

**UNIVERSIDAD DE COSTA RICA
SISTEMA DE ESTUDIOS DE POSGRADO**

**FLUCTUACIONES ESPACIO TEMPORALES DE LOS NIVELES DE AGUA
SUBTERRÁNEA EN EL SECTOR DE HEREDIA: UN ANÁLISIS
GEOESTADÍSTICO**

**Tesis sometida a la consideración de la Comisión del Programa de Estudios
de Posgrado en Geología, para optar al grado y título de Maestría Académica
en Hidrogeología y Manejo de Recursos Hídricos**

ANA ELENA VEGA ARCE

Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, Costa Rica

2019

“Esta tesis fue aceptada por la Comisión del Programa de Estudios de Posgrado en Geología de la Universidad de Costa Rica, como requisito parcial para optar al grado y título de Maestría Académica en Hidrogeología y Manejo de Recursos Hídricos.”



PhD. Guaria Cárdenas Sandí
Representante del Decano
Sistema de Estudios de Posgrado



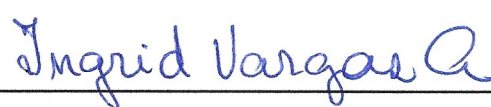
Dr. Marco Barahona Palomo
Director de Tesis



M.Sc. Luis Daniel Rojas
Asesor



M.Sc. Mauricio Vásquez Fernández
Asesor



M.Sc. Ingrid Vargas Azofeifa
Representante del Director del
Programa de Posgrado en Geología



Ana Elena Vega Arce
Candidata

DEDICATORIA

Nicolás, mi fuerza e inagotable fuente de amor

Jerry, amigo, esposo, mi fortaleza, mi amor.

Mi madre por su amor, sacrificio, paciencia, apoyo incondicional y entrega

Nana por su gran esfuerzo y el mejor regalo que me diste la educación

AGRADECIMIENTOS

A Dios por todo.

A los miembros de mi comité asesor por su ayuda y guía durante la elaboración de esta investigación.

A la ESPH, por brindarme el apoyo y la información para realizar mi proyecto de tesis, especialmente a M.Sc. Luis Daniel Rojas, por su paciencia e interés en colaborar siempre.

Al personal del Instituto Meteorológico Nacional, por brindarme la información de las estaciones meteorológicas.

Al personal de SENARA, por la colaboración y el apoyo con la información de los pozos del área de estudio.

A un gran colega y mi director de mi tesis, PhD. Marco Barahona, por su paciencia y apoyo e interés en este proyecto.

A M. Sc Ingrid Vargas por su motivación.

A mi amigo, colega y esposo por acompañarme en este proceso, tanto en mis dudas como el cuidado de nuestro pequeño Nicolás.

Nicolás te agradezco por darme la fuerza de concluir mi tarea.

A mi mamá y nana, por ayudarme desde siempre a salir adelante y que sean parte de este esfuerzo.

RESUMEN

La zona de estudio corresponde a la sección central de los cantones de Heredia y San Rafael de Heredia, donde se ubica la red de acueductos Heredia y San Rafael, los cuales pertenecen a la Empresa de Servicios Públicos de Heredia y desde el 2010, se ha llevado a cabo una campaña de instalación de sensores de niveles del agua subterránea en los pozos de utilizados en el abastecimiento público. Se analizó la información de los niveles del agua subterránea y la temperatura de los pozos Burial, Joya 1, Joya 2, Aurora 2, Aurora 3, Malinches, Pri II, Esperanza 1A, Esperanza 2, Real Santamaría, Montealegre y San Vicente.

El análisis geoestadístico se llevó a cabo con el programa informático Excel, para el cual nos permite realizar los gráficos, para determinar las tendencias o fluctuaciones de las variables a estudiar, también se analizaron los datos de precipitación, temperatura y extracción.

En la zona de estudio se presentan los acuíferos: Barba, el acuitardo Tiribí y el Sistema Acuífero Colima (Superior e Inferior). El acuífero Barba es el más somero, está conformado por los miembros Carbonal y Bermúdez.

El contacto con la Formación Colima, se presenta a partir de los 150 a 170 metros de profundidad, dicha ubicación es variable espacialmente, se presenta con el Miembro Linda Vista o Colima Superior, con presencia de lavas andesíticas, cuyo espesor varía entre 70 y 162 metros.

Por medio del análisis de los datos del nivel del agua subterránea, obtenemos 5 ciclos de fluctuaciones estacionales, los cuales son más notorios en los pozos Aurora 2, Aurora 3, Esperanza 2, Pri II y Montealegre, los cuales están captando el acuífero Colima Superior. Las fluctuaciones del nivel del agua subterránea son la respuesta de los acuíferos al incremento de la precipitación en la zona, el arribo de la señal que evidencia un incremento del nivel del agua subterránea, tarda aproximadamente 70 días en presentarse (aproximadamente 2 meses).

La temperatura tiene un comportamiento similar a las variaciones del nivel del agua subterránea, los valores mínimo y máximo de temperatura varía entre 16,14 y 21,18°C respectivamente, para los 5 pozos que captan Colima Superior. Las fluctuaciones estacionales para el acuífero Colima Superior, no se ven alteradas por las variaciones de la producción de los pozos, a pesar de que los caudales han variado durante el periodo analizado, con incrementos y descensos en producción.

Los pozos Burial, Joya 1, San Vicente, Malinches, Esperanza 1A y Real Santa María, captan el sistema de Colima, tanto Superior e Inferior. Sin embargo, no se pudo correlacionar las variaciones del nivel del agua subterránea con respecto a la precipitación en estos pozos, debido a la mezcla de acuíferos, la profundidad del nivel, el grado de confinamiento del acuífero. La temperatura que reportan dichos pozos presenta valores mínimo y máximo de temperatura de 16,14 a 21,18°C respectivamente.

INDICE

DEDICATORIA	III
AGRADECIMIENTOS	IV
RESUMEN	V
INDICE	VI
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 UBICACIÓN	1
1.2 ANTECEDENTES	4
1.3 SERIES ESPACIO TEMPORALES EN HIDROGEOLOGÍA	5
1.4 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO	6
1.5 PROBLEMA	7
1.6 HIPÓTESIS	8
1.7 OBJETIVO GENERAL	8
1.8 OBJETIVO ESPECÍFICOS	8
1.9 METAS	8
2. MARCO TEÓRICO	9
2.1 SERIES TEMPORALES	9
2.2 COMPONENTES DE LAS SERIES TEMPORALES	9
2.3 SUPERFICIE PIEZOMÉTRICA	12
2.3.1 OSCILACIONES DE LOS NIVELES PIEZOMÉTRICOS	12
2.3.2 VARIACIONES DEL NIVEL PIEZOMÉTRICO	14
2.3.3 EXTRACCIÓN DE AGUA SUBTERRÁNEA	14
2.3.4 RECARGA POR LA PRECIPITACIÓN, EFECTOS ESTACIONALES	15
2.3.5 FLUCTUACIONES DE GRAN PERIODO Y TENDENCIA DE LOS NIVELES PIEZOMÉTRICOS	16
2.4 GEOESTADÍSTICA	16
2.4.1 ESTADÍSTICA ESPACIAL	18
2.4.2 VARIABLE REGIONALIZADA	18
2.4.3 SOPORTE	19
2.4.4 GEOESTADÍSTICA	20
2.4.5 LATTICES (ENMALLADOS)	20
2.4.6 PATRONES ESPACIALES	20
2.4.7 ETAPAS DEL ANÁLISIS GEOESTADÍSTICO	20
2.4.8 ANÁLISIS ESTRUCTURAL	21
2.4.9 PREDICCIÓN ESPACIAL	21
2.4.10 REPRESENTACIÓN POR MEDIO DE MAPAS	22
2.4.11 GEORREFERENCIACIÓN DE DATOS	22
2.5 DEFINICIONES DE ESTADÍSTICA	23
2.5.1 VARIANZA	23
2.5.2 DESVIACIÓN ESTÁNDAR	23
3. METODOLOGÍA	25
3.1 MEDICIÓN DE DATOS	25

3.2	PROCESAMIENTO DE INFORMACIÓN	27
3.3	UTILIZACIÓN DEL SOFTWARE EXCEL.....	27
3.4	INTERPRETACIÓN DE DATOS.....	27
4.	MATERIAL Y EQUIPO	27
4.1.1	DISPOSITIVO PARA LA MEDICIÓN DE NIVELES DE AGUA EN POZOS (LEVELOGGER EDGE)	27
5.	SOPORTE INSTITUCIONAL.....	29
6.	CONDICIONES CLIMÁTICAS, GEOLÓGICAS E HIDROGEOLÓGICAS DE LA ZONA DE ESTUDIO	30
6.1	RED DE POZOS DE LA ESPH A ANALIZAR	30
6.2	INFORMACIÓN DE POZOS EXISTENTE EN LA ZONA DE ESTUDIO	33
6.3	INFORMACIÓN DE ESTACIONES METEOROLÓGICAS EXISTENTES EN LA ZONA DE ESTUDIO	35
6.4	GEOLOGÍA REGIONAL	39
	COMPLEJO VOLCÁNICO ZURQUÍ.....	39
	FORMACIÓN LAVAS INTRACAÑÓN (COLIMA).....	43
	MIEMBRO BELÉN.....	43
	MIEMBRO NUESTRO AMO	44
	MIEMBRO IGNIMBRITAS DE PUENTE MULAS.....	45
	MIEMBRO LINDA VISTA	45
	FORMACIÓN TIRIBÍ.....	47
	FORMACIÓN BARVA.....	48
	MIEMBRO BERMÚDEZ.....	49
	MIEMBRO CARBONAL	49
	MIEMBRO LOS BAMBINOS (BARVA SUPERIOR)	50
	MIEMBRO LOS ÁNGELES.....	50
	MIEMBRO PORROSATÍ Y CRÁTER	50
6.5	HIDROGEOLOGÍA.....	51
	MIEMBRO BELÉN.....	54
	MIEMBRO IGNIMBRITAS DE PUENTE MULAS.....	55
	MIEMBRO LINDA VISTA	55
6.6	MODELO HIDROGEOLÓGICO DEL ÁREA DE ESTUDIO	57
6.6.1.	PERFIL AB.....	57
6.6.2.	PERFIL CD	61
6.6.3.	PERFIL EF	63
6.6.4.	PERFIL GH	63
6.6.5.	PERFIL IJ.....	64
6.7	UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS	68
6.7.1.	ACUÍFERO BARBA.....	68
6.7.2.	ACUITARDO TIRIBÍ	68
6.7.3.	ACUÍFERO COLIMA	69
6.8	PROCESAMIENTO DE INFORMACIÓN	70
6.8.1	INFORMACIÓN METEOROLÓGICA.....	70
6.8.2	INFORMACIÓN DE NIVELES DE AGUA SUBTERRÁNEA	74
6.8.2.1	BURIAL	76
6.8.2.2	POZO JOYA 1.....	78
6.8.2.3	JOYA 2.....	80
6.8.2.4	SAN VICENTE	83

6.8.2.5	MALINCHES	86
6.8.2.6	AURORA 2.....	88
6.8.2.7	AURORA 3.....	91
6.8.2.8	PRI II.....	93
6.8.2.9	ESPERANZA 1A.....	95
6.8.2.10	ESPERANZA 2.....	98
6.8.2.11	MONTEALEGRE.....	101
6.8.2.12	REAL SANTAMARÍA.....	103
7.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	108
7.1	FLUCTUACIONES ESTACIONALES DEL SISTEMA COLIMA SUPERIOR	108
7.2	FLUCTUACIONES ESTACIONALES DEL ACUÍFERO COLIMA SUPERIOR E INFERIOR.....	113
7.3	FLUCTUACIONES ESTACIONALES DEL ACUÍFERO COLIMA INFERIOR	115
7.4	MECANISMOS DE RECARGA PARA ACUÍFEROS COLIMA SUPERIOR E INFERIOR.....	116
8.	CONCLUSIONES.....	121
9.	RECOMENDACIONES	124
10.	REFERENCIAS.....	125

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Mapa de ubicación de los pozos que presentan los sensores de medición automáticos de niveles y temperatura, ubicados en los cantones de Heredia y San Rafael (área de estudio).....	3
Figura 2.	Gráficos de los componentes de las series temporales, modificado de (INEI, 2006).	10
Figura 3.	Gráfico de las fluctuaciones estacionales, modificado de (INEI, 2006).	11
Figura 4.	Gráfico de las fluctuaciones irregulares, modificado de (INEI, 2006).	11
Figura 5.	Hidrograma de variaciones del nivel piezométrico de un acuífero profundo, se observan las variaciones diarias y semanales (modificado de Custodio & Llamas ,1996).	13
Figura 6.	Oscilaciones piezométricas (Modificado de Custodio & Llamas,1996).....	15
Figura 7.	Variaciones a largo plazo de la precipitación y de los niveles de agua subterránea (Modificado: Custodio & Llamas, 1996).	16
Figura 8.	Variable regionalizada en un espacio unidimensional. Por ejemplo, podría representar la concentración de un contaminante medido lo largo del tiempo en una estación de monitoreo (Tomado de Emery, 2013).	19
Figura 9.	Dispositivo instalado dentro de un pozo, adherido a él, el cable de lectura directa (fuente: (Solinst Canada Ltd., 2019)	28
Figura 10	.Mapa de ubicación de pozos para los cantones de Heredia y San Rafael, elaboración propia partir de datos del SENARA y ESPH.....	34
Figura 11.	Porcentaje de precipitación por año para la estación La Aurora.	36
Figura 12.	Precipitación diaria estación 84277, La Aurora.....	37
Figura 13.	Mapa de ubicación de estaciones meteorológicas IMN, elaboración propia partir de datos del IMN,2017-2018. ..	38
Figura 14.	Columna estratigráfica de la zona de estudio modificado de BGS & SENARA (1988), Arrendo & Soto, 2006, Echandi (1981) y Thiele & Vargas (2017).....	41
Figura 15.	Mapa geológico regional del área de estudio, modificado de BGS & SENARA (1988) y Vásquez (2010).	42
Figura 16.	Mapa hidrogeológico para la zona de estudio, modificado de BGS & SENARA (1988) y Vásquez, 2010.	52

