Infiltración. | P: Precipitación Media Mensual. |
| I: Infiltración. | Pi: Precipitación que infiltra. |
| CC: Capacidad de Campo. | ESC: Escorrentía Superficial |
| PM: Punto de Marchitez. | ETP: Evapotranspiración Potencial. |
| PR: Profundidad de Raíces. | ETR: Evapotranspiración Real. |
| (CC-PM): Rango de Agua Disponible. | HSi: Humedad de Suelo Inicial. |
| DS: Densidad de Suelo. | HD: Humedad Disponible |
| C1: Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR | HSf: Humedad de Suelo Final. |
| C2: Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR | DCC: Déficit de Capacidad de Campo. |
| Kp: Factor por pendiente (ver léame) | Rp: Recarga Potencial |
| Kv: Factor por vegetación (ver léame) | NR: Necesidad de Riego. |
| Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración | Ret: Retención de lluvia |

fc [mm/d]	164.16
Kp [0.01%]	0.06
Kv [0.01%]	0.18
Kfc [0.01%]	0.6136
I [0.01%] =	0.8536
DS (g/cm ³):	1.35
PR (mm)	400.00
HSi (mm)	26.00
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	10
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.1	0.12

por peso	
(%)	(mm)
CC	27.00 145.80
PM	13.00 70.20
(CC-PM)	14.00 75.60

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
Ret [mm]	0.90	5.00	5.00	5.18	16.84	32.14	23.78	25.91	31.51	14.78	5.00	5.00	171.04
Pi (mm)	0.00	0.09	4.18	32.45	105.39	201.17	148.89	162.19	197.27	92.55	14.60	1.79	960.57
ESC (mm)	0.00	0.01	0.72	5.56	18.07	34.49	25.53	27.81	33.82	15.87	2.50	0.31	164.69
ETP (mm)	132.60	141.10	179.10	184.20	183.60	159.30	165.20	164.40	145.80	145.50	125.40	125.90	1852.10
HSi (mm)	70.97	70.29	70.21	70.20	70.20	83.79	145.80	145.80	145.80	26.00	72.02	73.00	
C1	0.01	0.00	0.06	0.43	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.64	0.22	0.06	
C2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.73	0.78	0.97	1.00	0.00	0.00	0.00	
HD (mm)	0.77	0.18	4.19	32.45	105.39	214.77	224.49	237.79	272.87	48.35	16.42	4.59	
ETR (mm)	0.67	0.17	4.19	32.45	91.80	138.09	147.38	161.99	145.80	46.53	13.62	3.83	786.52
HSf (mm)	70.29	70.21	70.20	70.20	83.79	145.80	145.80	145.80	145.80	72.02	73.00	70.97	
DCC (mm)	75.51	75.59	75.60	75.60	62.01	0.00	0.00	0.00	0.00	73.78	72.80	74.83	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.08	1.51	0.19	51.47	0.00	0.00	0.00	54.25
NR (mm)	207.43	216.52	250.51	227.35	153.81	21.21	17.82	2.41	0.00	172.75	184.58	196.91	1651.29

BALANCE HIDRICO DE SUELOS
Gunther Schosinsky

Zona de Estudio: **Santa Fe(Bosque)**
Fecha: **8 de junio**

Textura de Suelo: **Franco-Limoso**

Simbología

fc: Capacidad de Infiltración.

I: Infiltración.

CC: Capacidad de Campo.

PM: Punto de Marchitez.

PR: Profundidad de Raíces.

(CC-PM): Rango de Agua Disponible.

DS: Densidad de Suelo.

C1: Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR

C2: Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR

Kp: Factor por pendiente (ver léame)

Kv: Factor por vegetación (ver léame)

Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración

P: Precipitación Media Mensual.

Pi: Precipitación que infiltra.

ESC: Escorrentía Superficial

ETP: Evapotranspiración Potencial.

ETR: Evapotranspiración Real.

HSi: Humedad de Suelo Inicial.

HD: Humedad Disponible

HSf: Humedad de Suelo Final.

DCC: Déficit de Capacidad de Campo.

Rp: Recarga Potencial

NR: Necesidad de Riego.

Ret: Retención de lluvia

fc [mm/d]

Kp [0.01%]

Kv [0.01%]

Kfc [0.01%]

I [0.01%] =

DS (g/cm³):

PR (mm)

HSi (mm)

Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?

Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.1

421.63

0.06

0.20

0.8259

1

1.43

2550.00

26.00

10

0.20

por peso

(%) (mm)

CC 22.00 802.23

PM 10.00 364.65

(CC-PM) 12.00 437.58

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
Ret [mm]	0.90	5.00	5.00	8.64	28.06	53.56	39.64	43.18	52.52	24.64	5.00	5.00	271.14
Pi (mm)	0.00	0.10	4.90	34.56	112.24	214.24	158.56	172.72	210.08	98.56	17.10	2.10	1025.16
ESC (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ETP (mm)	132.60	141.10	179.10	184.20	183.60	159.30	165.20	164.40	145.80	145.50	125.40	125.90	1852.10
HSi (mm)	375.96	373.05	370.85	372.14	392.72	458.44	580.95	624.71	665.37	26.00	364.65	377.55	
C1	0.03	0.02	0.03	0.10	0.32	0.70	0.86	0.99	1.00	-0.55	0.04	0.03	
C2	0.02	0.01	0.01	0.06	0.19	0.45	0.53	0.62	0.83	0.00	0.03	0.02	
HD (mm)	11.31	8.50	11.10	42.05	140.31	308.03	374.86	432.78	510.80	-240.09	17.10	15.00	
ETR (mm)	2.91	2.30	3.61	13.97	46.52	91.73	114.81	132.05	133.71	-240.09	4.20	3.70	309.41
HSf (mm)	373.05	370.85	372.14	392.72	458.44	580.95	624.71	665.37	741.75	364.65	377.55	375.96	
DCC (mm)	429.18	431.38	430.09	409.51	343.79	221.28	177.52	136.86	60.48	437.58	424.68	426.27	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
NR (mm)	558.87	570.18	605.58	579.73	480.87	288.85	227.92	169.20	72.58	823.17	545.88	548.48	5471.31

BALANCE HIDRICO DE SUELOS
Gunther Schosinsky

Zona de Estudio: **Santa Fe(Cultivos)**
Fecha: **8 de junio**

Textura de Suelo: **Franco-Limoso**

Simbología

fc: Capacidad de Infiltración.	P: Precipitación Media Mensual.
I: Infiltración.	Pi: Precipitación que infiltra.
CC: Capacidad de Campo.	ESC: Escorrentía Superficial
PM: Punto de Marchitez.	ETP: Evapotranspiración Potencial.
PR: Profundidad de Raíces.	ETR: Evapotranspiración Real.
(CC-PM): Rango de Agua Disponible.	HSi: Humedad de Suelo Inicial.
DS: Densidad de Suelo.	HD: Humedad Disponible
C1: Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR	HSf: Humedad de Suelo Final.
C2: Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR	DCC: Déficit de Capacidad de Campo.
Kp: Factor por pendiente (ver léame)	Rp: Recarga Potencial
Kv: Factor por vegetación (ver léame)	NR: Necesidad de Riego.
Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración	Ret: Retención de lluvia

fc [mm/d]	421.63
Kp [0.01%]	0.06
Kv [0.01%]	0.10
Kfc [0.01%]	0.8259
I [0.01%] =	0.9859
DS (g/cm ³):	1.43
PR (mm)	500.00
HSi (mm)	26.00
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	10
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.1	0.12

	por peso	
	(%)	(mm)
CC	22.00	157.30
PM	10.00	71.50
(CC-PM)	12.00	85.80

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
Ret [mm]	0.90	5.00	5.00	5.18	16.84	32.14	23.78	25.91	31.51	14.78	5.00	5.00	171.04
Pi (mm)	0.00	0.10	4.83	37.48	121.72	232.33	171.95	187.30	227.82	106.88	16.86	2.07	1109.34
ESC (mm)	0.00	0.00	0.07	0.54	1.75	3.33	2.47	2.69	3.27	1.53	0.24	0.03	15.92
ETP (mm)	132.60	141.10	179.10	184.20	183.60	159.30	165.20	164.40	145.80	145.50	125.40	125.90	1852.10
HSi (mm)	73.93	72.05	71.62	71.50	71.50	101.42	157.30	157.30	157.30	26.00	80.84	78.55	
C1	0.03	0.01	0.06	0.44	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.72	0.31	0.11	
C2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	
HD (mm)	2.43	0.65	4.95	37.48	121.72	262.25	257.75	273.10	313.62	61.38	26.19	9.12	
ETR (mm)	1.88	0.54	4.95	37.48	91.80	159.30	165.20	164.40	145.80	52.05	19.14	6.69	849.22
HSf (mm)	72.05	71.62	71.50	71.50	101.42	157.30	157.30	157.30	157.30	80.84	78.55	73.93	
DCC (mm)	85.25	85.68	85.80	85.80	55.88	0.00	0.00	0.00	0.00	76.46	78.75	83.37	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	17.15	6.75	22.90	82.02	0.00	0.00	0.00	128.82
NR (mm)	215.97	226.25	259.95	232.52	147.68	0.00	0.00	0.00	0.00	169.92	185.01	202.58	1639.88