Figura 17 .Mapa de ubicación de perfiles hidrogeológicos, elaboración propia, con información de ESPH y SENARA.	59
Figura 18. Perfil Hidrogeológico AB, elaboración propia.....	60
Figura 19. Perfil Hidrogeológico CD, elaboración propia.	62
Figura 20. Perfil Hidrogeológico EF, elaboración propia.....	65
Figura 21. Perfil Hidrogeológico GH, elaboración propia.	66
Figura 22. Perfil Hidrogeológico IJ, elaboración propia.....	67
Figura 23. Gráfico de dispersión para el periodo 2013-2017 de los datos de precipitación de las estaciones 84111 vs 84277, valores semanales de cada estación.	71
Figura 24. Gráfico de dispersión para el periodo 2013-2017 de los datos de precipitación de las estaciones 84121 vs 84277 valores semanales de cada estación.	71
Figura 25. Gráfico de dispersión para el periodo 2013-2017 de los datos de precipitación de las estaciones 84193 vs 84277, valores semanales de cada estación.	72
Figura 26. Gráfico de dispersión para el periodo 2013-2017 de los datos de precipitación de las estaciones 84205 vs 84277, valores semanales de cada estación.	72
Figura 27. Gráfico de dispersión para el periodo 2013-2017 de los datos de precipitación de las estaciones 84243 vs 84277, valores semanales de cada estación.	73
Figura 28.Gráfico de nivel de agua subterránea versus precipitación, registrados de forma diaria, Pozo Burial.	75
Figura 29. Promedio semanal de la profundidad del agua subterránea vs la precipitación, pozo Burial 2014-2017.....	76
Figura 30. Promedio semanal de la temperatura del pozo vs el nivel de agua subterránea, pozo Burial 2014-2017.....	77
Figura 31. Promedio semanal de la temperatura vs la precipitación (mm), pozo Burial 2014-2017.	77
Figura 32. Promedio de la profundidad mensual del nivel de agua subterránea vs la producción, pozo Burial 2014-2017. ...	78
Figura 33.Promedio semanal de la profundidad del nivel de agua subterránea vs la precipitación, pozo Joya 1 2014-2017.	79
Figura 34. Promedio semanal de la profundidad del nivel de agua subterránea vs la temperatura del Pozo Joya 12014-2017.	79
Figura 35.Promedio semanal de la temperatura del agua subterránea versus la precipitación del pozo Joya 1 2014-2017..	80
Figura 36. Promedio mensual del nivel de agua subterránea, precipitación y producción, pozos Joya 1 2014-2017.	80
Figura 37.Promedio semanal del nivel de agua subterránea vs la precipitación, pozo Joya 2 2014-2017.	81
Figura 38. Promedio semanal de la profundidad del nivel de agua subterránea vs la temperatura del agua, pozo Joya 2 2014-2017.	82
Figura 39.Promedio semanal de la precipitación vs la temperatura del agua subterránea, pozo Joya 2 2014-2017.	82
Figura 40. Promedio mensual del nivel del agua subterránea, precipitación y nivel del agua subterránea, pozo Joya 2 2014-2017.	83
Figura 41.Promedio semanal de la profundidad del nivel del agua subterránea vs la precipitación del pozo San Vicente, 2014-2017.	84
Figura 42.Promedio semanal del nivel del agua subterránea vs la temperatura, del pozo San Vicente, 2014-2017.	84
Figura 43.Promedio de la precipitación vs la temperatura del agua subterránea, del pozo San Vicente, 2014-2017.	85
Figura 44. Promedio mensual del nivel del agua subterránea, precipitación y producción, del pozo San Vicente, 2014-2017.	85
Figura 45.Promedio semanal de la profundidad del nivel del agua subterránea vs la precipitación, pozo Malinches, 2014-2017.	86
Figura 46.Promedio semanal del nivel del agua subterránea vs la temperatura, pozo Malinches, 2014-2017.	87
Figura 47.Promedio de la precipitación vs la temperatura del agua subterránea, pozo Malinches, 2014-2017.....	87
Figura 48. Promedio mensual del nivel del agua subterránea, precipitación y producción, pozo Malinches, 2014-2017.....	88
Figura 49. Promedio semanal de la profundidad del nivel del agua subterránea vs la precipitación, pozo Aurora 2, 2014-2017.	89

Figura 50. Promedio semanal del nivel del agua subterránea vs la temperatura, pozo Aurora 2, 2014-2017.	89
Figura 51. Promedio de la precipitación vs la temperatura del agua subterránea, pozo Aurora 2.	90
Figura 52. Promedio mensual del nivel del agua subterránea, precipitación y producción, pozo Aurora 2, 2014-2017.	91
Figura 53. Promedio semanal de la profundidad del nivel del agua subterránea vs la precipitación, pozo Aurora 3, 2014-2017.	92
Figura 54. Promedio semanal del nivel del agua subterránea vs la temperatura, pozo Aurora 3, 2014-2017.	92
Figura 55. Promedio de la precipitación vs la temperatura del agua subterránea, pozo Aurora 3, 2014-2017.	93
Figura 56. Promedio mensual del nivel del agua subterránea, precipitación y producción, pozo Aurora 3, 2014-2017.	93
Figura 57. Promedio semanal de la profundidad del nivel del agua subterránea vs la precipitación, pozo Pri II, 2014-2017.	94
Figura 58. Promedio semanal del nivel del agua subterránea vs la temperatura, pozo Pri II, 2014-2017.	95
Figura 59. Promedio de la precipitación vs la temperatura del agua subterránea, pozo Pri II 2014-2017.	95
Figura 60. Promedio semanal de la profundidad del nivel del agua subterránea vs la precipitación, Pozo Esperanza 1A, 2014-2017.	96
Figura 61. Promedio de la precipitación vs la temperatura del agua subterránea, Pozo Esperanza 1A, 2014-2017.	97
Figura 62. Promedio semanal del nivel del agua subterránea vs la temperatura, Pozo Esperanza 1A, 2014-2017.	97
Figura 63. Promedio mensual del nivel del agua subterránea, precipitación y producción, Pozo Esperanza 1A, 2014-2017.	98
Figura 64. Promedio semanal de la profundidad del nivel del agua subterránea vs la precipitación, Pozo Esperanza 2, 2014-2017.	99
Figura 65. Promedio semanal del nivel del agua subterránea vs la temperatura, Pozo Esperanza 2, 2014-2017.	100
Figura 66. Promedio de la precipitación vs la temperatura del agua subterránea, Pozo Esperanza 2, 2014-2017.	100
Figura 67. Promedio mensual del nivel del agua subterránea, precipitación y producción, Pozo Esperanza 2, 2014-2017.	101
Figura 68. Promedio semanal de la profundidad del nivel del agua subterránea vs la precipitación, pozo Montealegre 2014-2017.	102
Figura 69. Promedio semanal del nivel del agua subterránea vs la temperatura, pozo Montealegre 2014-2017.	102
Figura 70. Promedio de la precipitación vs la temperatura del agua subterránea, pozo Montealegre 2014-2017.	103
Figura 71. Promedio mensual del nivel del agua subterránea, precipitación y producción, pozo Montealegre 2014-2017.	103
Figura 72. Promedio semanal de la profundidad del nivel del agua subterránea vs la precipitación, pozo Real Santamaría 2014-2017.	104
Figura 73. Promedio semanal del nivel del agua subterránea vs la temperatura, pozo Real Santamaría 2014-2017.	105
Figura 74. Promedio de la precipitación vs la temperatura del agua subterránea, pozo Real Santamaría 2014-2017.	105
Figura 75. Promedio mensual del nivel del agua subterránea, precipitación y producción, pozo Real Santamaría 2014-2017.	106
Figura 76. Tendencias de las fluctuaciones del nivel de agua subterránea versus la precipitación.	110
Figura 77. Mapa de isovalores de tiempo de arribo de señal de la precipitación para el acuífero Colima Superior, elaboración propia.	111
Figura 78. Tendencia de los valores semanales de la temperatura para el acuífero Colima Superior.	112
Figura 79. Tendencias de los niveles del agua subterránea en pozos que captan los acuíferos Colima Superior e Inferior.	114
Figura 80. Tendencias valores semanales de la temperatura del agua subterránea para el Sistema Acuíferos Colima Superior e Inferior.	115
Figura 81. Mapa de recarga del acuífero Colima Superior (Modificado de BGS & SENARA, 1988)	117
Figura 82. Variación isotópica de las aguas Modificado de (Reynolds & Fraile, 2013).	119
Figura 83. Mapa de recarga al acuífero Colima Inferior (BGS & SENARA, 1988).	120

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Matriz de georreferenciación de datos	22
Cuadro 2. Clasificación del coeficiente de correlación r (Ayala et al 2018).	24
Cuadro 3. Descripción de pozos a analizar (ESPH, 2018)	31
Cuadro 4. Descripción de características operativas de los pozos (ESPH).	32
Cuadro 5. Ubicación de estaciones meteorológicas del Instituto Meteorológico Nacional.	36
Cuadro 6. Valor de correlación de Pearson.....	73
Cuadro 7. Cantidad de datos utilizados en el análisis de nivel de agua subterránea.	74
Cuadro 8. Datos estadísticos de la profundidad del nivel del agua subterránea de los pozos.	75
Cuadro 9. Resumen de las tendencias estacionales de los pozos de estudio.	107
Cuadro 10. Matriz de Coeficiente de Correlación de Pearson, de los niveles del agua subterránea entre los pozos que captan el Acuífero Colima Superior.	109
Cuadro 11. Valores promedio, máximo y mínimo de temperatura, Acuífero Colima Superior	112
Cuadro 12. Matriz de Coeficiente de Correlación de Pearson, entre los pozos que captan el Acuífero Colima Superior e Inferior.	113
Cuadro 13. Valores promedio, máximo y mínimo de temperatura, Acuífero Colima Superior e Inferior	115

INDICE DE DIAGRAMAS

Diagrama 1 Proceso de recopilación de datos de los niveles de agua subterránea y temperatura de los pozos.	26
---	----

INDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1 . Instrumento empleado para la obtención de datos en el campo: Leveloader Gold (izquierda) y un Levelogger modelo Edge (derecha) con su lector óptico.	26
--	----



Autorización para digitalización y comunicación pública de Trabajos Finales de Graduación del Sistema de Estudios de Posgrado en el Repositorio Institucional de la Universidad de Costa Rica.

Yo, Ana Elena Vega Arce, con cédula de identidad 1-1106-0648, en mi condición de autor del TFG titulado Fluctuaciones Espacio Temporales de los Niveles de Agua Subterránea en el Sector De Heredia: Un Análisis Geoestadístico.

Autorizo a la Universidad de Costa Rica para digitalizar y hacer divulgación pública de forma gratuita de dicho TFG a través del Repositorio Institucional u otro medio electrónico, para ser puesto a disposición del público según lo que establezca el Sistema de Estudios de Posgrado. SI NO *

*En caso de la negativa favor indicar el tiempo de restricción: _____ año (s).

Este Trabajo Final de Graduación será publicado en formato PDF, o en el formato que en el momento se establezca, de tal forma que el acceso al mismo sea libre, con el fin de permitir la consulta e impresión, pero no su modificación.

Manifiesto que mi Trabajo Final de Graduación fue debidamente subido al sistema digital Kerwá y su contenido corresponde al documento original que sirvió para la obtención de mi título, y que su información no infringe ni violenta ningún derecho a terceros. El TFG además cuenta con el visto bueno de mi Director (a) de Tesis o Tutor (a) y cumplió con lo establecido en la revisión del Formato por parte del Sistema de Estudios de Posgrado.

INFORMACIÓN DEL ESTUDIANTE:

Nombre Completo: Ana Elena Vega Arce _____.

Número de Carné: A13869 _____ Número de cédula: 1-1106-0648 _____.

Correo Electrónico: anaelena1081@gmail.com _____.

Fecha: 04-06-2020 _____ Número de teléfono: 8354-5357 _____.

Nombre del Director (a) de Tesis o Tutor (a): Marco Barahona Palomo _____.

FIRMA ESTUDIANTE

Nota: El presente documento constituye una declaración jurada, cuyos alcances aseguran a la Universidad, que su contenido sea tomado como cierto. Su importancia radica en que permite abreviar procedimientos administrativos, y al mismo tiempo genera una responsabilidad legal para que quien declare contrario a la verdad de lo que manifiesta, puede como consecuencia, enfrentar un proceso penal por delito de perjurio, tipificado en el artículo 318 de nuestro Código Penal. Lo anterior implica que el estudiante se vea forzado a realizar su mayor esfuerzo para que no sólo incluya información veraz en la Licencia de Publicación, sino que también realice diligentemente la gestión de subir el documento correcto en la plataforma digital Kerwá.

1. INTRODUCCIÓN

El sector sur de la provincia de Heredia, tiene un importante desarrollo urbanístico y económico, principalmente en los cantones de San Rafael, San Isidro y el cantón Central de Heredia. Dicho desarrollo ha provocado un aumento considerable en la demanda de servicios públicos, prioritariamente en el abastecimiento de agua potable. Así lo indica el Índice de Desarrollo Humano del 2014, donde el cantón de Heredia se ubica de quinto lugar a nivel nacional (Programa de las Naciones Unidas para el desarrollo, 2015).

La Empresa de Servicios Públicos de Heredia ESPH S.A es la entidad encargada del abastecimiento de agua potable para los cantones: Central, San Rafael y San Isidro. La ESPH tiene aproximadamente 64 453 abonados a quienes brinda el servicio de abastecimiento de agua potable, lo cual se traduce en 226 000 usuarios, abastecidos con una producción de 28 492 910 m³ de agua al año. La red de abastecimiento de agua potable de la E.S.P.H cuenta con 12 tomas en nacientes, 6 tomas superficiales en ríos y 27 pozos de producción (Rojas Jiménez, 2019)

Debido a la importancia del recurso hídrico subterráneo en el abastecimiento de la población en esta zona, se realizó una revisión y reinterpretación de la información geológica e hidrogeológica existente de los acuíferos captados y se analizaron las variaciones del nivel y la temperatura del agua subterránea en 12 pozos de la ESPH, que cuentan con sensores de medición automática. Esta información se relacionó con cambios estacionales y de extracción. El análisis de la variación de los niveles dinámicos de los pozos, con respecto a los datos de producción y precipitación en la zona permitieron determinar la respuesta de los tramos captados de los acuíferos, ante la recarga por precipitación.

1.1 UBICACIÓN

La zona de estudio corresponde a la sección central de los cantones de Heredia y San Rafael de Heredia, donde se ubica la red de acueductos Heredia y San Rafael, los cuales pertenecen a la ESPH.

El área se ubica dentro de las hojas cartográficas Barva y Abra a escala 1:50 000, editadas por Instituto Geográfico Nacional (I.G.N) Entre las coordenadas geográficas 482 000 – 490 000 Este y 1 104 000 – 1 108 000 Norte CRTM05, (figura 1- mapa de ubicación).

El acueducto de la ESPH, presenta un total de 27 pozos de producción, los cuales se distribuyen de la siguiente manera: 18 en Heredia, 9 en San Rafael y 1 en San Isidro. A partir del 2010 se instaló en cada pozo un sensor de nivel de agua subterránea su nombre comercial *levelogger* (el termino genérico es transductor de presión y temperatura) de la marca canadiense Solinst®. Estos se colocaron dentro de los pozos, por debajo del nivel estático del agua subterránea y actualmente se realizan mediciones en periodos o intervalos de tiempo programados para medir la temperatura y la altura de la columna de agua que se tiene sobre ellos. En dicho año se inició la red de monitoreo con los pozos Burial, Santa Lucía, La Granada, San Vicente, en el 2011 se colocaron en 7 pozos, Esperanza 1A, Aurora 2, Aurora 3, Esperanza 2, Miraflores, Montealegre.

En el 2012 solamente se instaló un sensor nuevo en el pozo Real Santamaría. Para el 2013 se instalaron en 3 pozos más, Joya 1, Matasanos y Claretiano, el pozo Santiago fue el único que se le instaló en el 2014 y finalmente en el 2015 se instalaron 3 sensores en los pozos el Malinche Real, Trébol y Joya 2.

Para esta investigación se utilizó la información de los pozos Burial, Joya 1, Joya 2, Aurora 2, Aurora 3, Malinches, Pri II, Esperanza 1A, Esperanza 2, Real Santamaría, Montealegre y San Vicente, la distribución de los pozos se presenta en la figura 1.