BALANCE HIDRICO DE SUELOS
Gunther Schosinsky

Zona de Estudio: **Santa Fe(Pastos)**
Fecha: **8 de junio**

Textura de Suelo: **Franco-Limoso**

Simbología

- | | |
|--|-------------------------------------|
| fc: Capacidad de Infiltración. | P: Precipitación Media Mensual. |
| I: Infiltración. | Pi: Precipitación que infiltra. |
| CC: Capacidad de Campo. | ESC: Escorrentía Superficial |
| PM: Punto de Marchitez. | ETP: Evapotranspiración Potencial. |
| PR: Profundidad de Raíces. | ETR: Evapotranspiración Real. |
| (CC-PM): Rango de Agua Disponible. | HSi: Humedad de Suelo Inicial. |
| DS: Densidad de Suelo. | HD: Humedad Disponible |
| C1: Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR | HSf: Humedad de Suelo Final. |
| C2: Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR | DCC: Déficit de Capacidad de Campo. |
| Kp: Factor por pendiente (ver léame) | Rp: Recarga Potencial |
| Kv: Factor por vegetación (ver léame) | NR: Necesidad de Riego. |
| Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración | Ret: Retención de lluvia |

fc [mm/d]	421.63
Kp [0.01%]	0.06
Kv [0.01%]	0.21
Kfc [0.01%]	0.8259
I [0.01%] =	1
DS (g/cm ³):	1.43
PR (mm)	400.00
HSi (mm)	26.00
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	10
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.1	0.12

por peso	
(%)	(mm)
CC	22.00 125.84
PM	10.00 57.20
(CC-PM)	12.00 68.64

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
Ret [mm]	0.90	5.00	5.00	5.18	16.84	32.14	23.78	25.91	31.51	14.78	5.00	5.00	171.04
Pi (mm)	0.00	0.10	4.90	38.02	123.46	235.66	174.42	189.99	231.09	108.42	17.10	2.10	1125.26
ESC (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ETP (mm)	132.60	141.10	179.10	184.20	183.60	159.30	165.20	164.40	145.80	145.50	125.40	125.90	1852.10
HSi (mm)	57.53	57.21	57.20	57.20	57.20	88.86	125.84	125.84	125.84	26.00	61.67	59.07	
C1	0.00	0.00	0.07	0.55	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.31	0.06	
C2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	
HD (mm)	0.33	0.11	4.90	38.02	123.46	267.33	243.06	258.63	299.73	77.22	21.57	3.97	
ETR (mm)	0.32	0.11	4.90	38.02	91.80	159.30	165.20	164.40	145.80	72.75	19.70	3.64	865.93
HSf (mm)	57.21	57.20	57.20	57.20	88.86	125.84	125.84	125.84	125.84	61.67	59.07	57.53	
DCC (mm)	68.63	68.64	68.64	68.64	36.98	0.00	0.00	0.00	0.00	64.17	66.77	68.31	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	39.39	9.22	25.59	85.29	0.00	0.00	0.00	159.48
NR (mm)	200.91	209.63	242.84	214.82	128.78	0.00	0.00	0.00	0.00	136.92	172.47	190.57	1496.95

BALANCE HIDRICO DE SUELOS
Gunther Schosinsky

Zona de Estudio: **Concepción-Botadero(Bosque)**
Fecha: **8 de junio**

Textura de Suelo: **Franco-Arcilloso**

Simbología

- | | |
|--|-------------------------------------|
| fc: Capacidad de Infiltración. | P: Precipitación Media Mensual. |
| I: Infiltración. | Pi: Precipitación que infiltra. |
| CC: Capacidad de Campo. | ESC: Escorrentía Superficial |
| PM: Punto de Marchitez. | ETP: Evapotranspiración Potencial. |
| PR: Profundidad de Raíces. | ETR: Evapotranspiración Real. |
| (CC-PM): Rango de Agua Disponible. | HSi: Humedad de Suelo Inicial. |
| DS: Densidad de Suelo. | HD: Humedad Disponible |
| C1: Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR | HSf: Humedad de Suelo Final. |
| C2: Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR | DCC: Déficit de Capacidad de Campo. |
| Kp: Factor por pendiente (ver léame) | Rp: Recarga Potencial |
| Kv: Factor por vegetación (ver léame) | NR: Necesidad de Riego. |
| Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración | Ret: Retención de lluvia |

fc [mm/d]	206.50
Kp [0.01%]	0.06
Kv [0.01%]	0.20
Kfc [0.01%]	0.6684
I [0.01%] =	0.9284
DS (g/cm ³):	1.35
PR (mm)	2550.00
HSi (mm)	26.00
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	10
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.1	0.20

	por peso	(mm)
	(%)	
CC	27.00	929.48
PM	13.00	447.53
(CC-PM)	14.00	481.95

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
Ret [mm]	0.90	5.00	5.00	8.64	28.06	53.56	39.64	43.18	52.52	24.64	5.00	5.00	271.14
Pi (mm)	0.00	0.09	4.55	32.08	104.20	198.90	147.20	160.35	195.04	91.50	15.88	1.95	951.74
ESC (mm)	0.00	0.01	0.35	2.48	8.04	15.34	11.36	12.37	15.04	7.06	1.22	0.15	73.42
ETP (mm)	132.60	141.10	179.10	184.20	183.60	159.30	165.20	164.40	145.80	145.50	125.40	125.90	1852.10
HSi (mm)	458.52	455.91	453.89	455.14	474.95	538.56	657.46	703.23	745.86	26.00	447.53	459.81	
C1	0.02	0.02	0.02	0.08	0.27	0.60	0.74	0.86	1.00	-0.68	0.03	0.03	
C2	0.02	0.01	0.01	0.05	0.17	0.40	0.49	0.57	0.72	0.00	0.02	0.02	
HD (mm)	11.00	8.48	10.91	39.70	131.62	289.93	357.14	416.05	493.37	-330.02	15.88	14.23	
ETR (mm)	2.61	2.12	3.30	12.27	40.59	79.99	101.44	117.72	125.47	-330.02	3.59	3.23	162.32
HSf (mm)	455.91	453.89	455.14	474.95	538.56	657.46	703.23	745.86	815.42	447.53	459.81	458.52	
DCC (mm)	473.56	475.59	474.34	454.53	390.92	272.01	226.25	183.61	114.05	481.95	469.67	470.95	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
NR (mm)	603.55	614.57	650.14	626.45	533.93	351.32	290.01	230.30	134.38	957.47	591.47	593.62	6177.20

BALANCE HIDRICO DE SUELOS
Gunther Schosinsky

Zona de Estudio: **Concepción-Botadero(Cultivos)**
Fecha: **8 de junio**

Textura de Suelo: **Franco-Arcilloso**

Simbología

- | | |
|--|-------------------------------------|
| fc: Capacidad de Infiltración. | P: Precipitación Media Mensual. |
| I: Infiltración. | Pi: Precipitación que infiltra. |
| CC: Capacidad de Campo. | ESC: Escorrentía Superficial |
| PM: Punto de Marchitez. | ETP: Evapotranspiración Potencial. |
| PR: Profundidad de Raíces. | ETR: Evapotranspiración Real. |
| (CC-PM): Rango de Agua Disponible. | HSi: Humedad de Suelo Inicial. |
| DS: Densidad de Suelo. | HD: Humedad Disponible |
| C1: Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR | HSf: Humedad de Suelo Final. |
| C2: Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR | DCC: Déficit de Capacidad de Campo. |
| Kp: Factor por pendiente (ver léame) | Rp: Recarga Potencial |
| Kv: Factor por vegetación (ver léame) | NR: Necesidad de Riego. |
| Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración | Ret: Retención de lluvia |

fc [mm/d]	206.50
Kp [0.01%]	0.10
Kv [0.01%]	0.10
Kfc [0.01%]	0.6684
I [0.01%] =	0.8684
DS (g/cm ³):	1.35
PR (mm)	500.00
HSi (mm)	26.00
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	10
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.1	0.12

por peso	
(%)	(mm)
CC	27.00 182.25
PM	13.00 87.75
(CC-PM)	14.00 94.50

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
Ret [mm]	0.90	5.00	5.00	5.18	16.84	32.14	23.78	25.91	31.51	14.78	5.00	5.00	171.04
Pi (mm)	0.00	0.09	4.26	33.01	107.21	204.65	151.46	164.99	200.67	94.15	14.85	1.82	977.16
ESC (mm)	0.00	0.01	0.64	5.00	16.25	31.02	22.96	25.01	30.41	14.27	2.25	0.28	148.10
ETP (mm)	132.60	141.10	179.10	184.20	183.60	159.30	165.20	164.40	145.80	145.50	125.40	125.90	1852.10
HSi (mm)	90.86	88.68	88.01	87.99	88.59	104.01	177.08	179.87	182.02	26.00	95.21	95.26	
C1	0.03	0.01	0.05	0.35	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.34	0.24	0.10	
C2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.65	0.80	0.98	1.00	0.00	0.00	0.00	
HD (mm)	3.11	1.02	4.51	33.25	108.06	220.91	240.79	257.11	294.94	32.40	22.31	9.33	
ETR (mm)	2.19	0.76	4.28	32.40	91.80	131.57	148.67	162.84	145.80	24.94	14.80	6.21	766.27
HSf (mm)	88.68	88.01	87.99	88.59	104.01	177.08	179.87	182.02	182.25	95.21	95.26	90.86	
DCC (mm)	93.57	94.24	94.26	93.66	78.24	5.17	2.38	0.23	0.00	87.04	86.99	91.39	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	54.64	0.00	0.00	0.00	54.64
NR (mm)	223.99	234.58	269.09	245.45	170.04	32.89	18.91	1.79	0.00	207.60	197.59	211.07	1813.01

BALANCE HIDRICO DE SUELOS
Gunther Schosinsky

Zona de Estudio: **Concepción-Botadero(Pastos)**
Fecha: **8 de junio**

Textura de Suelo: **Franco-Arcilloso**

Simbología

fc: Capacidad de Infiltración.
I: Infiltración.

CC: Capacidad de Campo.

PM: Punto de Marchitez.

PR: Profundidad de Raíces.

(CC-PM): Rango de Agua Disponible.

DS: Densidad de Suelo.

C1: Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR

C2: Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR

Kp: Factor por pendiente (ver léame)

Kv: Factor por vegetación (ver léame)

Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración

P: Precipitación Media Mensual.

Pi: Precipitación que infiltra.

ESC: Escorrentía Superficial

ETP: Evapotranspiración Potencial.

ETR: Evapotranspiración Real.

HSi: Humedad de Suelo Inicial.

HD: Humedad Disponible

HSf: Humedad de Suelo Final.

DCC: Déficit de Capacidad de Campo.

Rp: Recarga Potencial

NR: Necesidad de Riego.

Ret: Retención de lluvia

fc [mm/d] **206.50**
Kp [0.01%] **0.06**
Kv [0.01%] **0.18**
Kfc [0.01%] **0.6684**
I [0.01%] = **0.9084**
DS (g/cm³): **1.35**
PR (mm) **400.00**
HSi (mm) **26.00**
N° de mes con que inicia HSi:1,2,3...12? **10**
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.1 **0.12**

por peso
(%) (mm)
CC **27.00** 145.80
PM **13.00** 70.20
(CC-PM) **14.00** 75.60

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
Ret [mm]	0.90	5.00	5.00	5.18	16.84	32.14	23.78	25.91	31.51	14.78	5.00	5.00	171.04
Pi (mm)	0.00	0.09	4.45	34.53	112.15	214.07	158.44	172.59	209.92	98.48	15.53	1.91	1022.17
ESC (mm)	0.00	0.01	0.45	3.48	11.31	21.59	15.98	17.41	21.17	9.93	1.57	0.19	103.09
ETP (mm)	132.60	141.10	179.10	184.20	183.60	159.30	165.20	164.40	145.80	145.50	125.40	125.90	1852.10
HSi (mm)	71.02	70.30	70.21	70.20	70.20	90.55	145.80	145.80	145.80	26.00	72.25	73.20	
C1	0.01	0.00	0.06	0.46	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.72	0.23	0.06	
C2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.99	0.91	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	
HD (mm)	0.82	0.19	4.46	34.53	112.15	234.43	234.04	248.19	285.52	54.28	17.58	4.91	
ETR (mm)	0.72	0.18	4.46	34.53	91.80	158.80	157.81	164.40	145.80	52.24	14.58	4.09	829.41
HSf (mm)	70.30	70.21	70.20	70.20	90.55	145.80	145.80	145.80	145.80	72.25	73.20	71.02	
DCC (mm)	75.50	75.59	75.60	75.60	55.25	0.00	0.00	0.00	0.00	73.55	72.60	74.78	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.63	8.19	64.12	0.00	0.00	0.00	72.95
NR (mm)	207.38	216.51	250.24	225.27	147.05	0.50	7.39	0.00	0.00	166.82	183.42	196.59	1601.16

BALANCE HIDRICO DE SUELOS
Gunther Schosinsky

Zona de Estudio: **Sinuapa_Centro(Bosque)**
Fecha: **8 de junio**

Textura de Suelo: **Franco-Arcilloso**

Simbología

- | | |
|--|-------------------------------------|
| fc: Capacidad de Infiltración. | P: Precipitación Media Mensual. |
| I: Infiltración. | Pi: Precipitación que infiltra. |
| CC: Capacidad de Campo. | ESC: Escorrentía Superficial |
| PM: Punto de Marchitez. | ETP: Evapotranspiración Potencial. |
| PR: Profundidad de Raíces. | ETR: Evapotranspiración Real. |
| (CC-PM): Rango de Agua Disponible. | HSi: Humedad de Suelo Inicial. |
| DS: Densidad de Suelo. | HD: Humedad Disponible |
| C1: Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR | HSf: Humedad de Suelo Final. |
| C2: Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR | DCC: Déficit de Capacidad de Campo. |
| Kp: Factor por pendiente (ver léame) | Rp: Recarga Potencial |
| Kv: Factor por vegetación (ver léame) | NR: Necesidad de Riego. |
| Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración | Ret: Retención de lluvia |

fc [mm/d]	167.62
Kp [0.01%]	0.06
Kv [0.01%]	0.20
Kfc [0.01%]	0.6187
I [0.01%] =	0.8787
DS (g/cm ³):	1.35
PR (mm)	2550.00
HSi (mm)	26.00
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	10
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.1	0.20

	por peso	(mm)
	(%)	
CC	27.00	929.48
PM	13.00	447.53
(CC-PM)	14.00	481.95

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
Ret [mm]	0.90	5.00	5.00	8.64	28.06	53.56	39.64	43.18	52.52	24.64	5.00	5.00	271.14
Pi (mm)	0.00	0.09	4.31	30.37	98.62	188.25	139.32	151.76	184.59	86.60	15.03	1.85	900.78
ESC (mm)	0.00	0.01	0.59	4.19	13.62	25.99	19.24	20.96	25.49	11.96	2.07	0.25	124.38
ETP (mm)	132.60	141.10	179.10	184.20	183.60	159.30	165.20	164.40	145.80	145.50	125.40	125.90	1852.10
HSi (mm)	457.94	455.47	453.55	454.73	473.48	533.68	646.22	689.54	729.89	26.00	447.53	459.15	
C1	0.02	0.02	0.02	0.08	0.26	0.57	0.70	0.82	0.97	-0.69	0.03	0.03	
C2	0.02	0.01	0.01	0.05	0.16	0.38	0.46	0.54	0.68	0.00	0.02	0.02	
HD (mm)	10.41	8.03	10.33	37.57	124.58	274.41	338.02	393.78	466.96	-334.92	15.03	13.47	
ETR (mm)	2.47	2.01	3.12	11.62	38.42	75.71	96.01	111.41	119.90	-334.92	3.40	3.06	132.20
HSf (mm)	455.47	453.55	454.73	473.48	533.68	646.22	689.54	729.89	794.58	447.53	459.15	457.94	
DCC (mm)	474.01	475.93	474.75	456.00	395.79	283.25	239.94	199.59	134.89	481.95	470.33	471.54	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
NR (mm)	604.14	615.02	650.72	628.58	540.97	366.84	309.13	252.57	160.79	962.37	592.32	594.38	6277.86

BALANCE HIDRICO DE SUELOS
Gunther Schosinsky

Zona de Estudio: **Sinuapa_Centro(Cultivos)**
Fecha: **8 de junio**

Textura de Suelo: **Franco-Arcilloso**

Simbología

- | | |
|--|-------------------------------------|
| fc: Capacidad de Infiltración. | P: Precipitación Media Mensual. |
| I: Infiltración. | Pi: Precipitación que infiltra. |
| CC: Capacidad de Campo. | ESC: Escorrentía Superficial |
| PM: Punto de Marchitez. | ETP: Evapotranspiración Potencial. |
| PR: Profundidad de Raíces. | ETR: Evapotranspiración Real. |
| (CC-PM): Rango de Agua Disponible. | HSi: Humedad de Suelo Inicial. |
| DS: Densidad de Suelo. | HD: Humedad Disponible |
| C1: Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR | HSf: Humedad de Suelo Final. |
| C2: Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR | DCC: Déficit de Capacidad de Campo. |
| Kp: Factor por pendiente (ver léame) | Rp: Recarga Potencial |
| Kv: Factor por vegetación (ver léame) | NR: Necesidad de Riego. |
| Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración | Ret: Retención de lluvia |

fc [mm/d] 167.62
 Kp [0.01%] 0.10
 Kv [0.01%] 0.10
 Kfc [0.01%] 0.6187
 I [0.01%] = 0.8187
 DS (g/cm³): 1.35
 PR (mm) 500.00
 HSi (mm) 26.00
 Nº de mes con que inicia HSi:1,2,3...12? 10
 Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.1 0.12

por peso
(%) (mm)