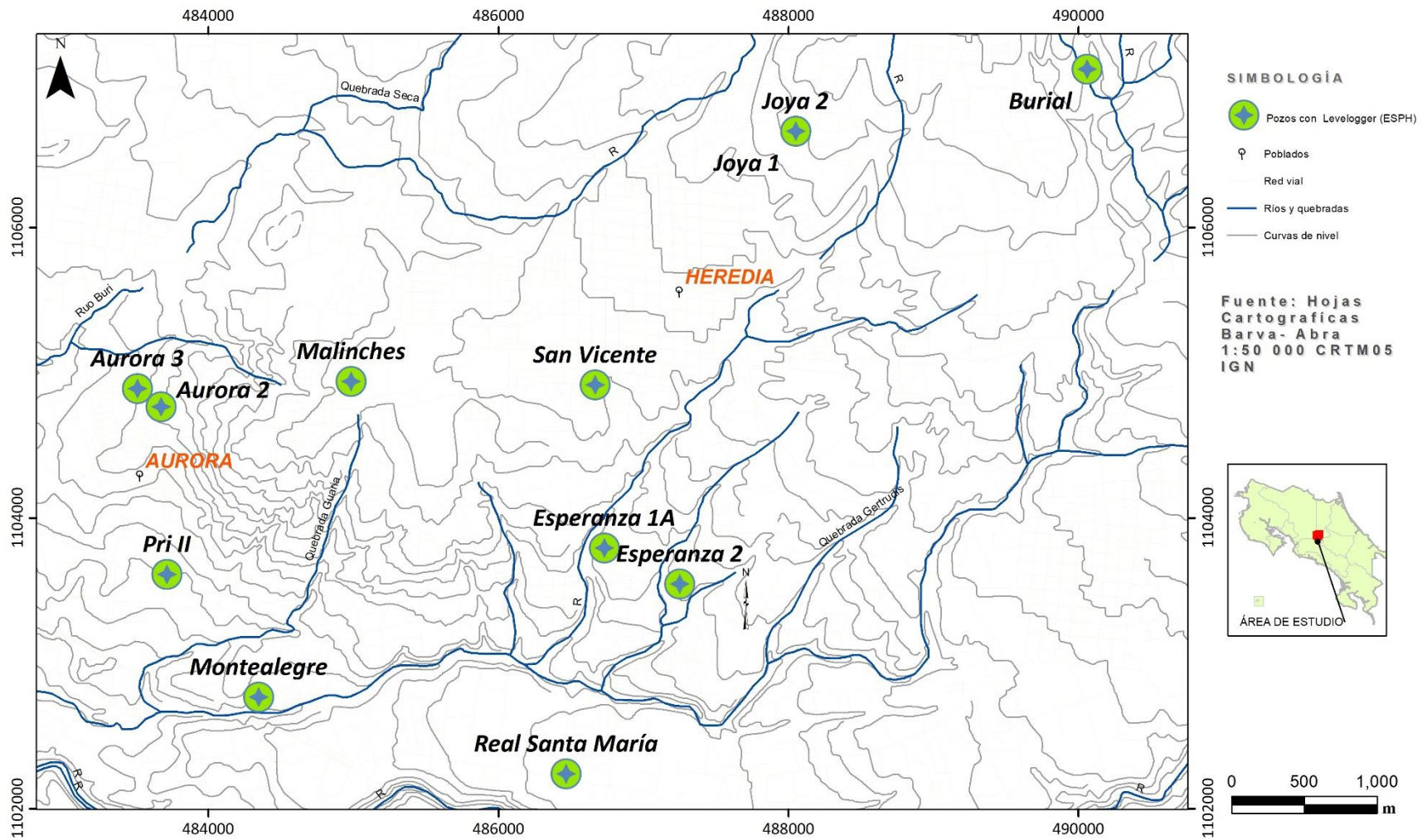


Figura 1. Mapa de ubicación de los pozos que presentan los sensores de medición automática de niveles y temperatura, ubicados en los cantones de Heredia y San Rafael (área de estudio).

1.2 ANTECEDENTES

La expansión demográfica y el incremento en el desarrollo urbanístico, provocan una huella de impermeabilización y un incremento en la demanda del recurso hídrico para el abastecimiento público, según se indica en el informe de Rendición de Cuentas del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (Instituto Costarricense de Acueductos, 2014).

En el documento citado anteriormente se presentó la evolución de la potabilidad donde se indica que, durante el 2009, se abarcó un 87,6 % de los habitantes de Costa Rica (3 865 575). Esta cifra incrementó en los años posteriores: 89,5% (2010), 90,5% (2011), 92,9% (2012) y 93,5% (2013). Esto representa del 5,9 % de la población abastecida. Esta población se ha beneficiado de la extracción de nuevas fuentes, aun así, un 6,5% de la población en Costa Rica no cuenta con el recurso hídrico potable en sus hogares, por lo cual será necesario aumentar el caudal de extracción de pozos, nacientes y determinar nuevas fuentes.

Vásquez (2010) indica que el aumento de la demanda de agua por el crecimiento natural de la población, obligó a la ESPH a realizar la búsqueda de nuevas fuentes de captación del líquido, tanto superficiales como subterráneas, las cuales se presentarían en los principales acuíferos de la región de Heredia, por medio de la construcción de pozos profundos, por lo cual se llevó a cabo, el estudio hidrogeológico para determinar sitios factibles de explotación de pozos profundos en la zona de influencia y operación de la empresa.

La zona de estudio que analizó Vásquez (2010), se encuentra al norte del Valle Central, al pie de la cordillera Volcánica Central cerca de los volcanes Poás y Barva; estos volcanes se caracterizan por ser estratovolcanes compuestos de secuencias de lavas andesíticas, con intercalaciones de capas de ceniza.

Ramírez (2007), indica que la zona norte del Valle Central presentó para el año 2006, un incremento en las solicitudes de explotación del recurso hídrico. Esta región se caracteriza por una variación en el uso del suelo, debido a un incremento en el desarrollo urbanístico principalmente. Además, se identificó como área de recarga, la zona norte del Valle Central,

específicamente en las laderas sur de los volcanes Barva y Poás, para los principales acuíferos que abastecen la población de la Gran Área Metropolitana, la zona de estudio es de recarga media (Ramírez, 2007).

Alvarado (2018), realizó el modelo hidrogeológico conceptual y caracterización hidrogeoquímica en la microcuenca de la Quebrada Seca y río Bermúdez, donde determinó la presencia del acuífero Barva inferior, ubicado dentro de los paquetes de lavas del Miembro Bermúdez y bajo este ubica el sistema Colima. La autora determina que la zona presenta una recarga media, principalmente en la zona norte de Heredia. El análisis hidrogeoquímico muestra la semejanza entre la clasificación de las aguas del acuífero Barva y de Colima, dentro de la facie hidroquímica bicarbonatada cálcica e indica que se debe a la composición similar de las rocas que albergan ambos acuíferos o a que el agua del acuífero Colima ha pasado por un proceso de mezcla con el agua del acuífero Barva, debido a la recarga vertical (Alvarado, 2018).

1.3 SERIES ESPACIO TEMPORALES EN HIDROGEOLOGÍA

Durante la búsqueda bibliográfica, no se encontraron investigaciones realizadas por la ESPH, donde se haya realizado un análisis espacio temporal de la fluctuación del nivel del agua subterránea con una gran densidad de datos por pozo, para la determinación del comportamiento del acuífero.

El Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA), realizó la investigación denominada Fluctuaciones del nivel del agua en los acuíferos lávicos del Valle Central, 1975-1994. El objetivo primordial del estudio, fue presentar de manera gráfica, las fluctuaciones de los niveles de agua subterránea, medidos a través de un periodo de 18 años, además de la presencia de datos generales de las características meteorológicas e hidrogeológicas de la zona y descripción de la extracción de agua subterránea (AyA, 1995).

El estudio se realizó con la representación gráfica de hidrogramas, con un total de 94 sitios de información. El área de influencia de los pozos de observación se presenta en la vertiente norte de la cuenca del río Virilla e incluye las poblaciones de Heredia, Santo Domingo, San Joaquín, Alajuela, San Rafael, La Valencia y La Uruca (AyA, 1995).

García & Agudelo, (2014) presentan hidrogramas de las fluctuaciones estacionales en la superficie freática, para un periodo de 9 años, desde 2005 a 2013 para 13 pozos y del 2011-2013 para 24 pozos. Este monitoreo indica que el nivel del agua subterránea está entre 0,4 y 29,22 m bajo el nivel de la superficie. En esta zona, los hidrogramas muestran una ciclicidad en la variación del nivel freático, pues en la zona norte del área de estudio, muy cerca al Río Potrero, el nivel freático se encuentra entre 1,30 – 9,75 m b.n.s., y ascendió entre los meses de abril y mayo (periodo lluvioso), y descendió en los meses de diciembre a marzo.

En diferentes países se han realizado estudios en torno a las fluctuaciones de niveles, por ejemplo, en Holanda, donde se llevó a cabo una serie de análisis de series temporales, las cuales fueron adaptadas desde 1988 y se han implementado principalmente en los niveles del agua subterránea (Von Asmuth , 2012).

En la parte sureste de Brasil (Manzione et al., 2012), realizaron una evaluación para el acuífero Guararí, utilizando métodos estocásticos basados en modelos de series de tiempo combinados con geoestadística para describir la variabilidad de niveles freáticos en el tiempo y espacio, con el monitoreo de niveles de agua subterránea, obtuvieron información sobre la dinámica del acuífero en ambas direcciones.

Los autores mencionados anteriormente integraron los métodos estocásticos basados en modelos de series de tiempo y geoestadístico, los cuales son para predecir los niveles de agua, estos pueden ser utilizados en la toma de decisiones en la gestión del recurso hídrico y la planificación del uso de suelo.

1.4 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

El modelo de investigación permite implementar un tema que se ha trabajado muy poco en el país y asociarlo al uso de herramientas geoestadísticas, fortaleciendo el campo de la investigación académica del recurso hídrico. Cabe resaltar que esta metodología se implementará por vez primera en el desarrollo de tesis en la maestría académica del Manejo del Recurso Hídrico, en la Universidad de Costa Rica.

La zona de estudio presenta un interés hidrogeológico importante, dado que se abarcan los acuíferos Barva y Colima, los cuales son utilizados para el abastecimiento público en la zona norte del Valle Central, según lo indican Ramírez & Alfaro (2002). Se han desarrollado una serie de estudios hidrogeológicos, los cuales inician en con Echandi (1981), quien realizó su tesis de licenciatura una caracterización hidrogeológica de los acuíferos Colima, Tiribí y Barva, y subdividen las formaciones geológicas que albergan dichos acuíferos en diferentes miembros, describió sus parámetros hidráulicos y geológicos.

En 1985, (BGS & SENARA) realizaron el Mapa Hidrogeológico del Valle Central, el cual presenta una descripción de las características de los acuíferos Colima, Tiribí y Barva, además, se representan espacialmente las zonas donde se ubican los acuíferos y el material litológico que los alberga.

Darling et al., (1989) realizaron un estudio hidrogeoquímico utilizando isótopos ambientales para determinar la edad del agua subterránea de algunos manantiales del Valle Central. Las dataciones determinaron una edad de 10 a 15 años e indican las zonas de recarga del acuífero Barva.

En nuestro país no se ha realizado un análisis espacio temporal sobre los cambios en los niveles del agua subterránea en los pozos de abastecimiento público de la ESPH cuyo resultado generaría información sobre las variaciones del nivel del agua subterránea, cambios en diferentes épocas del año, lo cual permitiría determinar épocas críticas y regímenes de extracción.

La ESPH se verá beneficiada principalmente, con el producto final esta investigación, la cual podrá ser implementada dentro de las políticas institucionales para el manejo de los acueductos, el aprovechamiento de acuíferos y gestión del recurso hídrico, el establecimiento de futuras campañas para el uso sustentable del agua. Además, sería de utilidad para detectar las carencias y fortalezas de los acuíferos que se aprovechan actualmente y de la protección de estos.

1.5 PROBLEMA

El sector norte de la zona de estudio, se ha delimitado como la zona de recarga para los acuíferos Barba y Colima, dada las características litológicas de los materiales que los albergan. El ciclo hidrogeológico permite que la lluvia infiltre a través de las capas de cenizas, tobas y lavas fracturadas, para dar cabida al almacenamiento del agua subterránea, la cual presenta variaciones en su nivel, estas fluctuaciones son el resultado de los factores de interés a evaluar, como lo son la precipitación, temperatura y además la extracción del recurso hídrico.

¿Cuáles son los factores que inciden en las variaciones de los niveles dinámicos de los pozos que conforman la red de monitoreo, reflejados en el comportamiento del acuífero local?

1.6 HIPÓTESIS

Las fluctuaciones del nivel del agua subterránea son debidas a las variaciones en la precipitación y extracción del recurso hídrico.

1.7 OBJETIVO GENERAL

Determinar la tendencia de las fluctuaciones espacio-temporales del nivel del agua subterránea en el sector central de los cantones Heredia y San Rafael mediante un análisis geoestadístico para ser implementado como herramienta en la gestión hídrica de la ESPH.

1.8 OBJETIVO ESPECÍFICOS

1. Definir las unidades hidroestratigráficas y sus parámetros hidráulicos en los pozos de abastecimiento público (ESPH) en el área de estudio para identificar patrones en las series espacio temporal.
2. Analizar mediante geoestadística los datos de niveles de agua subterránea y temperatura, durante el último quinquenio, con respecto a las condiciones meteorológicas en el área de estudio y el uso de los pozos (extracción).

1.9 METAS

- Mediante el análisis espacio temporal, determinar indicadores sobre el comportamiento de los niveles del agua subterránea.
- Utilizando las mediciones registradas de temperatura del agua subterránea, caracterizar las variaciones presentes y relacionarla con indicadores atmosféricos, condiciones hidrogeológicas del acuífero u otro evento.
- Identificar el o los acuíferos captados para el abastecimiento público y definir las variaciones del nivel de agua subterránea que presentan.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 SERIES TEMPORALES

Conocida también como serie cronológica, es la sucesión de observaciones cuantitativas ordenadas en el tiempo de un fenómeno (INEI, 2006). Los datos tienen un orden que no es posible variar. La información puede ser mensual, trimestral, anual o de cualquier otro intervalo temporal (INEI, 2006).

Von Asmuth (2012) indica que los autores Box & Jenkins (1970) son los que publicaron la primera teoría de la modelación de series temporales univariadas, para ser generada por una transformación lineal de una señal de entrada al azar. La señal de entrada se considera que es un proceso estocástico, mientras que la respuesta característica del sistema analizado, se calcula minimizando la función de probabilidad, o un criterio de mínimos cuadrados de la serie de ruido (Von Asmuth , 2012).

2.2 Componentes de las series temporales

Los datos de un fenómeno se representan ordenados en el tiempo. Según el enfoque clásico una serie es el resultado de cuatro componentes: tendencia, variaciones o fluctuaciones estacionales, variaciones o fluctuaciones cíclicas y variaciones irregulares, accidentales, residuales, como se aprecia en el gráfico siguiente, (INEI, 2006).

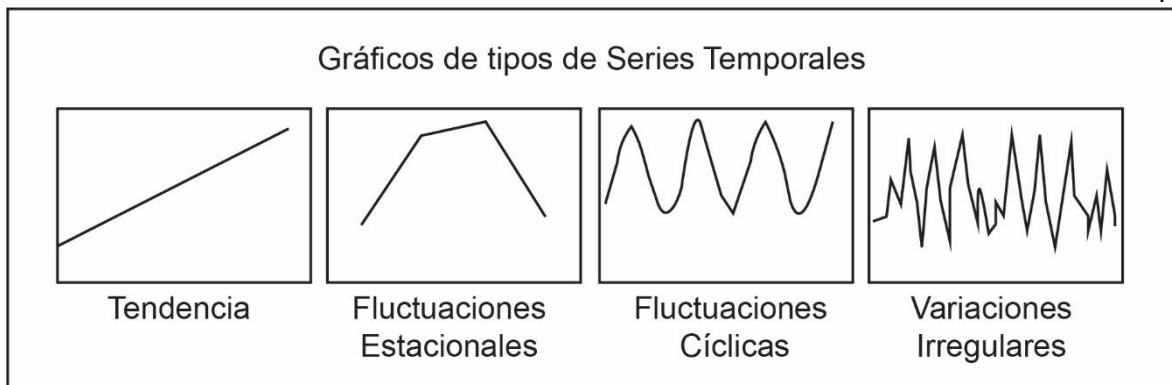


Figura 2. Gráficos de los componentes de las series temporales, modificado de (INEI, 2006).

Tendencia

Es un componente del análisis clásico de series temporales, refleja el movimiento de la serie en el largo plazo (crecimiento, decrecimiento o estancamiento) (INEI, 2006). Es necesario un número suficientemente grande de observaciones para determinar una tendencia (INEI, 2006).

Variaciones o Fluctuaciones Cíclicas

Se conoce también como ciclos o ciclicidad, es un conjunto de fluctuaciones en forma de onda o ciclos, de más de un año de duración, producidas por cambios en las condiciones climáticas (INEI, 2006). Refleja movimientos de la serie a medio plazo producidos con un período superior al año, debido a alternancias de incrementos y descensos de los niveles de agua. Se suelen superponer distintos ciclos, siendo muy difíciles de aislar (INEI, 2006).

Variaciones o Fluctuaciones Estacionales.

Son oscilaciones a corto plazo producidas en un período inferior al año (mes, trimestre) y que se repiten de forma reconocible dentro de cada periodo de 12 meses, año tras año, como se observa en la Figura 3. Se deben a factores climatológicos, biológicos, institucionales, culturales (INEI, 2006).

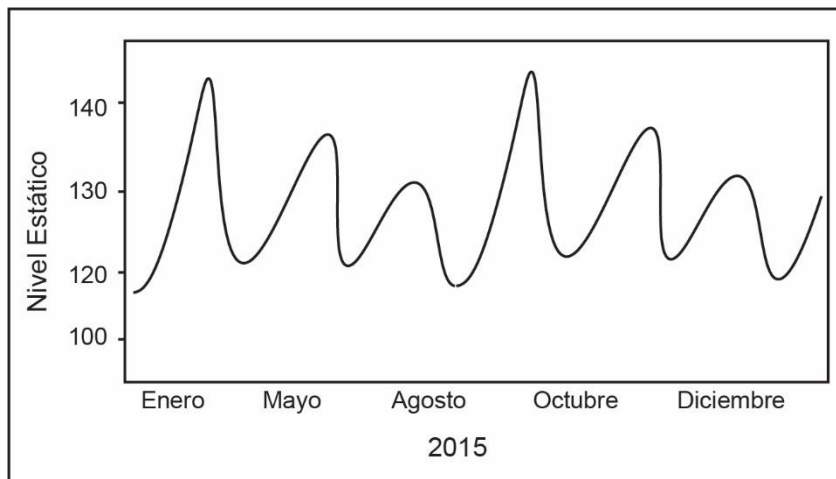


Figura 3. Gráfico de las fluctuaciones estacionales, modificado de (INEI, 2006).

Variaciones Irregulares o aleatoriedad.

Es un comportamiento irregular que está compuesto por fluctuaciones causadas por sucesos impredecibles o no periódicos, movimientos de muy corto plazo, sin un carácter periódico reconocible, ocasionados por fenómenos singulares o fortuitos que producen efectos casuales y no permanentes como el clima, en la figura 4 se observan un ejemplo de este tipo de fluctuaciones (INEI, 2006).

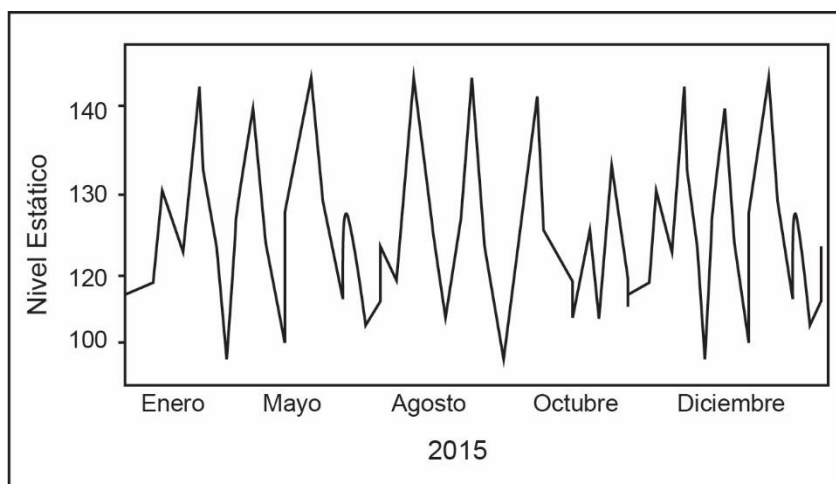


Figura 4. Gráfico de las fluctuaciones irregulares, modificado de (INEI, 2006).

2.3 Superficie Piezométrica

Custodio & Llamas, (1996) definen la superficie piezométrica como el lugar geométrico de los puntos que señalan la altura piezométrica de cada una de las porciones de un acuífero referidas a una determinada profundidad. Se las representa mediante líneas de igual altura piezométrica, de forma similar a la representación de una superficie topográfica mediante curvas de nivel, se les denomina isopiezas o curvas de igual altura de agua.

La superficie freática es la que define el límite de saturación de un acuífero libre y coincide con la superficie piezométrica a los puntos situados en el límite de saturación. Para el caso de acuíferos confinados son más elevadas que el techo de los mismos, excepto algunas veces en las proximidades de captaciones que producen un gran descenso del nivel del agua (Custodio & Llamas, 1996).

Para determinar la profundidad del nivel piezométrico se mide la distancia desde la superficie del terreno hasta el nivel del agua y se sustrae la elevación.

2.3.1 Oscilaciones de los niveles piezométricos

De acuerdo a los autores Custodio & Llamas (1996), el nivel de aguas subterránea varía con el tiempo de forma muy diversa, las variaciones pueden ser provocadas por mareas, cambios de presión atmosférica, sobrecargas rápidas pueden llegar afectar y condicionar la explotación de un acuífero por disminución de agua en los pozos y en el acuífero, mayor elevación del bombeo. Dicha medición se realiza en pozos o en piezómetros con dispositivos que determinan la medición. Las variaciones de los niveles piezométricos con el tiempo se visualizan en hidrogramas (figura 5), donde se puede visualizar las oscilaciones, la tendencia de las variaciones de niveles. Las oscilaciones periódicas se pueden estudiar por análisis armónico, la tendencia de forma estadísticas. De forma general el nivel piezométrico medio en los acuíferos en un largo periodo, es constante, excepto que se le hayan introducido cambios sustanciales como recarga o descarga (Custodio & Llamas, 1996).

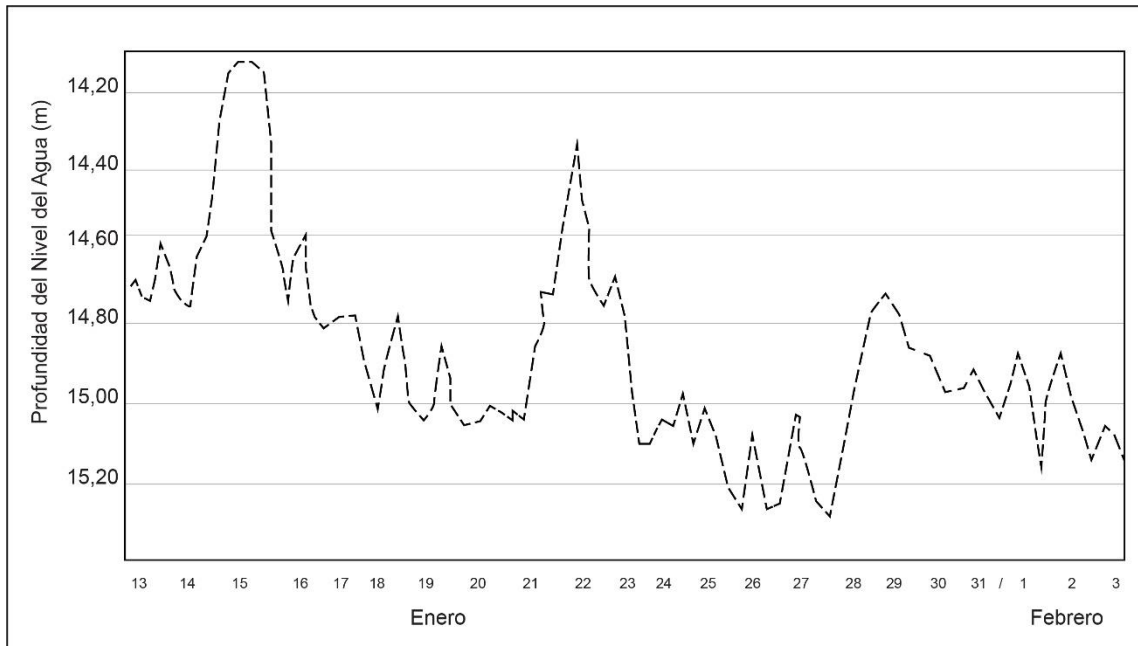


Figura 5. Hidrograma de variaciones del nivel piezométrico de un acuífero profundo, se observan las variaciones diarias y semanales (modificado de Custodio & Llamas ,1996).

Custodio & Llamas (1996) clasifican las oscilaciones del agua subterránea, las cuales se presentan a continuación:

- a) Oscilaciones rápidas, cuya duración varía desde menos de un minuto a poco más de un día.
- b) Oscilaciones de período largo que se repiten en base a un ciclo semianual, anual o de varios años.
- c) Oscilaciones de período medio, con frecuencia semanal.

A su vez dichas oscilaciones piezométricos pueden ser el resultado de causas directas e indirectas, que suponen un cambio en el almacenamiento subterráneo, por ejemplo:

- a) Sucesión de épocas secas y húmedas.
- b) Variaciones de niveles en ríos y lagos conectados directamente al acuífero.
- c) Extracción de agua por bombeo o recarga por inyección, recarga de épocas de incrementos de lluvias.

Causas indirectas, las cuales en especial se presentan por cambios de presión, que no suponen variación del agua almacenada, principalmente para acuíferos confinados, por lo menos en periodos breves de tiempo, como lo son:

- a) Efectos de cambios en la gravedad, mareas.
- b) Cambios en la presión atmosférica.
- c) Efectos de sobrecargas rápidas o propagación de ondas elásticas.

2.3.2 Variaciones del Nivel Piezométrico

Considerando el tema del presente estudio, se van a definir los siguientes tipos de variaciones del nivel piezométrico, según su origen (Custodio & Llamas, 1996).

2.3.3 Extracción de agua subterránea

El bombeo de un pozo, genera un descenso del nivel piezométrico, rápido al inicio de la extracción y luego cada vez más lento, al detenerse el bombeo los niveles ascienden nuevamente a su posición inicial, rápidamente al inicio y luego más lentamente, esto se observa en la figura 6, donde se muestra el efecto de inicio del bombeo diario de un pozo y la interferencia de pozos cercanos.

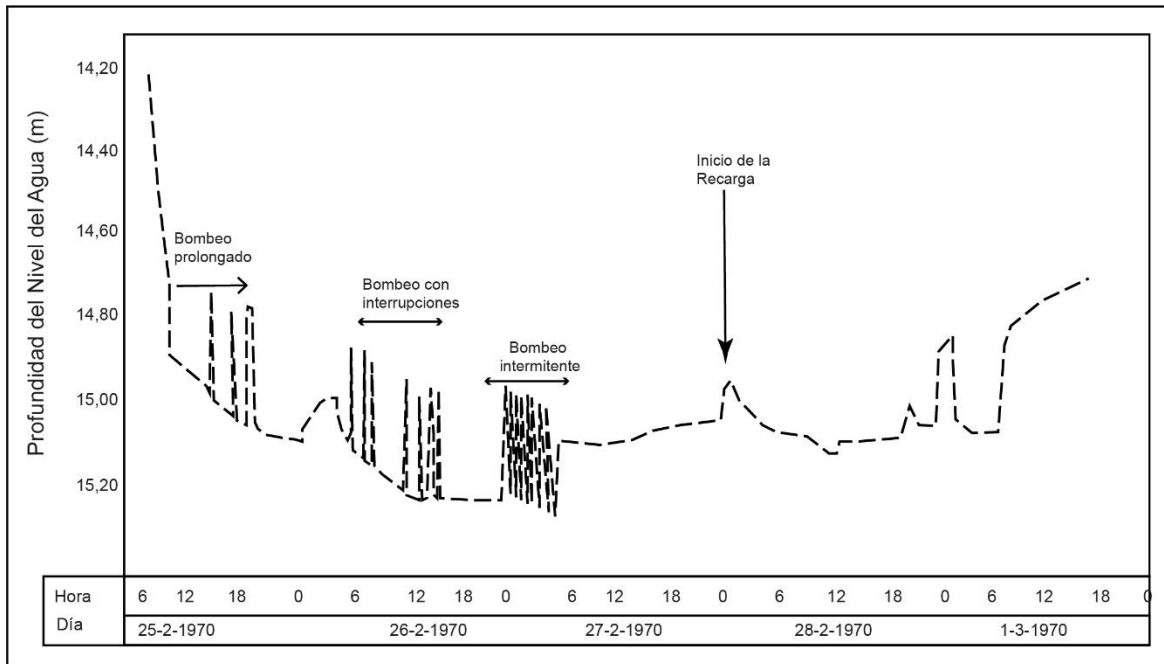


Figura 6. Oscilaciones piezométricas (Modificado de Custodio & Llamas, 1996).

Los autores Andreassen y Bookhart (1963), en Custodio & Llamas (1996) determinan el fenómeno a través del esfuerzo que transmite al terreno la bomba para elevar el agua, si el acuífero bombeado es libre, se da una disminución del agua, lo cual carga al acuífero inferior y por eso tiende a disminuir el nivel piezométrico oponiéndose al efecto anterior. Cuando el acuífero inferior es semiconfinado, va a ceder agua al acuífero bombeado, con ello su nivel piezométrico va a descender paulatinamente, en los primeros momentos del bombeo existe una subida de nivel a partir de la cual inicia el descenso, llamado efecto “Noordbergum”.

2.3.4 Recarga por la precipitación, efectos estacionales.

Una de las fuentes principales de recarga a los acuíferos es la infiltración profunda del agua de lluvia, la cual tiene un carácter intermitente (Custodio & Llamas, 1996). La recarga hídrica se presenta de forma discontinua, con mayor intensidad en unas épocas que en otras y variable con los años. Este fenómeno va a generar una elevación del nivel de agua y después el agua aportada se extiende hacia los lugares de descarga, lo cual produce un descenso en los niveles hasta el siguiente período de recarga (Custodio & Llamas, 1996).

Para acuíferos con niveles de agua subterránea profundos, las variaciones estacionales quedan amortiguadas en profundidad, en acuíferos profundos, solo pueden observarse de forma marcada las diferencias pluviométricas de un año a otro, cuanto más profundo es el nivel freático, mayor es el retraso del efecto de recarga (Custodio & Llamas, 1996).

2.3.5 Fluctuaciones de gran periodo y tendencia de los niveles piezométricos

Desde el punto de vista hidráulico, no todos los años son iguales, y con ello los niveles de agua subterránea varían, estas variaciones pueden ser pequeñas, dado que el acuífero presenta un almacenamiento elevado. Con la sucesión de varios años secos o lluviosos se puede generar la impresión de que los niveles piezométricos tienen una tendencia a subir o bajar, en la figura 7 se observa el desfase de 2 años de la lluvia con respecto a los niveles de agua, dado lo profundo del acuífero.