CC	27.00	182.25
PM	13.00	87.75
(CC-PM)	14.00	94.50

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
Ret [mm]	0.90	5.00	5.00	5.18	16.84	32.14	23.78	25.91	31.51	14.78	5.00	5.00	171.04
Pi (mm)	0.00	0.08	4.01	31.12	101.08	192.93	142.79	155.54	189.19	88.76	14.00	1.72	921.22
ESC (mm)	0.00	0.02	0.89	6.89	22.39	42.73	31.63	34.45	41.90	19.66	3.10	0.38	204.04
ETP (mm)	132.60	141.10	179.10	184.20	183.60	159.30	165.20	164.40	145.80	145.50	125.40	125.90	1852.10
HSi (mm)	90.60	88.60	87.99	87.97	88.55	97.82	174.27	178.42	180.60	26.00	93.97	94.55	
C1	0.03	0.01	0.04	0.33	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.29	0.21	0.09	
C2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.46	0.68	0.87	1.00	0.00	0.00	0.00	
HD (mm)	2.85	0.93	4.25	31.35	101.87	203.01	229.31	246.21	282.03	27.01	20.22	8.52	
ETR (mm)	2.00	0.69	4.02	30.55	91.80	116.49	138.64	153.37	145.80	20.79	13.41	5.68	723.23
HSf (mm)	88.60	87.99	87.97	88.55	97.82	174.27	178.42	180.60	182.25	93.97	94.55	90.60	
DCC (mm)	93.65	94.26	94.28	93.70	84.43	7.98	3.83	1.65	0.00	88.28	87.70	91.65	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	41.73	0.00	0.00	0.00	41.73
NR (mm)	224.25	234.67	269.35	247.35	176.23	50.79	30.39	12.69	0.00	212.99	199.68	211.88	1870.29

BALANCE HIDRICO DE SUELOS
Gunther Schosinsky

Zona de Estudio: **Sinuapa_Centro(Pastos)**
Fecha: **8 de junio**

Textura de Suelo: **Franco-Arcilloso**

Simbología

- | | |
|--|-------------------------------------|
| fc: Capacidad de Infiltración. | P: Precipitación Media Mensual. |
| I: Infiltración. | Pi: Precipitación que infiltra. |
| CC: Capacidad de Campo. | ESC: Escorrentía Superficial |
| PM: Punto de Marchitez. | ETP: Evapotranspiración Potencial. |
| PR: Profundidad de Raíces. | ETR: Evapotranspiración Real. |
| (CC-PM): Rango de Agua Disponible. | HSi: Humedad de Suelo Inicial. |
| DS: Densidad de Suelo. | HD: Humedad Disponible |
| C1: Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR | HSf: Humedad de Suelo Final. |
| C2: Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR | DCC: Déficit de Capacidad de Campo. |
| Kp: Factor por pendiente (ver léame) | Rp: Recarga Potencial |
| Kv: Factor por vegetación (ver léame) | NR: Necesidad de Riego. |
| Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración | Ret: Retención de lluvia |

fc [mm/d]	167.62
Kp [0.01%]	0.10
Kv [0.01%]	0.18
Kfc [0.01%]	0.6187
I [0.01%] =	0.8987
DS (g/cm ³):	1.35
PR (mm)	600.00
HSi (mm)	26.00
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	10
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.1	0.12

	por peso	(mm)
	(%)	
CC	27.00	218.70
PM	13.00	105.30
(CC-PM)	14.00	113.40

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
Ret [mm]	0.90	5.00	5.00	5.18	16.84	32.14	23.78	25.91	31.51	14.78	5.00	5.00	171.04
Pi (mm)	0.00	0.09	4.40	34.16	110.95	211.79	156.74	170.74	207.67	97.43	15.37	1.89	1011.24
ESC (mm)	0.00	0.01	0.50	3.85	12.51	23.88	17.67	19.25	23.42	10.99	1.73	0.21	114.02
ETP (mm)	132.60	141.10	179.10	184.20	183.60	159.30	165.20	164.40	145.80	145.50	125.40	125.90	1852.10
HSi (mm)	110.49	107.46	106.15	106.40	111.92	131.08	208.24	213.56	218.70	26.00	111.80	115.08	
C1	0.05	0.02	0.05	0.31	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.16	0.19	0.10	
C2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.69	0.83	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	
HD (mm)	5.19	2.25	5.25	35.27	117.58	237.56	259.69	279.00	321.07	18.13	21.87	11.66	
ETR (mm)	3.03	1.40	4.15	28.64	91.80	134.62	151.42	164.40	145.80	11.63	12.09	6.47	755.46
HSf (mm)	107.46	106.15	106.40	111.92	131.08	208.24	213.56	218.70	218.70	111.80	115.08	110.49	
DCC (mm)	111.24	112.55	112.30	106.78	87.62	10.46	5.14	0.00	0.00	106.90	103.62	108.21	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.20	61.87	0.00	0.00	0.00	63.08
NR (mm)	240.81	252.25	287.25	262.33	179.42	35.14	18.91	0.00	0.00	240.77	216.93	227.64	1961.46

BALANCE HIDRICO DE SUELOS
Gunther Schosinsky

Zona de Estudio: **Santa_AnitaI(Cultivos)**
Fecha: **8 de junio**

Textura de Suelo: **Arenoso**

Simbología

- | | |
|--|-------------------------------------|
| fc: Capacidad de Infiltración. | P: Precipitación Media Mensual. |
| I: Infiltración. | Pi: Precipitación que infiltra. |
| CC: Capacidad de Campo. | ESC: Escorrentía Superficial |
| PM: Punto de Marchitez. | ETP: Evapotranspiración Potencial. |
| PR: Profundidad de Raíces. | ETR: Evapotranspiración Real. |
| (CC-PM): Rango de Agua Disponible. | HSi: Humedad de Suelo Inicial. |
| DS: Densidad de Suelo. | HD: Humedad Disponible |
| C1: Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR | HSf: Humedad de Suelo Final. |
| C2: Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR | DCC: Déficit de Capacidad de Campo. |
| Kp: Factor por pendiente (ver léame) | Rp: Recarga Potencial |
| Kv: Factor por vegetación (ver léame) | NR: Necesidad de Riego. |
| Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración | Ret: Retención de lluvia |

fc [mm/d]	1468.80
Kp [0.01%]	0.10
Kv [0.01%]	0.10
Kfc [0.01%]	0.9978
I [0.01%] =	1
DS (g/cm ³):	1.68
PR (mm)	500.00
HSi (mm)	26.00
Nº de mes con que inicia HSi:1,2,3...12?	10
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.1	0.12

	por peso (%)	(mm)
CC	9.00	75.60
PM	4.00	33.60
(CC-PM)	5.00	42.00

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
Ret [mm]	0.90	5.00	5.00	5.18	16.84	32.14	23.78	25.91	31.51	14.78	5.00	5.00	171.04
Pi (mm)	0.00	0.10	4.90	38.02	123.46	235.66	174.42	189.99	231.09	108.42	17.10	2.10	1125.26
ESC (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ETP (mm)	132.60	141.10	179.10	184.20	183.60	159.30	165.20	164.40	145.80	145.50	125.40	125.90	1852.10
HSi (mm)	33.60	33.60	33.60	33.60	33.60	65.26	75.60	75.60	75.60	26.00	61.67	33.60	
C1	0.00	0.00	0.12	0.91	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.05	
C2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	
HD (mm)	0.00	0.10	4.90	38.02	123.46	267.33	216.42	231.99	273.09	100.82	45.17	2.10	
ETR (mm)	0.00	0.10	4.90	38.02	91.80	159.30	165.20	164.40	145.80	72.75	45.17	2.10	889.53
HSf (mm)	33.60	33.60	33.60	33.60	65.26	75.60	75.60	75.60	75.60	61.67	33.60	33.60	
DCC (mm)	42.00	42.00	42.00	42.00	10.34	0.00	0.00	0.00	0.00	13.93	42.00	42.00	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	66.03	9.22	25.59	85.29	0.00	0.00	0.00	186.12
NR (mm)	174.60	183.00	216.20	188.18	102.14	0.00	0.00	0.00	0.00	86.68	122.23	165.80	1238.84