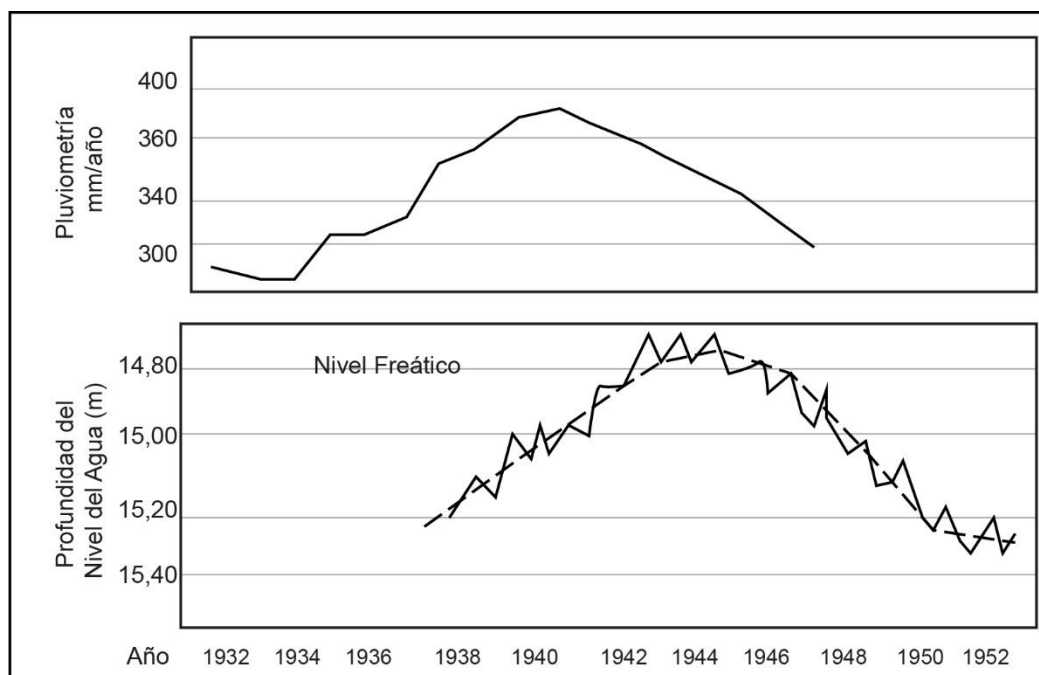


Figura 7. Variaciones a largo plazo de la precipitación y de los niveles de agua subterránea (Modificado: Custodio & Llamas, 1996).

2.4 Geoestadística

Giraldo (2002), indica que el estudio de fenómenos con correlación espacial, por métodos geoestadísticos, inició con el análisis en el ámbito de la minería a mediados del siglo XX. El autor menciona en su texto a dos autores reconocidos en el ámbito de la geoestadística como lo es Sichel, (1947 & 1949) quien observó la naturaleza asimétrica de la distribución del contenido de oro y la equiparó con una distribución de probabilidad; además indica que el geólogo Danie Krige en 1951, postuló el método de medias móviles, el cual puede considerarse como el equivalente al kriging simple. Durante la década de los sesenta se obtuvo la solución al problema de predicción o estimación, elaborado por Georges Matheron, el cual indica que la geoestadística como "la aplicación del formalismo de las funciones aleatorias al reconocimiento y estimación de fenómenos naturales" (Giraldo, 2002).

La implementación de la estadística en campos ambientales, permite un análisis geoestadístico, que vincula los datos o valores, y permite realizar correlaciones que dan como resultados predicciones o posibles comportamientos del muestreo. La incursión de los sistemas de información geográfica (S.I.G.), funciona como una herramienta en el estudio de la información georreferenciada (Giraldo, 2002).

Las condiciones del medio ambiente, son generalmente determinadas por variables que son de interés científico, como la salinidad del suelo, la contaminación por metales pesados, el contenido de arsénico en aguas subterráneas, las precipitaciones, la presión barométrica, las fluctuaciones del nivel del agua subterránea, todas estas variables son de carácter continuo, pero en general podemos medir propiedades de forma finita en diversos lugares. La mejor aproximación que podemos realizar es por medio de la estimación o predicción (Webster & Oliver , 2007).

Por medio de la geoestadística se expresa el conocimiento intuitivo cuantitativo y luego se utiliza para la predicción, inevitablemente se presentarán errores en las estimaciones, por ello se debe de reducir al mínimo los errores y estimaciones (Webster & Oliver , 2007).

La geoestadística que ha sido utilizada como una herramienta de gestión del recurso hídrico, a la vez se ha utilizado en la aplicación de fluctuaciones del nivel de agua subterránea, la utilización de métodos como el kriging ordinario y universal, con la cual se

detectó regiones críticas, las cuales pueden ser intervenidas dentro de sistemas de planificación y prevención de la gestión hídrica (Ahmadi & Sedghamiz, 2007).

La predicción geoestadística difiere de la estimación clásica, dado que se basa en modelos espaciales, además las variables son aleatorias, se debe de considerar principalmente la cobertura de los sitios de muestreo y si estos son suficientes (Webster & Oliver, 2007).

Díaz (2002) indica que la aplicación de la geoestadística se ha utilizado en ciencias aplicadas y en ingeniería, por ejemplo, en la industria del petróleo, salud pública, minería, pesca, geofísica, hidrogeología, medio ambiente, estudios forestales, ingeniería civil, procesamientos de imágenes, cartografía, meteorología y edafología.

2.4.1 Estadística Espacial

Consiste en el conjunto de metodologías apropiadas para el análisis de datos que corresponden a la medición de las variables ubicadas en diferentes sitios de una región, por medio de un proceso estocástico (Emery, 2013).

2.4.2 Variable Regionalizada

Representa una variable medida en el espacio, la cual se correlacionará, dada su información, obtenida en un sitio X y está constituida por una variable Z .

Emery (2013), indica que la geoestadística se define como el estudio de fenómenos regionalizados, es decir, que se extienden en el espacio (espacio geográfico, eje temporal, espacios abstractos) y presentan una cierta continuidad, a las cuales se les designa como variables regionalizadas, que permiten la medición de propiedades o atributos relacionados con el fenómeno, como por ejemplo la porosidad y la permeabilidad de la roca en un reservorio de petróleo o en un acuífero. Dicha variable regionalizada es una función determinística, esta función presenta dos aspectos complementarios: por una parte, tiene una continuidad espacial y varía irregularmente y escapa a toda representación simple, ver figura 8.

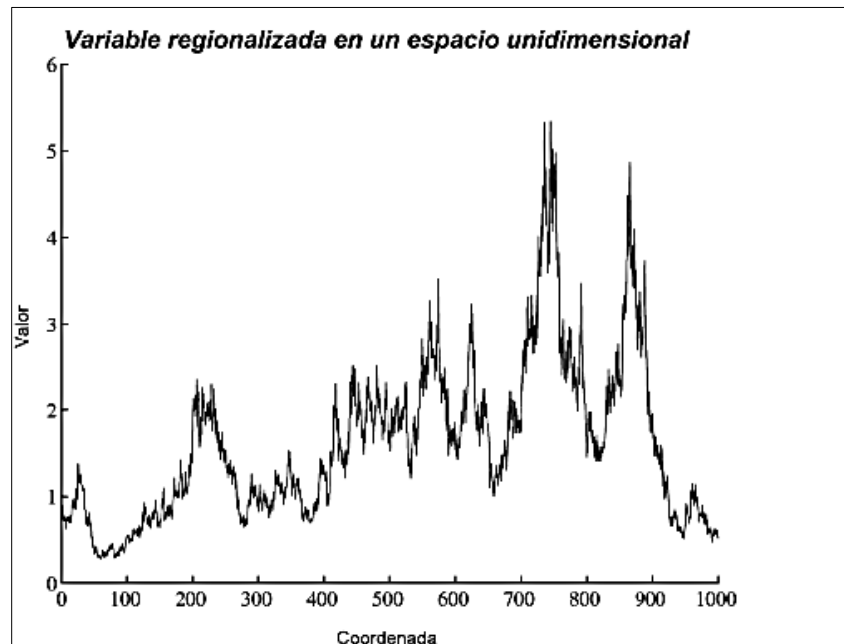


Figura 8. Variable regionalizada en un espacio unidimensional. Por ejemplo, podría representar la concentración de un contaminante medido lo largo del tiempo en una estación de monitoreo (Tomado de Emery, 2013).

2.4.3 Soporte

Una variable regionalizada puede definirse, no sólo en cada punto del espacio, sino que también en una superficie (2D) o en un volumen (3D) (Emery, 2013). Esta superficie se denomina **soporte**. Este soporte puede ser muy pequeño tipo “punto” o voluminoso como las unidades de explotación o remediación para sitios contaminados (Emery, 2013).

Efecto soporte

Es la dependencia que existe entre el soporte y la distribución estadística de los valores, conocida como efecto de soporte: los soportes voluminosos presentan una menor cantidad de valores extremos y una mayor cantidad de valores intermedios que los soportes puntuales (Emery, 2013).

La estadística espacial se subdivide en tres áreas, en geoestadística, lattices (enmallados) y patrones espaciales, a continuación, se realiza una breve descripción de cada una de ellas, según las define (Giraldo, 2002).

2.4.4 Geoestadística

Según indica Giraldo (2002), la geoestadística está conformada por un componente s como las ubicaciones de las variables, las cuales provienen de un conjunto D continuo y son seleccionados por el investigador (D fijo), el autor cita los datos de nivel de un contaminante en diferentes sitios de una parcela, contenidos auríferos en una mina, valores de precipitación medidas en diferentes estaciones meteorológicas y niveles piezométricos del acuífero, los ejemplos anteriores presentan una continuidad espacial, donde se puede dar una medición de las diversas variables, dado que si no hay continuidad espacial pueden hacerse predicciones carentes de sentido, indica el autor.

2.4.5 Lattices (enmallados)

Corresponde con las ubicaciones (s), las cuales pertenecen a un conjunto D *discreto* y son fijadas, se pueden presentar de forma regular e irregular espacialmente (Giraldo,2002). Las ubicaciones corresponden con agregaciones espaciales más que a un conjunto de puntos espaciales, para este caso el resultado de la interpolación puede ser de mejor calidad (Giraldo,2002).

2.4.6 Patrones Espaciales

En este caso, las ubicaciones (s) pertenecen a un conjunto D el cual puede ser *discreto* o *continuo* y la selección no depende del investigador (D *aleatorio*); ejemplo de ello son los muestreos en pozos, sitios de perforación, epicentros o cuadrantes de un área en particular (Giraldo,2002). Los datos se presentan de forma aleatoria, no dependen del investigador, donde una vez determinado su ubicación, puede determinar una serie de variables de dicho sitio (Giraldo,2002).

2.4.7 Etapas del análisis geoestadístico

Diaz (2002) indica que los datos deben estar correlacionados unos con otros, es decir que existe una dependencia espacial. Intuitivamente esto indica que mientras más cercanos estén situados dos puntos están más correlacionados y mientras más separados hay menos relación entre estos El proceso de estimación y modelación de la función que describe la correlación espacial es conocido como “análisis estructural”. Posterior a ello se

lleva a cabo la interpolación como etapa final del análisis geoestadístico por medio de técnicas de interpolación "kriging" o simulándolos a través de "simulaciones condicionales" (Díaz ,2002).

Dicho análisis exploratorio de datos, utiliza las técnicas de estadísticas, que permiten obtener todo un conjunto de información, desconocida a priori sobre la muestra bajo estudio, que es imprescindible para realizar correctamente cualquier análisis estadístico y en particular un análisis geoestadístico (Díaz,2002).

2.4.8 Análisis Estructural

Inicialmente se realiza un análisis estructural, donde se caracteriza la estructura espacial de un área o fenómeno, es el proceso donde se obtiene el modelo geoestadístico (Giraldo, 2002).

2.4.9 Predicción espacial

El tipo de interpolación a implementar, es recomendable, un análisis exhaustivo de los datos, posterior a ello, graficar la información, con ello se puede definir cuál metodología es más recomendable para aplicarse (Giraldo, 2002).

La metodología Kriging, es denominada así por el geólogo Danie G. Krige, que desarrollo trabajos en la predicción de reservas de oro y es considerado como uno de los pioneros en la implementación de la interpolación espacial (Giraldo, 2002).

El kriging representa un conjunto de métodos de predicción espacial, que se fundamentan en la minimización del error cuadrático medio de predicción. El tipo de predictor, se determina una vez definida la distribución de las variables aleatorias (Giraldo, 2002).

Díaz (2002), establece una clasificación para los diferentes tipos de kriging, las divide en estos tres grupos:

1. La forma del estimador:

- Lineales: Simple, ordinario, universal y residual
- No lineales: disyuntivo, indicador y probabilístico.

2. Tipo de medición de los datos
 - Puntual
 - En bloques

3. Paramétrico
 - multigaussiano, disyuntivo y lognormal

Kriging no paramétrico consiste en la estimación de la tendencia en un punto x considerando un promedio ponderado de las respuestas, donde se le da mayor peso a las respuestas cercanas y menor peso a las lejanas, (Reyes, 2010). El autor las subdivide en simple, ordinario, universal, residual, indicador y probabilístico.

2.4.10 Representación por medio de mapas

Posterior a la predicción correcta, se elaboran los mapas donde se representan los comportamientos de las variables en la zona de estudio, generalmente se utilizan los mapas de contornos, donde se identifican las isolíneas, con ello se observa el comportamiento y su magnitud (Giraldo, 2002).

2.4.11 Georreferenciación de datos

Para el análisis espacial, se requiere que los sitios de muestreo presenten una ubicación por medio de coordenadas planas, geográficas o cartesianas, como se observa en el cuadro 1.

Cuadro 1. Matriz de georreferenciación de datos

ID Pozo	Latitud Norte	Longitud Este	Parámetro		
			Fecha	Nivel Dinámico	Temperatura

El tipo de anotación es una característica importante en los datos ambientales, dado que estos están compuestos por una ubicación espacial y temporal, como en el caso de los pozos que están conformados con información de medición, ubicación y tiempo. En el caso de los análisis estadísticos clásicos, los datos de ubicación son irrelevantes, caso contrario sucede con la geoestadística, donde sí se requieren de ubicación o coordenadas específicas (Giraldo, 2002).

El análisis de datos espaciales, se puede representar por medio de análisis gráfico, como lo son los histogramas, diagramas, gráficos de dispersión, estos evidencian tendencias en el valor promedio. Además, con la identificación de valores extremos, se puede evaluar la distribución, ubicación, variabilidad y correlación, con ello aplicar la metodología geoestadística conveniente (Giraldo, 2002).

2.5 Definiciones de Estadística

2.5.1 Varianza

Es una medida de la dispersión de la información, se obtiene como el promedio de los cuadrados de las desviaciones de los valores de la variable respecto de su media aritmética. Mide la distancia existente entre los valores de la serie y la media (INEI, 2006). La varianza siempre será mayor que cero. Mientras más se aproxima a cero, más concentrados están los valores de la serie alrededor de la media. Por el contrario, mientras mayor sea la varianza, más dispersos están los datos. Mide en el cuadrado de la unidad de la variable. Por ejemplo, si la variable viene dada en centímetros (cm), la varianza vendrá en centímetros cuadrados (cm²) (INEI, 2006).

2.5.2 Desviación estándar

La desviación estándar expresa la dispersión en las mismas unidades, como en los que se mide la variable, hay situaciones donde se requiere expresar en términos relativos, tal es el caso cuando se tiene una propiedad que medido en dos diferentes regiones para brindar dos valores similares de la desviación estándar (S) pero pueden presentar diferentes medias, además se suele representar en porcentaje, una de sus utilidades es que permite comparar la variación de diferentes conjuntos de observaciones de la misma propiedad (Webster & Oliver, 2007).

Distribución normal describe los errores en la observación, en el caso de las variables ambientales, como por ejemplo en suelos, son distribuidas de una forma que se aproxima a la distribución normal (Webster & Oliver, 2007). La distribución normal o Gaussiana es definida por la variable continua (Z) en términos de la función de densidad de probabilidad según la Ecuación 1 (Webster & Oliver, 2007).

Ecuación 1:

$$f(z) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(Z - \mu)^2}{2\sigma^2}\right]$$

μ : es la media de la distribución

σ^2 : es la varianza

La distribución normal se representa de forma vertical y en su sección transversal a través de la campana, es continua y simétrica, donde su pico es la media de la distribución, además de tener dos puntos de inflexión, cada uno de ellos a ambos lados de la media a la distancia de la variancia (σ) (Webster & Oliver, 2007). La ordena $f(z)$ es el valor dado de Z es la densidad de probabilidad en Z . El área bajo la curva es igual a 1, la cual es la total distribución de la probabilidad (Webster & Oliver, 2007).

Para la metodología de regresión lineal entre variables, se estable una regresión y correlación lineal entre una estación auxiliar y la estación en estudio con carencia de información, por medio de la siguiente ecuación

$$y = a + bx$$

y = valor estimado de la variable para la estación carente

x = valor de la variable registrada por la estación auxiliar

a, b = parámetros de regresión

Por medio de la gráfica de dispersión se determinó al grado de relación y se utilizó el coeficiente de correlación, para establecer la calidad de los datos y la intensidad de la relación del conjunto de variables (Ayala , Carrera-Villacrés, & Tierra, 2018).

El coeficiente de correlación o coeficiente de Person r , de -1 o de +1 indica una correlación perfecta, (ver cuadro 2). En caso no de presentarse ninguna correlación el valor es 0, cercano 0 tiene una débil relación. Se indica que en términos hidrológicos es aceptable que r sea mayor a 0.8 o menor que -0.8 (Ayala , Carrera-Villacrés, & Tierra, 2018).

Coeficiente de correlación r	Intensidad de relación lineal
$r=-1$	Correlación negativa perfecta
$-1 < r < -0,5$	Correlación negativa intensa
$r = -0,5$	Correlación negativa moderada
$-0,5 < r < 0$	Correlación negativa débil
$r= 0$	Sin correlación
$0 < r < 0,5$	Correlación positiva débil
$0,5 < r < 1$	Correlación positiva intensa
$r=1$	Correlación positiva perfecta

3. METODOLOGÍA

La metodología que se implementará en la investigación, consiste de cinco etapas, las cuales se describen a continuación:

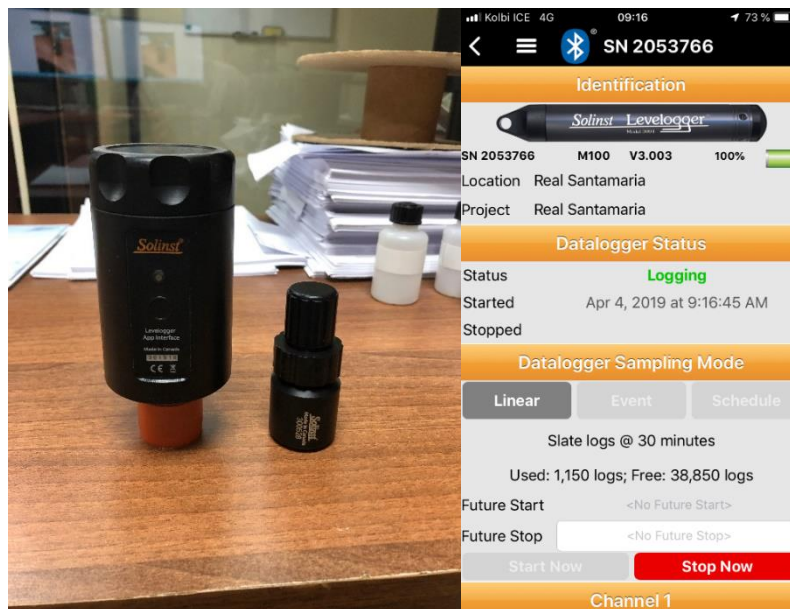
3.1 . Medición de datos

Desde el 2010 la Empresa de Servicios Públicos de Heredia, inicio con la instalación de sensores de niveles del agua subterránea en los pozos de abastecimiento público. Estos sensores se llaman *Levellogger*, de la marca canadiense Solinst®, y se han incorporado de forma paulatina en los diferentes pozos que se utilizarán en el estudio.

El registro de datos se hace de forma automática. La recolección de datos se hace de forma manual, visitando los pozos una vez al mes para descargar los datos registrados en la memoria del sensor. La recolección de datos se hace de forma automática en intervalos de tiempo definidos, se almacenan en el dispositivo y posteriormente se descargan en el campo con un Leveloader (unidad y descarga de almacenamiento de datos, fotografía 1) o una computadora portátil que cuente con el software apropiado. En oficina, los datos se descargan empleando el software *Levellogger* 4.1.2., en el diagrama 1 se observa el procedimiento indicado.



Diagrama 1 Proceso de recopilación de datos de los niveles de agua subterránea y temperatura de los pozos.



Fotografía 1 .Instrumento empleado para la obtención de datos en el campo: Leveloader Gold (izquierda) y un Levelogger modelo Edge (derecha) con su lector óptico.

3.2 Procesamiento de información

Los datos recolectados en el campo se procesan en la oficina con el software *Levellogger* 4.1.2., se exportan a una hoja electrónica, donde se organizan los datos en diferentes columnas que albergan la información de niveles de agua subterránea y temperatura y fecha de medición.

Los datos almacenados se depuran, para eliminar incongruencias en los valores, la tarea de recolección de datos y procesamiento original fue realizado por el Departamento de Recurso Hídrico de la ESPH.

3.3 Utilización del software Excel

El análisis geoestadístico nos permite simular los resultados, para ello se va utilizar el programa informático Excel, el cual nos permite realizar los gráficos, para determinar las tendencias o fluctuaciones de las variables a estudiar.

3.4 Interpretación de datos

La información procesada de los pozos y analizada geoestadísticamente, se interpretará según los resultados del software Excel, además del aporte de los datos analizados de precipitación, temperatura y extracción.

4. MATERIAL Y EQUIPO

4.1.1 Dispositivo para la medición de niveles de agua en pozos (Levellogger Edge)

Los dispositivos para la medición de niveles de agua en pozos registran también la temperatura del agua subterránea y superficial, mediante la combinación de un sensor de presión, un detector de temperatura, con una batería de litio de 10 años de duración y un registrador de datos, todo sellado dentro de una carcasa cilíndrica de acero inoxidable con revestimiento de PVD a base de Titanio (Solinst Canada Ltd., 2019).

Este instrumento, se puede aplicar en la caracterización de acuíferos, realizar pruebas de bombeo y slug, además del monitoreo de cuencas, almacenamiento de agua en los

acuíferos, aforos en corrientes de agua, lagos y embalses, mediciones de fluctuaciones de nivel de agua subterránea y mareas, entre otros usos aplicados a la hidrogeología y minería (Solinst Canada Ltd., 2019).

El instrumento se puede programar de forma lineal, basado en el tiempo que el usuario lo requiera, las lecturas se pueden realizar desde cada 1/8 segundo o hasta cada 9 horas, presenta la opción de muestreo comprimido (Solinst Canada Ltd., 2019).

El *levelogger* se introduce dentro del pozo, el cual queda suspendido con cables de acero inoxidable, los cuales, a su vez, permiten obtener la lectura directa de la información del pozo, programado previamente (Figura 9).

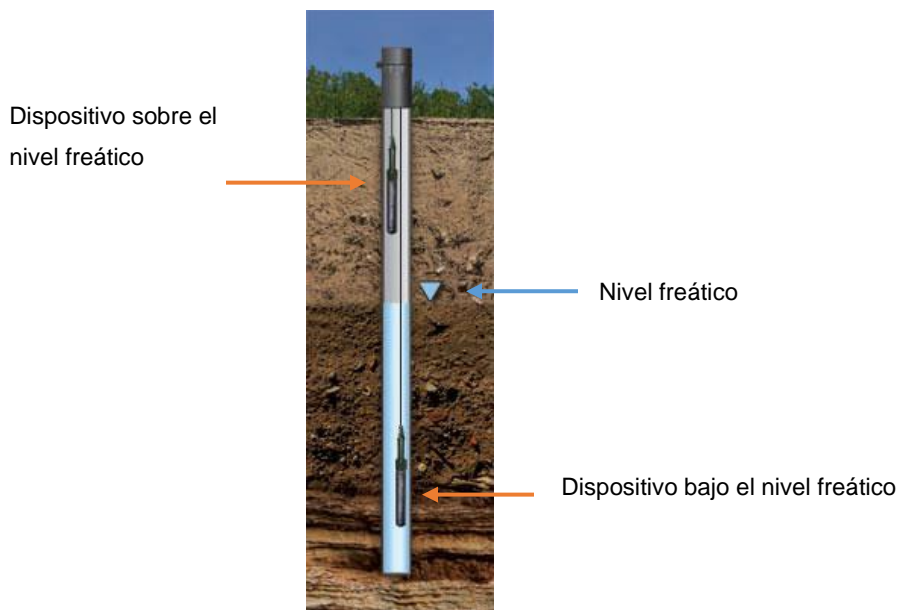


Figura 9. Dispositivo instalado dentro de un pozo, adherido a él, el cable de lectura directa (fuente: (Solinst Canada Ltd., 2019)

Para obtener los datos en tiempo real y en comunicación directa con los *Levelogger*, sin tener que sacarlos del pozo o agua, se instala el cable de lectura directa, este permite descargar los datos por medio de Leveloader o por medio de un cable USB a una computadora portátil, que cuente con el programa Software para Levelogger de Solinst, para visualizar la información recolectada (Solinst Canada Ltd., 2019).

5. SOPORTE INSTITUCIONAL

EMPRESA DE SERVICIOS PUBLICOS DE HEREDIA

- Brinda la información recopilada de los pozos con monitoreo de niveles de agua subterránea, además del aporte de técnicos del departamento UEN de Agua Potable.

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

- Las instalaciones del centro educativo serán utilizadas como centros de reunión con el comité asesor, información de las bases de datos de la Escuela Centroamericana de Geología y del sistema de bibliotecas de la universidad, además de los bases de datos en línea.
- El acompañamiento de al menos un miembro del comité asesor.

Servicio Nacional de Aguas Subterráneas, Riego y Avenamiento (SENARA)

- Recopilación de la información de datos de pozos de la Base de datos de la institución, la cual será para aporte de la investigación, sin ningún costo para el investigador.

INSTITUTO METEREOLÓGICO NACIONAL

- Brinda la información meteorológica de la zona de estudio, de forma gratuita al investigador, el cual se compromete al finalizar la investigación, la entrega de los resultados al instituto.

SOLINST GROUNDWATER AND SURFACE WATER MONITORING

- Dentro del comité asesor, se presenta personal activo de la empresa, el M. Sc Mauricio Vásquez, con el aporte de información de los dispositivos de monitoreo, al igual con información hidrogeológica.

6. CONDICIONES CLIMÁTICAS, GEOLÓGICAS E HIDROGEOLÓGICAS DE LA ZONA DE ESTUDIO

6.1 RED DE POZOS DE LA ESPH A ANALIZAR

En el capítulo 1, se visualiza la figura 1, donde se presentan los doce pozos a analizar. De los 12 pozos, tres de ellos se ubican en San Rafael de Heredia el Burial, Joya 1, Joya 2. El resto se ubican en el cantón Central de Heredia: al oeste el Aurora 2 y Aurora 3, en la sección central del cantón se ubica el pozo Malinches y San Vicente, el pozo PRI-II y Montealegre al Suroeste, Esperanza 1A, Esperanza 2 y Real Santamaría al Sur del cantón.

Se presenta a continuación una ficha técnica de los pozos, en la Cuadro 3 y en el cuadro 4 las características operativas de cada pozo.

Cuadro 3.Descripción de pozos a analizar (ESPH, 2018)

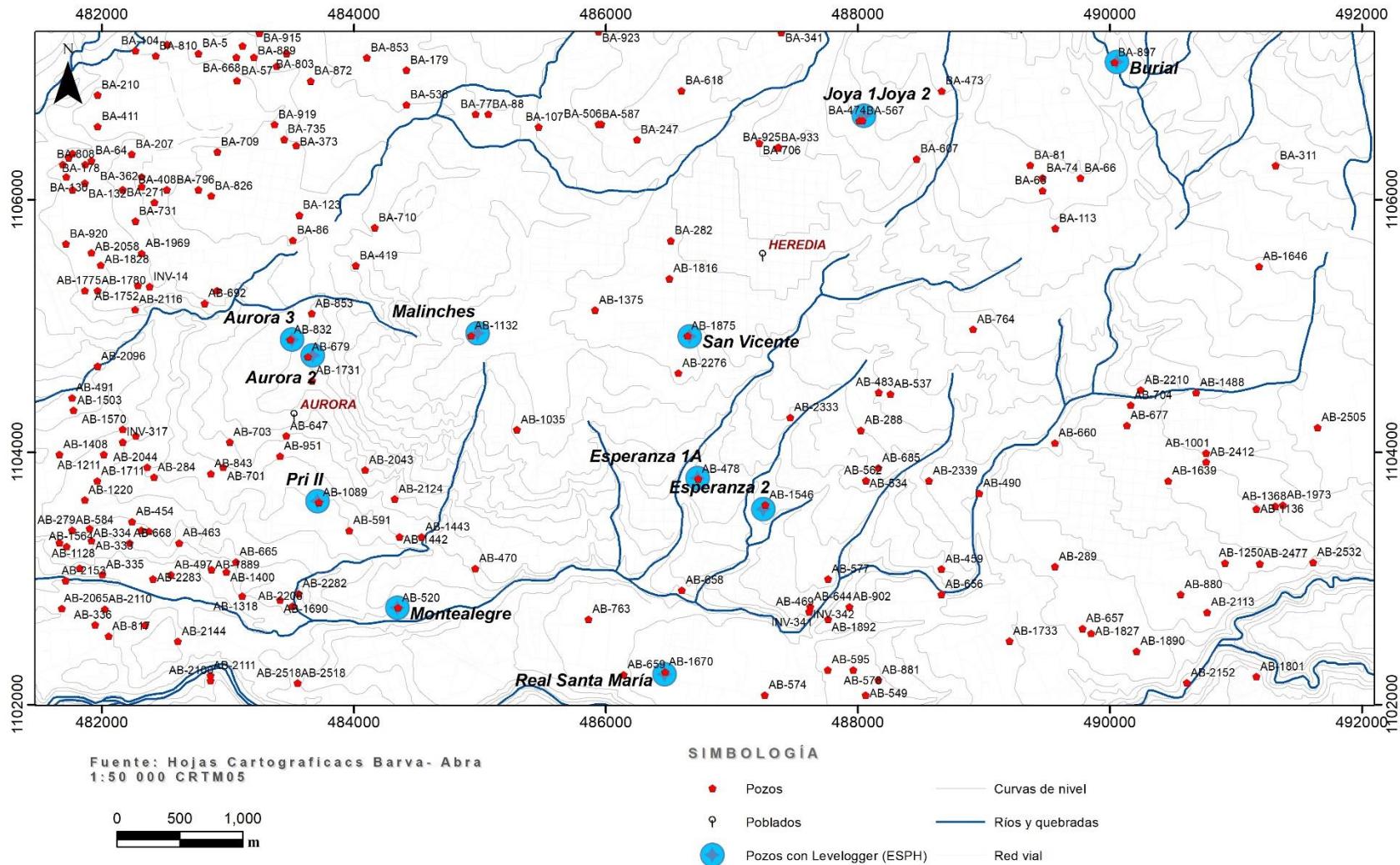
Pozo	Ubicación	Latitud	Longitud	Altura (m s.n.m.)	Año de perforación	Código SENARA	Estado	Caudal solicitado (L/s)
Burial	Concepción de San Rafael, Heredia.	490,058	1,107,090	1260	2008	BA-0897	En operación.	40
La Joya I	San Rafael, Heredia.	488,051	1,106,663	1220	1995	BA-0474	En operación.	25
La Joya 2	San Rafael, Heredia.	488,051	1,106,663	1220	1997	BA-0567	En operación.	25
Aurora 2	Ulloa, Heredia.	483,675	1,104,764	1146	1979	AB-0679	En operación.	10
Aurora 3	Ulloa, Heredia.	483,512	1,104,890	1136	1979	AB-0832	En operación.	20
San Vicente	Cantón Central, Heredia.	486,668	1,104,915	1127	1998	AB-1875	En operación.	90
Malinches	San Francisco, Heredia.	484,985	1,104,940	1127	1989	AB-1132	En operación.	60
Esperanza 1A	Guararí, Heredia.	486,730	1,103,793	1070	2003	AB-0478	En operación.	15
Esperanza 2	Guararí, Heredia.	487,251	1,103,546	1067	1993	AB-1546	En operación.	50
Montealegre	Barreal, Heredia.	484,348	1,102,765	988	1973	AB-0520	En operación.	40
Real Santamaría	Lagunilla de Heredia.	486,467	1,102,237	1070	1995	AB-1670	En operación.	50
Pri-II	Ulloa, Heredia.	483,715	1,103,610	1005	1987	AB-1089	Fuera de operación. Sin motor ni bomba.	72.4

Cuadro 4. Descripción de características operativas de los pozos (ESPH).