BALANCE HIDRICO DE SUELOS
Gunther Schosinsky

Zona de Estudio: **Santa_AnitaI(Pastos)**
Fecha: **8 de junio**

Textura de Suelo: **Arenoso**

Simbología

- | | |
|--|-------------------------------------|
| fc: Capacidad de Infiltración. | P: Precipitación Media Mensual. |
| I: Infiltración. | Pi: Precipitación que infiltra. |
| CC: Capacidad de Campo. | ESC: Escorrentía Superficial |
| PM: Punto de Marchitez. | ETP: Evapotranspiración Potencial. |
| PR: Profundidad de Raíces. | ETR: Evapotranspiración Real. |
| (CC-PM): Rango de Agua Disponible. | HSi: Humedad de Suelo Inicial. |
| DS: Densidad de Suelo. | HD: Humedad Disponible |
| C1: Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR | HSf: Humedad de Suelo Final. |
| C2: Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR | DCC: Déficit de Capacidad de Campo. |
| Kp: Factor por pendiente (ver léame) | Rp: Recarga Potencial |
| Kv: Factor por vegetación (ver léame) | NR: Necesidad de Riego. |
| Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración | Ret: Retención de lluvia |

fc [mm/d]	1468.80
Kp [0.01%]	0.06
Kv [0.01%]	0.21
Kfc [0.01%]	0.9978
I [0.01%] =	1
DS (g/cm ³):	1.68
PR (mm)	1500.00
HSi (mm)	26.00
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	10
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.1	0.12

	por peso	(mm)
CC	9.00	226.80
PM	4.00	100.80
(CC-PM)	5.00	126.00

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
Ret [mm]	0.90	5.00	5.00	5.18	16.84	32.14	23.78	25.91	31.51	14.78	5.00	5.00	171.04
Pi (mm)	0.00	0.10	4.90	38.02	123.46	235.66	174.42	189.99	231.09	108.42	17.10	2.10	1125.26
ESC (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ETP (mm)	132.60	141.10	179.10	184.20	183.60	159.30	165.20	164.40	145.80	145.50	125.40	125.90	1852.10
HSi (mm)	109.68	105.01	102.69	102.77	111.56	143.22	224.15	226.80	226.80	26.00	115.01	116.45	
C1	0.07	0.03	0.05	0.32	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.27	0.25	0.14	
C2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.94	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	
HD (mm)	8.88	4.31	6.79	39.98	134.22	278.08	297.76	315.99	357.09	33.62	31.31	17.75	
ETR (mm)	4.67	2.41	4.83	29.22	91.80	154.74	165.20	164.40	145.80	19.41	15.65	8.88	807.01
HSf (mm)	105.01	102.69	102.77	111.56	143.22	224.15	226.80	226.80	226.80	115.01	116.45	109.68	
DCC (mm)	121.79	124.11	124.03	115.24	83.58	2.65	0.00	0.00	0.00	111.79	110.35	117.12	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.56	25.59	85.29	0.00	0.00	0.00	117.44
NR (mm)	249.72	262.79	298.31	270.22	175.38	7.22	0.00	0.00	0.00	237.88	220.09	234.15	1955.76

BALANCE HIDRICO DE SUELOS
Gunther Schosinsky

Zona de Estudio: **Santa_Anita2(Cultivos)**
Fecha: **8 de junio**

Textura de Suelo: **Franco-Arenoso**

Simbología

fc: Capacidad de Infiltración.
I: Infiltración.

CC: Capacidad de Campo.

PM: Punto de Marchitez.

PR: Profundidad de Raíces.

(CC-PM): Rango de Agua Disponible.

DS: Densidad de Suelo.

C1: Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR

C2: Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR

Kp: Factor por pendiente (ver léame)

Kv: Factor por vegetación (ver léame)

Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración

P: Precipitación Media Mensual.

Pi: Precipitación que infiltra.

ESC: Escorrentía Superficial

ETP: Evapotranspiración Potencial.

ETR: Evapotranspiración Real.

HSi: Humedad de Suelo Inicial.

HD: Humedad Disponible

HSf: Humedad de Suelo Final.

DCC: Déficit de Capacidad de Campo.

Rp: Recarga Potencial

NR: Necesidad de Riego.

Ret: Retención de lluvia

fc [mm/d] **497.66**
Kp [0.01%] **0.10**
Kv [0.01%] **0.10**
Kfc [0.01%] **0.8584**
I [0.01%] = **1**
DS (g/cm³): **1.50**
PR (mm) **600.00**
HSi (mm) **26.00**
N° de mes con que inicia HSi:1,2,3...12? **10**
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.1 **0.12**

por peso
(%) (mm)
CC **14.00** 126.00
PM **6.00** 54.00
(CC-PM) **8.00** 72.00

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
Ret [mm]	0.90	5.00	5.00	5.18	16.84	32.14	23.78	25.91	31.51	14.78	5.00	5.00	171.04
Pi (mm)	0.00	0.10	4.90	38.02	123.46	235.66	174.42	189.99	231.09	108.42	17.10	2.10	1125.26
ESC (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ETP (mm)	132.60	141.10	179.10	184.20	183.60	159.30	165.20	164.40	145.80	145.50	125.40	125.90	1852.10
HSi (mm)	54.67	54.05	54.00	54.00	54.00	85.66	126.00	126.00	126.00	26.00	61.67	57.20	
C1	0.01	0.00	0.07	0.53	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.34	0.07	
C2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	
HD (mm)	0.67	0.15	4.90	38.02	123.46	267.33	246.42	261.99	303.09	80.42	24.77	5.30	
ETR (mm)	0.61	0.15	4.90	38.02	91.80	159.30	165.20	164.40	145.80	72.75	21.57	4.63	869.13
HSf (mm)	54.05	54.00	54.00	54.00	85.66	126.00	126.00	126.00	126.00	61.67	57.20	54.67	
DCC (mm)	71.95	72.00	72.00	72.00	40.34	0.00	0.00	0.00	0.00	64.33	68.80	71.33	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	36.03	9.22	25.59	85.29	0.00	0.00	0.00	156.12
NR (mm)	203.93	212.95	246.20	218.18	132.14	0.00	0.00	0.00	0.00	137.08	172.63	192.60	1515.72

BALANCE HIDRICO DE SUELOS
Gunther Schosinsky

Zona de Estudio: **Santa_Anita2(Pastos)**
Fecha: **8 de junio**

Textura de Suelo: **Franco-Arenoso**

Simbología

- | | |
|--|-------------------------------------|
| fc: Capacidad de Infiltración. | P: Precipitación Media Mensual. |
| I: Infiltración. | Pi: Precipitación que infiltra. |
| CC: Capacidad de Campo. | ESC: Escorrentía Superficial |
| PM: Punto de Marchitez. | ETP: Evapotranspiración Potencial. |
| PR: Profundidad de Raíces. | ETR: Evapotranspiración Real. |
| (CC-PM): Rango de Agua Disponible. | HSi: Humedad de Suelo Inicial. |
| DS: Densidad de Suelo. | HD: Humedad Disponible |
| C1: Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR | HSf: Humedad de Suelo Final. |
| C2: Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR | DCC: Déficit de Capacidad de Campo. |
| Kp: Factor por pendiente (ver léame) | Rp: Recarga Potencial |
| Kv: Factor por vegetación (ver léame) | NR: Necesidad de Riego. |
| Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración | Ret: Retención de lluvia |

fc [mm/d]	497.66
Kp [0.01%]	0.10
Kv [0.01%]	0.18
Kfc [0.01%]	0.8584
I [0.01%] =	1
DS (g/cm ³):	1.50
PR (mm)	400.00
HSi (mm)	26.00
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	10
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.1	0.12

	por peso	
	(%)	(mm)
CC	14.00	84.00
PM	6.00	36.00
(CC-PM)	8.00	48.00

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
Ret [mm]	0.90	5.00	5.00	5.18	16.84	32.14	23.78	25.91	31.51	14.78	5.00	5.00	171.04
Pi (mm)	0.00	0.10	4.90	38.02	123.46	235.66	174.42	189.99	231.09	108.42	17.10	2.10	1125.26
ESC (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ETP (mm)	132.60	141.10	179.10	184.20	183.60	159.30	165.20	164.40	145.80	145.50	125.40	125.90	1852.10
HSi (mm)	36.00	36.00	36.00	36.00	36.00	67.66	84.00	84.00	84.00	26.00	61.67	36.00	
C1	0.00	0.00	0.10	0.79	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.89	0.04	
C2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	
HD (mm)	0.00	0.10	4.90	38.02	123.46	267.33	222.42	237.99	279.09	98.42	42.77	2.10	
ETR (mm)	0.00	0.10	4.90	38.02	91.80	159.30	165.20	164.40	145.80	72.75	42.77	2.10	887.13
HSf (mm)	36.00	36.00	36.00	36.00	67.66	84.00	84.00	84.00	84.00	61.67	36.00	36.00	
DCC (mm)	48.00	48.00	48.00	48.00	16.34	0.00	0.00	0.00	0.00	22.33	48.00	48.00	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	60.03	9.22	25.59	85.29	0.00	0.00	0.00	180.12
NR (mm)	180.60	189.00	222.20	194.18	108.14	0.00	0.00	0.00	0.00	95.08	130.63	171.80	1291.64