Pozo	Profundidad (m)	Profundidad Nivel estático (m)	Profundidad Nivel dinámico (m)	Profundidad sensor (Levelogger) (m)	Rejilla	Acuífero captado
Burial	289	255.5	258	266	189-195 m 227-277 m 283-289m	Colima Superior e Inferior
La Joya I	200	130	134	-	155 -185 m 190-200 m sin tubería	Colima Superior
La Joya 2	350	243	258	273	214-236 m 250-267 m 268-287m 318-324m 345-350m	Colima Inferior
Aurora 2	143	110	112	126	120-143 m	Colima Superior
Aurora 3	128	103	106	109	103-128 m	Colima Superior
San Vicente	244	159	161	170	154-158 m 178-190 m 196-240 m	Colima Superior e Inferior
Malinches	245	154.6	156		A partir de los 200 metros de profundidad tiene abertura, hasta los 245 metros.	Colima Superior e Inferior
Esperanza 1A	246	99	102	115	138-144 m 160-166 m 175-178 m 182-193m 197-205 m 217-222 m 234 -239 m	Colima Superior
Esperanza 2	134	90	96	104	86-103	Colima Superior
Montealegre	76.2	45	51	52	48.5-61 m	Colima Superior
Real Santamaría	245	80	Entre 89 y 92	105	125-158 m 158-245 m	Colima Superior e Inferior
Pri-II	165	73	120	-	87.84 -104 m	Colima Superior e Inferior

6.2 INFORMACIÓN DE POZOS EXISTENTE EN LA ZONA DE ESTUDIO

Según la base de datos del SENARA, en los cantones de San Rafael y Heredia, la distribución espacial se observa en la figura 10 y se adjunta la lista con la información de los pozos en el anexo 1.



Fuente: Hojas Cartograficas Barva- Abra
1:50 000 CRTM05

SIMBOLOGÍA

- Pozos
- ♀ Poblados
- Pozos con Levellogger (ESPH)
- Curvas de nivel
- Ríos y quebradas
- Red vial

Figura 10 .Mapa de ubicación de pozos para los cantones de Heredia y San Rafael, elaboración propia partir de datos del SENARA y ESPH.

6.3 INFORMACIÓN DE ESTACIONES METEOROLÓGICAS EXISTENTES EN LA ZONA DE ESTUDIO

El área de estudio se ubica en la Región Central, la cual se presenta en el centro del país, esta región es limitada al norte por la Cordillera Volcánica Central y al sur por los Cerros de Escazú, Tablazo, Cedral y la Fila Candelaria, al oeste por los Montes del Aguacate y al este por las estribaciones de la Cordillera de Talamanca. (IMN , sf).

Dentro de esta unidad se distinguen dos valles: el Valle Central Occidental, separado del primero por los cerros de la Candelaria y Ochoмого. El Valle Oriental que comprende los valles de El Guarco y Orosí. Esta región es afectada por condiciones del Pacífico (Zona de Convergencia Intertropical y los vientos ecuatoriales) y la influencia Caribe (vientos alisios del noroeste, con nubosidad y lluvias débiles) (IMN , sf).

El Valle Occidental es más lluvioso (2300 mm) que el Valle Oriental (1700 mm). El Valle Oriental es más bajo (m s.n.m), cálido y de con mayor precipitación, principalmente en los meses de setiembre y noviembre, con una mayor influencia del Pacífico. En el caso del Valle Oriental se presenta un incremento de lluvia en los meses de final y principio de año, donde el mes de diciembre se presenta como uno de los más lluviosos, es asociada con el efecto de los frentes fríos sobre el Caribe y su influencia directa en la Región Central. (IMN , sf).

La época seca para el Valle Occidental se presenta desde julio hasta setiembre (fenómeno El niño 1997-1998) (IMN , sf).

La variabilidad climática, puede causar eventos extremos, los eventos lluviosos, están asociados con la presencia de las fases de ENOS, el 75% de los casos de lluvia extrema en el occidente son asociados con La Niña y en el Oriental estos eventos lluviosos se asocian en el 72% al El Niño. Los extremos secos son más severos en el occidente y pueden afectar desde junio (IMN , sf).

Según el Instituto Meteorológico Nacional (I.M.N), existen tres estaciones meteorológicas cercanas al área de estudio, se localizan en Santa Lucía de Barva de Heredia, Santa Bárbara y en Santo Domingo de Heredia, la Figura 13 muestra su ubicación. En el anexo 2, se presenta la información recopilada de las estaciones meteorológicas.

Cuadro 5. Ubicación de estaciones meteorológicas del Instituto Meteorológico Nacional.

Número	Nombre	Cantidad de datos	Altitud (m.s.n.m.)	Latitud Norte	Longitud Oeste
84111	Santa Lucía	675	1200	1108173	487759
84121	Tibás	731	1162	1101475	490955
84193	Pavas, Aeropuerto	731	997	1100924	484894
84277	La Aurora	1823	1025	1104335	483494
84205		720	1389	1109340	488703
84243	Cias Agrarias, Santa Lucía	1396	1257	1108265	487759

La estación con información de precipitación completa es la 84277 (Estación La Aurora), esta estación es la que se utiliza para determinar las variaciones de la precipitación en la zona de estudio, dado que es la más cercana al área de estudio con mayor información.

Para el período 2013-2017, se presenta un total de 328 mm de precipitación, en la figura 11 se observa el porcentaje de precipitación para cada año, el 2013 inicia con un 20,7 % lo cual equivale a 68 mm, en el 2014 se registraron 62,7 mm lo cual equivale a 19%, desciende en el 2015 a un 16,3 % (53,7 mm), en el 2016 se registraron 61,9 mm (18.8%) y finalmente para el 2017 se reporta un valor de 24,9%, lo cual equivale a 82 mm de precipitación. la figura 12, se presenta la distribución diaria de la precipitación, con evidencia de las dos épocas seca y lluviosa.

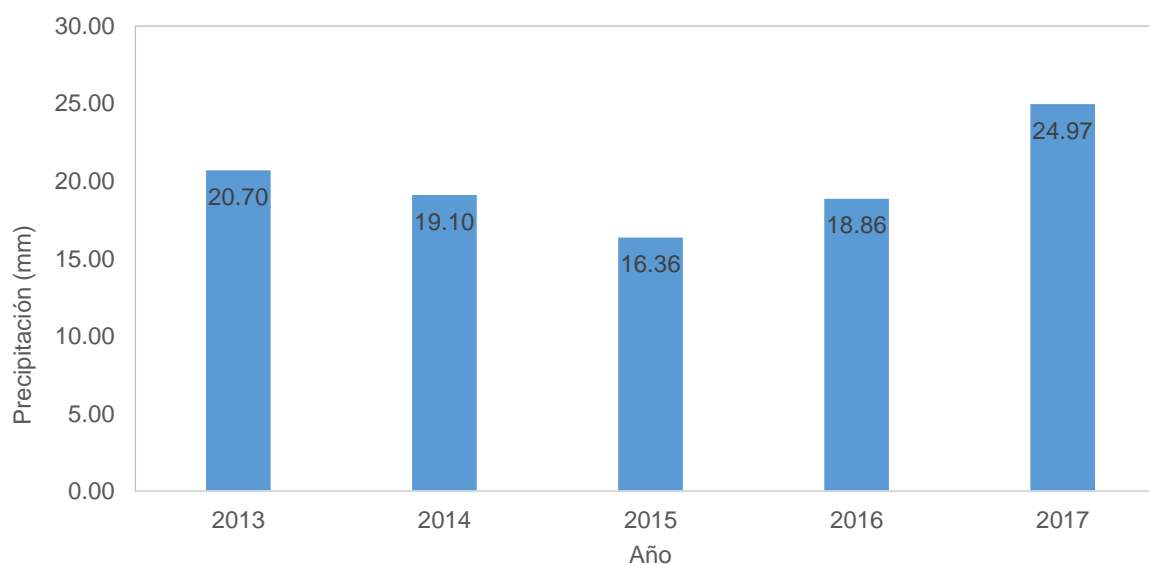


Figura 11. Porcentaje de precipitación por año para la estación La Aurora.

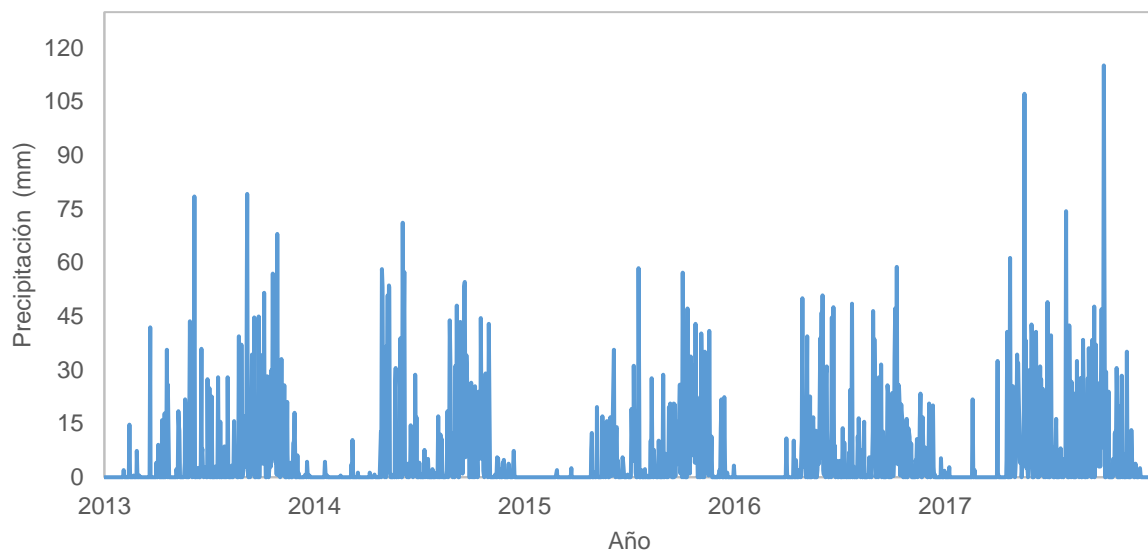


Figura 12. Precipitación diaria estación 84277, La Aurora.

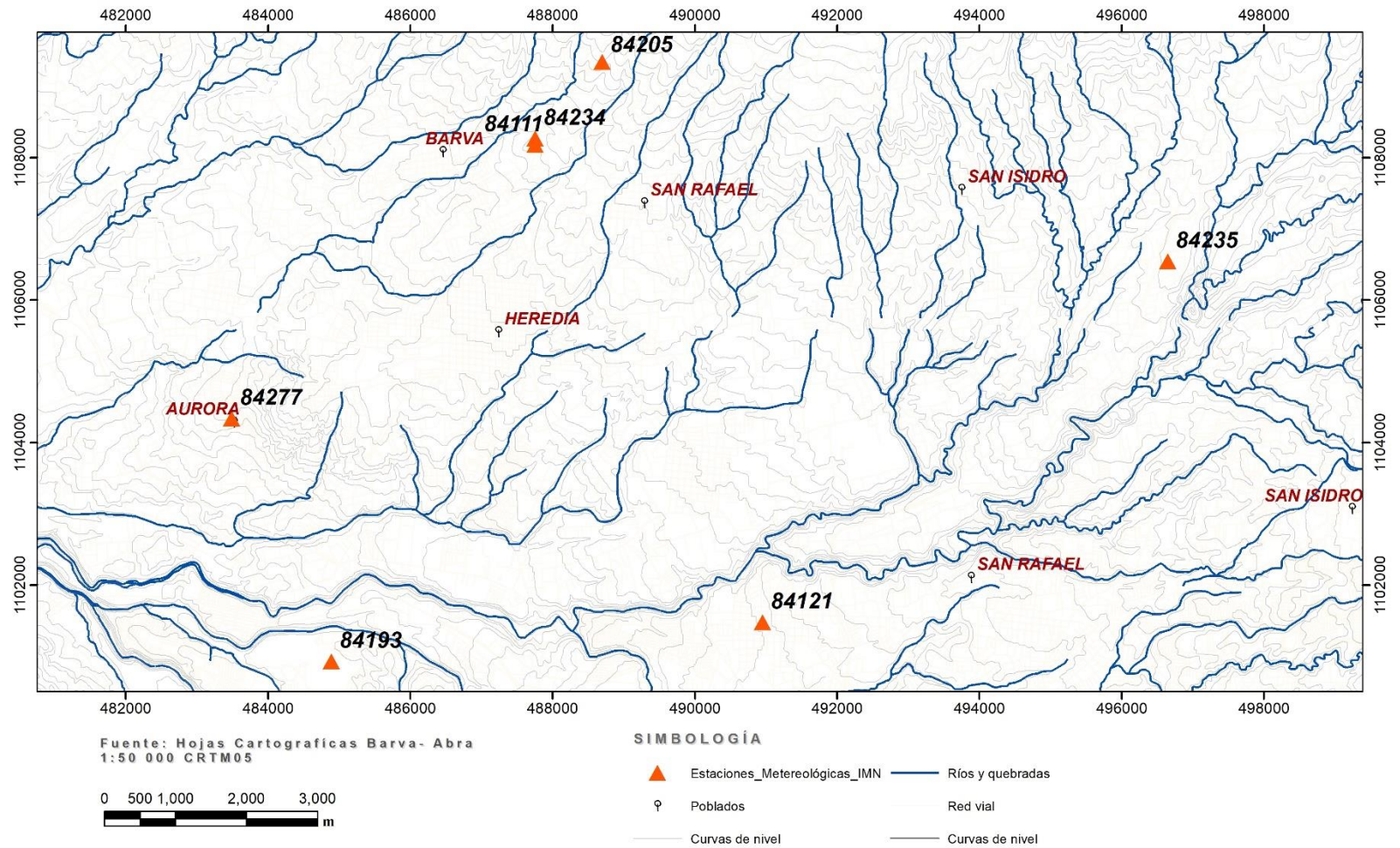


Figura 13. Mapa de ubicación de estaciones meteorológicas IMN, elaboración propia partir de datos del IMN,2017-2018.

6.4 GEOLOGÍA REGIONAL

La geología del área de estudio está conformada por formaciones geológicas origen ígneo; la actividad volcánica que inicio a finales del Plioceno y se extiende hasta el Holoceno. Echandi (1981) propuso reunir las distintas unidades volcánicas posteriores al Complejo Aguacate, provenientes de la Cordillera Volcánica y depositadas en el Valle Central Occidental en una unidad que se denominó Grupo Volcánico Central, donde describió las formaciones de la más antiguas a más recientes: Lavas Intracañón (Colima), Avalancha Ardiente (Tiribí) y Barva. La figura 14 muestra la columna estratigráfica de las formaciones geológicas y miembros que conforman el material de la zona de estudio; en la figura 15 se observa la distribución espacial de estas unidades.

Vásquez (2010) menciona que la parte norte del Valle Central Occidental abarca los macizos Poás y Barva, estratovolcanes complejos formados por secuencias de lavas de composición andesíticas principalmente e innumerables depósitos de capas de cenizas; este autor investigó el flanco sur de la estructura volcánica del Barva, coincidente con el área de estudio de esta investigación. En esta zona las unidades litológicas más antiguas se ubican hacia el este en el Complejo Zurquí y las más recientes hacia el volcán Barva.

A continuación, se describen las formaciones geológicas que afloran en el área de estudio.