BALANCE HIDRICO DE SUELOS
Gunther Schosinsky

Zona de Estudio: **Sinuapa2(Cultivos)**
Fecha: **8 de junio**

Textura de Suelo: **Franco-Arenoso**

Simbología

- | | |
|--|-------------------------------------|
| fc: Capacidad de Infiltración. | P: Precipitación Media Mensual. |
| I: Infiltración. | Pi: Precipitación que infiltra. |
| CC: Capacidad de Campo. | ESC: Escorrentía Superficial |
| PM: Punto de Marchitez. | ETP: Evapotranspiración Potencial. |
| PR: Profundidad de Raíces. | ETR: Evapotranspiración Real. |
| (CC-PM): Rango de Agua Disponible. | HSi: Humedad de Suelo Inicial. |
| DS: Densidad de Suelo. | HD: Humedad Disponible |
| C1: Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR | HSf: Humedad de Suelo Final. |
| C2: Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR | DCC: Déficit de Capacidad de Campo. |
| Kp: Factor por pendiente (ver léame) | Rp: Recarga Potencial |
| Kv: Factor por vegetación (ver léame) | NR: Necesidad de Riego. |
| Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración | Ret: Retención de lluvia |

fc [mm/d]	516.67
Kp [0.01%]	0.10
Kv [0.01%]	0.10
Kfc [0.01%]	0.8655
I [0.01%] =	1
DS (g/cm ³):	1.50
PR (mm)	500.00
HSi (mm)	26.00
Nº de mes con que inicia HSi:1,2,3...12?	10
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.1	0.12

	por peso	
	(%)	(mm)
CC	14.00	105.00
PM	6.00	45.00
(CC-PM)	8.00	60.00

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
Ret [mm]	0.90	5.00	5.00	5.18	16.84	32.14	23.78	25.91	31.51	14.78	5.00	5.00	171.04
Pi (mm)	0.00	0.10	4.90	38.02	123.46	235.66	174.42	189.99	231.09	108.42	17.10	2.10	1125.26
ESC (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ETP (mm)	132.60	141.10	179.10	184.20	183.60	159.30	165.20	164.40	145.80	145.50	125.40	125.90	1852.10
HSi (mm)	45.00	45.00	45.00	45.00	45.00	76.66	105.00	105.00	105.00	26.00	61.67	45.00	
C1	0.00	0.00	0.08	0.63	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.56	0.04	
C2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	
HD (mm)	0.00	0.10	4.90	38.02	123.46	267.33	234.42	249.99	291.09	89.42	33.77	2.10	
ETR (mm)	0.00	0.10	4.90	38.02	91.80	159.30	165.20	164.40	145.80	72.75	33.77	2.10	878.13
HSf (mm)	45.00	45.00	45.00	45.00	76.66	105.00	105.00	105.00	105.00	61.67	45.00	45.00	
DCC (mm)	60.00	60.00	60.00	60.00	28.34	0.00	0.00	0.00	0.00	43.33	60.00	60.00	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	48.03	9.22	25.59	85.29	0.00	0.00	0.00	168.12
NR (mm)	192.60	201.00	234.20	206.18	120.14	0.00	0.00	0.00	0.00	116.08	151.63	183.80	1405.64

BALANCE HIDRICO DE SUELOS
Gunther Schosinsky

Zona de Estudio: **Sinuapa2(Pastos)**
Fecha: **8 de junio**

Textura de Suelo: **Franco-Arenoso**

Simbología

- | | |
|--|-------------------------------------|
| fc: Capacidad de Infiltración. | P: Precipitación Media Mensual. |
| I: Infiltración. | Pi: Precipitación que infiltra. |
| CC: Capacidad de Campo. | ESC: Escorrentía Superficial |
| PM: Punto de Marchitez. | ETP: Evapotranspiración Potencial. |
| PR: Profundidad de Raíces. | ETR: Evapotranspiración Real. |
| (CC-PM): Rango de Agua Disponible. | HSi: Humedad de Suelo Inicial. |
| DS: Densidad de Suelo. | HD: Humedad Disponible |
| C1: Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR | HSf: Humedad de Suelo Final. |
| C2: Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR | DCC: Déficit de Capacidad de Campo. |
| Kp: Factor por pendiente (ver léame) | Rp: Recarga Potencial |
| Kv: Factor por vegetación (ver léame) | NR: Necesidad de Riego. |
| Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración | Ret: Retención de lluvia |

fc [mm/d]	516.67
Kp [0.01%]	0.10
Kv [0.01%]	0.18
Kfc [0.01%]	0.8655
I [0.01%] =	1
DS (g/cm ³):	1.50
PR (mm)	400.00
HSi (mm)	26.00
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	10
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.1	0.12

por peso	
(%)	(mm)
CC	14.00 84.00
PM	6.00 36.00
(CC-PM)	8.00 48.00

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
Ret [mm]	0.90	5.00	5.00	5.18	16.84	32.14	23.78	25.91	31.51	14.78	5.00	5.00	171.04
Pi (mm)	0.00	0.10	4.90	38.02	123.46	235.66	174.42	189.99	231.09	108.42	17.10	2.10	1125.26
ESC (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ETP (mm)	132.60	141.10	179.10	184.20	183.60	159.30	165.20	164.40	145.80	145.50	125.40	125.90	1852.10
HSi (mm)	36.00	36.00	36.00	36.00	36.00	67.66	84.00	84.00	84.00	26.00	61.67	36.00	
C1	0.00	0.00	0.10	0.79	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.89	0.04	
C2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	
HD (mm)	0.00	0.10	4.90	38.02	123.46	267.33	222.42	237.99	279.09	98.42	42.77	2.10	
ETR (mm)	0.00	0.10	4.90	38.02	91.80	159.30	165.20	164.40	145.80	72.75	42.77	2.10	887.13
HSf (mm)	36.00	36.00	36.00	36.00	67.66	84.00	84.00	84.00	84.00	61.67	36.00	36.00	
DCC (mm)	48.00	48.00	48.00	48.00	16.34	0.00	0.00	0.00	0.00	22.33	48.00	48.00	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	60.03	9.22	25.59	85.29	0.00	0.00	0.00	180.12
NR (mm)	180.60	189.00	222.20	194.18	108.14	0.00	0.00	0.00	0.00	95.08	130.63	171.80	1291.64

BALANCE HIDRICO DE SUELOS
Gunther Schosinsky

Zona de Estudio: **Antigua_Ocotepeque(Bosque)**
Fecha: **8 de junio**

Textura de Suelo: **Franco-Arcilloso**

Simbología

fc: Capacidad de Infiltración.	P: Precipitación Media Mensual.
I: Infiltración.	Pi: Precipitación que infiltra.
CC: Capacidad de Campo.	ESC: Escorrentía Superficial
PM: Punto de Marchitez.	ETP: Evapotranspiración Potencial.
PR: Profundidad de Raíces.	ETR: Evapotranspiración Real.
(CC-PM): Rango de Agua Disponible.	HSi: Humedad de Suelo Inicial.
DS: Densidad de Suelo.	HD: Humedad Disponible
C1: Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR	HSf: Humedad de Suelo Final.
C2: Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR	DCC: Déficit de Capacidad de Campo.
Kp: Factor por pendiente (ver léame)	Rp: Recarga Potencial
Kv: Factor por vegetación (ver léame)	NR: Necesidad de Riego.
Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración	Ret: Retención de lluvia

fc [mm/d]	121.82
Kp [0.01%]	0.06
Kv [0.01%]	0.20
Kfc [0.01%]	0.5405
I [0.01%] =	0.8005
DS (g/cm ³):	1.35
PR (mm)	2550.00
HSi (mm)	26.00
Nº de mes con que inicia HSi:1,2,3...12?	10
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.1	0.20

	por peso	(mm)
	(%)	
CC	27.00	929.48
PM	13.00	447.53
(CC-PM)	14.00	481.95

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
Ret [mm]	0.90	5.00	5.00	8.64	28.06	53.56	39.64	43.18	52.52	24.64	5.00	5.00	271.14
Pi (mm)	0.00	0.08	3.92	27.67	89.85	171.50	126.93	138.27	168.17	78.90	13.69	1.68	820.67
ESC (mm)	0.00	0.02	0.98	6.89	22.39	42.74	31.63	34.45	41.91	19.66	3.41	0.42	204.49
ETP (mm)	132.60	141.10	179.10	184.20	183.60	159.30	165.20	164.40	145.80	145.50	125.40	125.90	1852.10
HSi (mm)	457.01	454.76	453.01	454.09	471.17	526.02	628.55	668.01	704.78	26.00	447.53	458.12	
C1	0.02	0.02	0.02	0.07	0.24	0.52	0.64	0.74	0.88	-0.71	0.03	0.03	
C2	0.01	0.01	0.01	0.04	0.15	0.35	0.42	0.49	0.62	0.00	0.02	0.02	
HD (mm)	9.48	7.31	9.41	34.23	113.50	250.00	307.96	358.75	425.43	-342.63	13.69	12.27	
ETR (mm)	2.25	1.83	2.85	10.58	35.00	68.98	87.47	101.50	109.23	-342.63	3.10	2.79	82.95
HSf (mm)	454.76	453.01	454.09	471.17	526.02	628.55	668.01	704.78	763.72	447.53	458.12	457.01	
DCC (mm)	474.72	476.46	475.39	458.30	403.45	300.93	261.46	224.70	165.76	481.95	471.36	472.47	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
NR (mm)	605.07	615.74	651.64	631.92	552.05	391.25	339.19	287.60	202.32	970.08	593.66	595.58	6436.09

BALANCE HIDRICO DE SUELOS
Gunther Schosinsky

Zona de Estudio: **Antigua_Ocotepeque(Cultivos)**
Fecha: **8 de junio**

Textura de Suelo: **Franco-Arcilloso**

Simbología

- | | |
|--|-------------------------------------|
| fc: Capacidad de Infiltración. | P: Precipitación Media Mensual. |
| I: Infiltración. | Pi: Precipitación que infiltra. |
| CC: Capacidad de Campo. | ESC: Escorrentía Superficial |
| PM: Punto de Marchitez. | ETP: Evapotranspiración Potencial. |
| PR: Profundidad de Raíces. | ETR: Evapotranspiración Real. |
| (CC-PM): Rango de Agua Disponible. | HSi: Humedad de Suelo Inicial. |
| DS: Densidad de Suelo. | HD: Humedad Disponible |
| C1: Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR | HSf: Humedad de Suelo Final. |
| C2: Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR | DCC: Déficit de Capacidad de Campo. |
| Kp: Factor por pendiente (ver léame) | Rp: Recarga Potencial |
| Kv: Factor por vegetación (ver léame) | NR: Necesidad de Riego. |
| Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración | Ret: Retención de lluvia |

fc [mm/d]	121.82
Kp [0.01%]	0.10
Kv [0.01%]	0.10
Kfc [0.01%]	0.5405
I [0.01%] =	0.7405
DS (g/cm ³):	1.35
PR (mm)	500.00
HSi (mm)	26.00
Nº de mes con que inicia HSi:1,2,3...12?	10
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.1	0.12

	por peso	(mm)
	(%)	
CC	27.00	182.25
PM	13.00	87.75
(CC-PM)	14.00	94.50

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
Ret [mm]	0.90	5.00	5.00	5.18	16.84	32.14	23.78	25.91	31.51	14.78	5.00	5.00	171.04
Pi (mm)	0.00	0.07	3.63	28.15	91.43	174.52	129.16	140.69	171.13	80.29	12.66	1.56	833.28
ESC (mm)	0.00	0.03	1.27	9.86	32.04	61.15	45.26	49.30	59.96	28.13	4.44	0.54	291.97
ETP (mm)	132.60	141.10	179.10	184.20	183.60	159.30	165.20	164.40	145.80	145.50	125.40	125.90	1852.10
HSi (mm)	90.17	88.47	87.95	87.95	88.47	90.38	170.20	176.19	178.38	26.00	92.02	93.45	
C1	0.03	0.01	0.04	0.30	0.98	1.00	1.00	1.00	1.00	0.20	0.18	0.08	
C2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.19	0.49	0.69	1.00	0.00	0.00	0.00	
HD (mm)	2.42	0.80	3.83	28.35	92.15	177.15	211.61	229.14	261.75	18.54	16.93	7.25	
ETR (mm)	1.70	0.59	3.63	27.63	89.52	94.69	123.17	138.51	145.80	14.27	11.23	4.83	655.58
HSf (mm)	88.47	87.95	87.95	88.47	90.38	170.20	176.19	178.38	182.25	92.02	93.45	90.17	
DCC (mm)	93.78	94.30	94.30	93.78	91.87	12.05	6.06	3.87	0.00	90.23	88.80	92.08	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	21.45	0.00	0.00	0.00	21.45
NR (mm)	224.68	234.80	269.77	250.35	185.95	76.65	48.09	29.76	0.00	221.46	202.97	213.15	1957.63

BALANCE HIDRICO DE SUELOS
Gunther Schosinsky

Zona de Estudio: **Antigua_Ocotepeque(Pastos)**
Fecha: **8 de junio**

Textura de Suelo: **Franco-Arcilloso**

Simbología

- | | |
|--|-------------------------------------|
| fc: Capacidad de Infiltración. | P: Precipitación Media Mensual. |
| I: Infiltración. | Pi: Precipitación que infiltra. |
| CC: Capacidad de Campo. | ESC: Escorrentía Superficial |
| PM: Punto de Marchitez. | ETP: Evapotranspiración Potencial. |
| PR: Profundidad de Raíces. | ETR: Evapotranspiración Real. |
| (CC-PM): Rango de Agua Disponible. | HSi: Humedad de Suelo Inicial. |
| DS: Densidad de Suelo. | HD: Humedad Disponible |
| C1: Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR | HSf: Humedad de Suelo Final. |
| C2: Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR | DCC: Déficit de Capacidad de Campo. |
| Kp: Factor por pendiente (ver léame) | Rp: Recarga Potencial |
| Kv: Factor por vegetación (ver léame) | NR: Necesidad de Riego. |
| Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración | Ret: Retención de lluvia |

fc [mm/d]	121.82
Kp [0.01%]	0.06
Kv [0.01%]	0.18
Kfc [0.01%]	0.5405
I [0.01%] =	0.7805
DS (g/cm ³):	1.35
PR (mm)	400.00
HSi (mm)	26.00
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	10
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.1	0.12

	por peso	
	(%)	(mm)
CC	27.00	145.80
PM	13.00	70.20
(CC-PM)	14.00	75.60

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
Ret [mm]	0.90	5.00	5.00	5.18	16.84	32.14	23.78	25.91	31.51	14.78	5.00	5.00	171.04
Pi (mm)	0.00	0.08	3.82	29.67	96.37	183.94	136.14	148.29	180.37	84.62	13.35	1.64	878.29
ESC (mm)	0.00	0.02	1.08	8.34	27.10	51.72	38.28	41.70	50.72	23.79	3.75	0.46	246.96
ETP (mm)	132.60	141.10	179.10	184.20	183.60	159.30	165.20	164.40	145.80	145.50	125.40	125.90	1852.10
HSi (mm)	70.90	70.29	70.21	70.20	70.20	74.77	145.80	145.80	145.80	26.00	71.72	72.74	
C1	0.01	0.00	0.05	0.39	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.53	0.20	0.06	
C2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.39	0.62	0.79	1.00	0.00	0.00	0.00	
HD (mm)	0.70	0.16	3.84	29.67	96.37	188.51	211.74	223.89	255.97	40.42	14.87	4.18	
ETR (mm)	0.61	0.15	3.84	29.67	91.80	110.42	133.45	146.89	145.80	38.90	12.33	3.48	717.34
HSf (mm)	70.29	70.21	70.20	70.20	74.77	145.80	145.80	145.80	145.80	71.72	72.74	70.90	
DCC (mm)	75.51	75.59	75.60	75.60	71.03	0.00	0.00	0.00	0.00	74.08	73.06	74.90	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.49	2.69	1.41	34.57	0.00	0.00	0.00	41.15
NR (mm)	207.50	216.54	250.86	230.13	162.83	48.88	31.75	17.51	0.00	180.68	186.13	197.32	1730.14

BALANCE HIDRICO DE SUELOS
Gunther Schosinsky

Zona de Estudio: **El_PoyHN(Cultivos)**
Fecha: **8 de junio**

Textura de Suelo: **Franco-Limoso**

Simbología

- | | |
|--|-------------------------------------|
| fc: Capacidad de Infiltración. | P: Precipitación Media Mensual. |
| I: Infiltración. | Pi: Precipitación que infiltra. |
| CC: Capacidad de Campo. | ESC: Escorrentía Superficial |
| PM: Punto de Marchitez. | ETP: Evapotranspiración Potencial. |
| PR: Profundidad de Raíces. | ETR: Evapotranspiración Real. |
| (CC-PM): Rango de Agua Disponible. | HSi: Humedad de Suelo Inicial. |
| DS: Densidad de Suelo. | HD: Humedad Disponible |
| C1: Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR | HSf: Humedad de Suelo Final. |
| C2: Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR | DCC: Déficit de Capacidad de Campo. |
| Kp: Factor por pendiente (ver léame) | Rp: Recarga Potencial |
| Kv: Factor por vegetación (ver léame) | NR: Necesidad de Riego. |
| Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración | Ret: Retención de lluvia |

fc [mm/d]	362.88
Kp [0.01%]	0.10
Kv [0.01%]	0.10
Kfc [0.01%]	0.7948
I [0.01%] =	0.9948
DS (g/cm ³):	1.43
PR (mm)	600.00
HSi (mm)	26.00
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	10
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.1	0.12

por peso	
(%)	(mm)
CC	22.00 188.76
PM	10.00 85.80
(CC-PM)	12.00 102.96

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
Ret [mm]	0.90	5.00	5.00	5.18	16.84	32.14	23.78	25.91	31.51	14.78	5.00	5.00	171.04
Pi (mm)	0.00	0.10	4.87	37.82	122.83	234.45	173.51	189.01	229.89	107.86	17.01	2.09	1119.44
ESC (mm)	0.00	0.00	0.03	0.20	0.64	1.22	0.90	0.98	1.19	0.56	0.09	0.01	5.81
ETP (mm)	132.60	141.10	179.10	184.20	183.60	159.30	165.20	164.40	145.80	145.50	125.40	125.90	1852.10
HSi (mm)	91.34	87.77	86.45	86.52	89.87	120.89	188.76	188.76	188.76	26.00	99.90	97.97	
C1	0.05	0.02	0.05	0.37	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.47	0.30	0.14	
C2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	
HD (mm)	5.54	2.07	5.53	38.54	126.89	269.54	276.47	291.97	332.85	48.06	31.11	14.25	
ETR (mm)	3.57	1.42	4.81	34.47	91.80	159.30	165.20	164.40	145.80	33.96	18.95	8.72	832.39
HSf (mm)	87.77	86.45	86.52	89.87	120.89	188.76	188.76	188.76	188.76	99.90	97.97	91.34	
DCC (mm)	100.99	102.31	102.24	98.89	67.87	0.00	0.00	0.00	0.00	88.86	90.79	97.42	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7.28	8.31	24.61	84.09	0.00	0.00	0.00	124.30
NR (mm)	230.02	241.99	276.53	248.62	159.67	0.00	0.00	0.00	0.00	200.40	197.25	214.61	1769.09

BALANCE HIDRICO DE SUELOS
Gunther Schosinsky

Zona de Estudio: **El Dorado (Pastos)**
 Fecha: **8 de junio**

Textura de Suelo: **Franco-Limoso**

Simbología

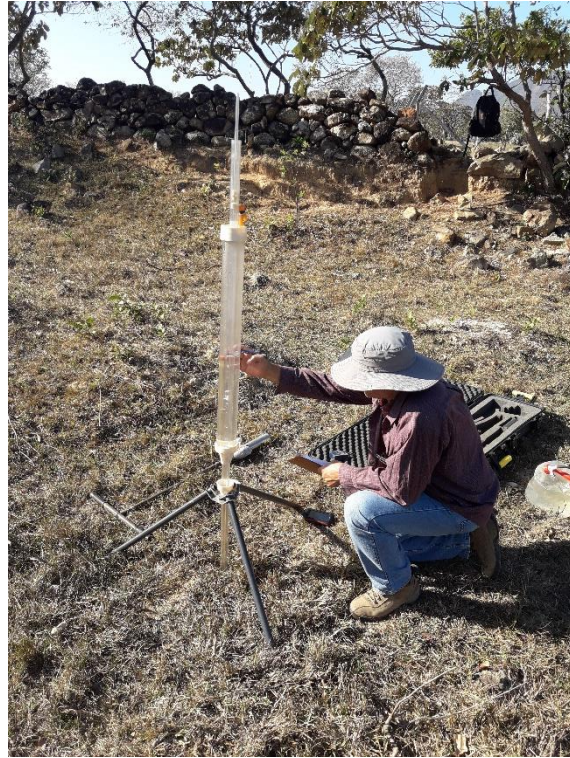
- | | |
|--|---|
| <p>fi: Capacidad de infiltración.
 I: Infiltración.
 CC: Capacidad de Campo.
 PM: Punto de Marchitez.
 PR: Profundidad de Agua.
 (CC-PM): Rango de Agua Disponible.
 DS: Densidad de Suelo.
 C1: Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR
 C2: Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR
 Kp: Factor por pendiente (por léame)
 Kv: Factor por vegetación (por léame)
 Kf: Factor estimado con base a la prueba de infiltración</p> | <p>P: Precipitación Media Mensual.
 Pi: Precipitación que ocurre.
 ESC: Escorrentía Superficial
 ETP: Evapotranspiración Potencial.
 ETR: Evapotranspiración Real.
 USi: Humedad de Suelo Inicial.
 HD: Humedad Disponible
 HSF: Humedad de Suelo Final.
 DCC: Déficit de Capacidad de Campo.
 Rp: Recarga Potencial
 NR: Necesidad de Riego.
 Ret: Retención de lluvia</p> |
|--|---|

fi [mm/d]	362.88
fiR [0.01%]	0.00
Kv [0.01%]	0.18
Kf [0.01%]	0.7948
I [0.01%] =	1
DS (g/cm ³):	1.43
PR (mm)	400.00
USi (mm)	26.00
NR de mes con que inicia HSi: 1,2,3...12?	10
Lluvia retenida [0.01%]: Bosques=0.2, otros=0.1	0.12

	por peso (%)	(mm)
CC	22.00	125.84
PM	10.00	57.20
(CC-PM)	12.00	68.64

CORPORO	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
Ret [mm]	0.90	5.00	5.00	5.18	16.84	32.14	23.78	25.91	31.51	14.78	5.00	5.00	171.04
Pi (mm)	0.00	0.10	4.90	38.02	123.46	235.66	174.42	189.99	231.09	108.42	17.10	2.10	1125.26
ESC (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ETP (mm)	132.60	141.10	179.10	184.20	183.60	159.30	165.20	164.40	145.80	145.50	125.40	125.90	1852.10
USi (mm)	57.53	57.21	57.20	57.20	57.20	88.86	125.84	125.84	125.84	26.00	61.67	59.07	
C1	0.00	0.00	0.07	0.55	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.31	0.06	
C2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	
HD (mm)	0.33	0.11	4.90	38.02	123.46	267.33	243.06	258.63	299.73	77.22	21.57	3.97	
ETR (mm)	0.32	0.11	4.90	38.02	91.80	159.30	165.20	164.40	145.80	72.75	19.70	3.64	865.93
HSf (mm)	57.21	57.20	57.20	57.20	88.86	125.84	125.84	125.84	125.84	61.67	59.07	57.53	
DCC (mm)	68.63	68.64	68.64	68.64	36.98	0.00	0.00	0.00	0.00	64.17	66.77	68.31	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	39.39	9.22	25.59	85.29	0.00	0.00	0.00	159.48
NR (mm)	200.91	209.63	242.84	214.82	128.78	0.00	0.00	0.00	0.00	136.92	172.47	190.57	1496.95

ANEXO 6. Fotografías documentales de la fase de campo



Instalación y medición de infiltración en suelo por medio de permeámetro de Guelph, en la foto el Ing. Antonio Medina (MARN) hace la toma de dato de infiltración.



Instalación de electrodos de inyección/medición de corriente y potencial eléctrico para las pruebas de tomografía eléctrica 2D; en la fotografía, Aarón Estevez y Leonel Méndez (UES), realizan la conexión de los electrodos al cable transmisor.



Verificación de los materiales geológicos de la zona de estudio; en la fotografía Adrián Mayén (Izq.) y M.Sc. César Alvarado (Der.) de la UES registran los materiales que afloran en las cercanías de los sitios de realización de pruebas TE2D.



Georreferenciación de los puntos de muestreo y toma de datos; en la fotografía Aarón Estevez y Adrián Mayén (UES), realizan toma de puntos GPS de las líneas de tomografía eléctrica para generar mapas de ubicación.



Despliegue de los sondeos de resistividad eléctrica por medio de TE2D; en la fotografía, Kevyn Pineda (UES) prepara los cables transmisores para la realización de las pruebas de resistividad en la localidad de Sinuapa, Honduras.



Hidratación de los electrodos inyectoros de corriente para la TE2D; en la fotografía Adrián Mayén (UES) hidrata con una solución de agua salada y una bomba fumigadora los electrodos para lograr una mejor conducción de corriente en el suelo.



Equipo de trabajo UES – MARN – UICN; en la fotografía los participantes de la campaña de colecta de datos de marzo 2019, referente al estudio hidrogeológico del ATOC, región Trifinio El Salvador – Honduras; en orden de izquierda a derecha de arriba hacia abajo: Leonel Mendez (FMO – UES), Ing. Antonio Medina (MARN, El Salvador), Osmín Barrera (Geofísica - UES), Kevyn Pineda (Geofísica – UES), Adrián Mayén (Geofísica – UES), M.Sc. César Alvarado (Geofísica – UES), Aaron Estevez (Geofísica – UES), Ing. Carlos Rosal (UICN). M.Sc. Luis Castillo (Geofísica – UES), Ing. Patricia Alvarado (UICN)