Complejo Volcánico Zurquí

Vásquez (2010), indica que este complejo se ubica a lo largo de cerros situados al sureste del volcán Barva. Los cerros Chompipe, Zurquí, Caricias, Tibás, Delicias, Turú, Hondura, se han identificado como posibles focos volcánicos, especialmente por su morfología; aunque aún no se han en formaciones o miembros litológicos. El autor cita que esta formación ha sido descrita de forma general por BGS-SENARA (1988), Denyer et al. (1994) y Alvarado (2000), como una serie heterogénea de rocas, que incluye desde basaltos hasta dacitas, lavas, tobas, brechas, ignimbritas, lahares y diques.

La geología de la parte sur del Macizo Zurquí, indicada como Miembro Lahares Zurquí se compone de rocas de origen volcánico y fluvio volcánico, sobreyacida por extensos depósitos de lahares, coluvios y cenizas recientes, se presentan lavas, intrusivos

hipoabisales y diques de composición basáltica olivínica, autobrechas, lahares compactados, no compactados y tobas (Vásquez, 2010).

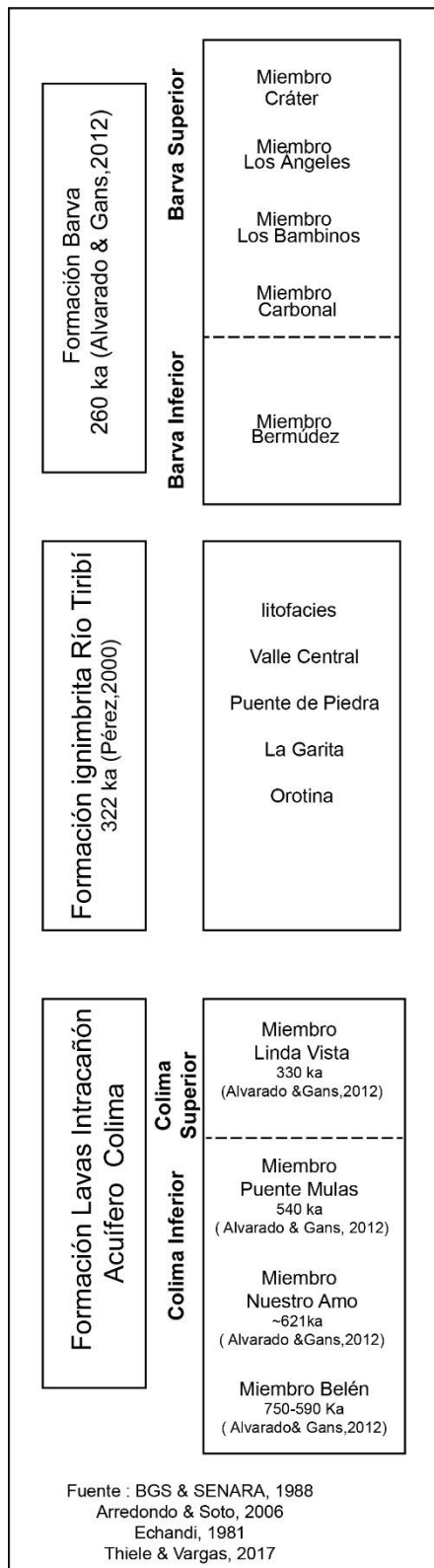


Figura 14. Columna estratigráfica de la zona de estudio modificado de BGS & SENARA (1988), Arredondo & Soto, 2006, Echandi (1981) y Thiele & Vargas (2017)

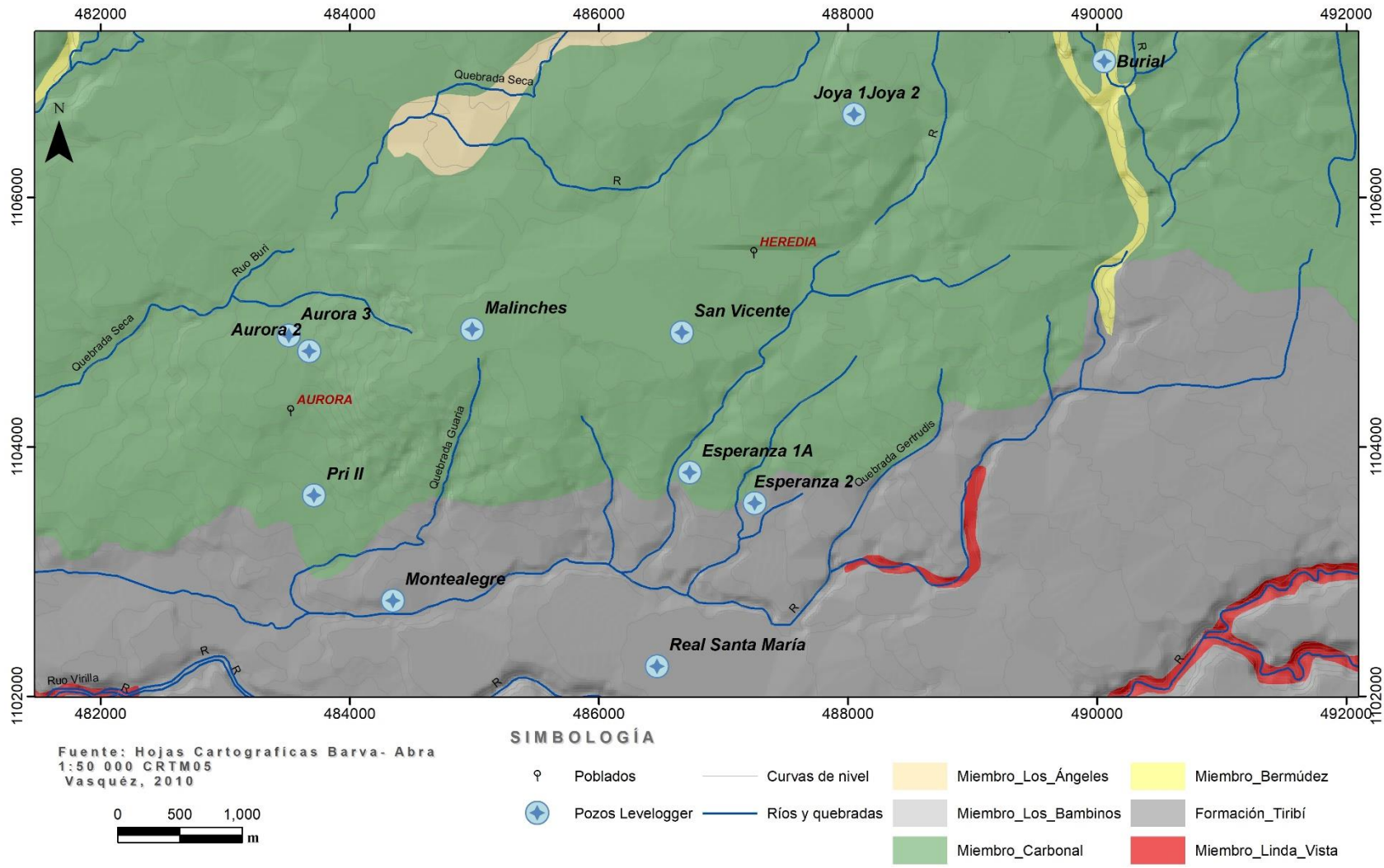


Figura 15. Mapa geológico regional del área de estudio, modificado de BGS & SENARA (1988) y Vásquez (2010).

Formación Lavas Intracañón (Colima)

Romanes (1912) es el primero en determinar la presencia de las rocas en el río Virilla, Williams (1952) la describió como flujos andesíticos, los cuales representan las primeras emisiones del volcanismo asociado con la Cordillera Volcánica Central y la denominó como Formación Lavas Intracañón; posteriormente, Castillo (1969) realizó un estudio sobre el Valle Central Occidental, donde cartografió las rocas de los volcanes de la Cordillera Volcánica Central sin diferenciarlas.

Fernández (1969) las denomina como Formación Colima, dado que determinó la presencia de los acuíferos de la parte norte del río Virilla. Malassi & Madrigal (1976) identificaron dos coladas de lava en el río Virilla.

Echandi (1981) describió que, dentro de las capas de lava, se presentan lentes y capas de cenizas, con la presencia de una capa de ignimbrita de espesor considerable, que se encuentra sobreyacida en forma discordante por lavas. Por esta razón, subdivide a la formación Colima en tres miembros: Belén (lavas inferiores), Ignimbritas Puente de Mulas y Miembro Linda Vista (lavas superiores). Estos materiales afloran en cañones de los ríos Virilla y Tibás. El espesor de esta formación es 270 m, según el registro litológico del pozo AB-471-A, ubicado en la Valencia de Santo Domingo de Heredia. En San Antonio de Belén se determinó un espesor de 180 m (pozo AB-738).

Thiele y Vargas, (2017) indican que los Miembros Belén y Linda Vista son campos de lavas, los cuales tienen extensión temporal variable desde 40 hasta 290 ka.

A continuación, se describen brevemente los miembros de la formación Colima:

Miembro Belén

Echandi (1981) propuso este miembro, el cual está constituido por las lavas más antiguas, depositadas en la vertiente norte del río Virilla, sobre los sedimentos terciarios de la formación Pacacua. El material geológico de este miembro se ha clasificado como lavas andesíticas piroxénicas y su composición es transicional a basáltica, interdigitados con capas de tobas, cenizas y arcillas (Echandi, 1981).

Echandi (1981) propone que la localidad tipo se ubica en la zona de casa de máquinas de la Planta Belén, además, indica que las diferentes coladas de lava de este miembro están separadas por capas y lentes de tobas y cenizas y arcillas. El autor realizó perfiles geológicos, que muestra que el espesor de este miembro puede variar entre 20 y 30 metros. La edad que presenta este miembro es de 750-590 ka en Alvarado & Gans (2012).

Miembro Nuestro Amo

Brenes (1967, en Thiele & Vargas (2017)) es el primero en describir el material geológico de este miembro como tobas lodosas y tobas lapillíticas lodosas, no le asigna nombre y sugiere que su origen es por medio de avalanchas ardientes. Pérez (2000) determina que este miembro no es una ignimbrita, sino un depósito de debris avalanche no asociado a Tiribí, indica que se debe restringir a una brecha volcánica polimíctica, mal seleccionada, pero con relaciones estratigráficas por el momento poco claras con otras unidades, que son sobreyacidas por las lavas de Barva y que probablemente sobreyace a las ignimbritas, que contienen fragmentos de ellas.

Alvarado & Gans (2012), Porras et al. (2012) basados en dataciones y observaciones de campo proponen que el miembro Nuestro Amo, es parte de la Formación Colima, contemporáneo con las lavas del Miembro Belén.

Este material se ubica en la zona oeste de la cuenca del río Virilla, se caracteriza por su heterogeneidad, con una matriz tobácea, con pómez, dura y densa, con presencia de fragmentos líticos principalmente lavas y pómez, con dimensiones desde milimétricos a bloques métricos (Echandi, 1981).

Echandi (1981) indica que este material es un flujo de fragmentos (avalanchas de lodos ardientes). Las condiciones físicas generales de este material, es denso y duro, presenta una similitud en su apariencia a lavas, lo cual podría crear confusión, por su costra de color negro a gris, se diferencia de las lavas subyacentes por su matriz tobácea, además de pómez colapsados y estructuras de flujo.

Según Echandi (1981) esta unidad se ubica sobre las lavas de la Formación Lavas Intracañón (Colima) y está sobreyacida por lavas de la Formación Barva o Ignimbritas de la misma Formación Avalancha Ardiente. El espesor es variable, entre los 5 a 50 m, con intercalaciones de cenizas de color café (Echandi,1981).

Miembro Ignimbritas de Puente Mulas

Fernández (1969 en Echandi, 1981), describe por primera vez este material. Esta unidad es un miembro intermedio limitado en su parte superior e inferior de los miembros Belén y Linda Vista, respectivamente. En Puente Mulas, su sección tipo, se presenta como una ignimbrita de color gris oscuro a café, compuesta por fragmentos lapilíticos, vidrio colapsado y fragmentos mayores de escoria negra, en una matriz tobácea soldada, se presenta con estructuras columnares, el espesor visible en dicho sitio es de 15 metros, el autor indica que, en la zona de la Valencia y Santo Domingo, su espesor varía de 20 a 45 metros (Echandi,1981).

Echandi (1981) determinó que este material se derramó y siguió el cauce en algunas partes, se presenta con abundante vidrio, fiammes, pómez colapsado y estructuras columnares, en las partes laterales la avalancha depósito materiales tobáceos cargados de fragmentos líticos.

Miembro Linda Vista

Echandi (1981) asigna este nombre, a los flujos de lava que se depositaron tanto sobre el Miembro Ignimbritas de Puente de Mulas como sobre el Miembro Belén, antes de los derrames ardientes y tobas de la Formación Tiribí, el autor indica que este material aflora en la localidad de San Luis de Santo Domingo de Heredia y hacia el oeste, no parecen extenderse más allá de San Antonio de Belén.

En la localidad tipo (Tajo Colima), ubicado en la margen derecha del Río Virilla, entre Tibás y Santo Domingo, en este sitio afloran dos coladas de lava separadas por una sección densa en la parte central y brechosas en la superior e inferior (Echandi,1981).

El material central, es un paleosuelo quemado por la colada superior, formando cenizas arcillificadas de color rojo, se puede presentar como una ceniza soldada, el espesor de 10 metros (Echandi,1981).

Echandi (1981) determina para este miembro la colada superior e inferior, para la colada superior, tiene una composición andesítica afanítica de color gris verdoso, con mayor diaclasamiento, la sección inferior y superior corresponden con brechas lávicas, limitada por una capa de pómez en la sección superior.

La capa inferior, donde se alberga el acuífero Colima Superior, se caracteriza por una extensión mayor y su alta producción, resultado de la permeabilidad secundaria y secciones brechosas.

Vásquez (2010) las describe como lavas con textura fluidal, con vesículas, hay presencia de tubos de lavas, asociado con las fugas de material y líquido, según algunas descripciones de en los pozos perforados.

Pérez (2000), indica, que se había establecido el foco de origen de dicho material la actividad de los volcanes de la Cordillera Volcánica Central, lo cual había propuesto por Kussmaul (1988), indicando que estas lavas son el producto de efusiones a lo largo de fisuras, con una dirección NW, NE-SE, paralelas al río Virilla. La edad asignada a esta formación es de 630000 y 400000 años (Gans , Alvarado, Pérez, & MacMillan, 2003 en Vasquez, 2010).

Denyer & Arias (1991), indican que los afloramientos de referencia para la Formación Colima, se ubican en los cañones de los ríos Virilla y Tibás. Esta formación yace horizontalmente en discordancia con las formaciones La Cruz, Pacacua, Grifo Alto y Peña Negra y está sobreyacida concordantemente por los Depósitos de Avalancha Ardiente (Formación Tiribí).

Formación Tiribí

Pérez (2000) redefine la formación, la autora realiza una recopilación bibliográfica con diversos autores que han descrito la formación, inicia con Romanes (1912 en Pérez (2000)), consideró este material como lavas con textura bandeada y disyunción columnar, Alfaro (1913) menciona bancos de escorias volcánicas se extienden por el río Grande. Schaufelberger (1931) describió tobas volcánicas en los cañones de los ríos Tiribí y Virilla. Crosby (1945) describen en el cañón del río Virilla una toba andesítica y pómez con un espesor de 10 y 90 metros sobre y subyacidas por lavas.

Williams (1952 en Pérez,2000) las denominó como Depósitos de Avalancha Ardiente, les asigna un espesor de 90 metros y las cartografió desde Santo Domingo hasta Cebadilla. Fernández (1968 en Pérez, 2000)) define como Formación Tiribí a las ignimbritas soldadas que afloran en la planta eléctrica Electriona, determinó los miembros La Caja y Nuestro Amo. Castillo (1969) las describe como tobas de corriente de piroclastos, soldadas y no soldadas. Krushensky et al (1976) publicó un mapa de la sección central de Costa Rica, mencionando cuatro unidades de enfriamiento ignimbrítico, que provienen del volcán Barva.

Echandi (1981), definió la formación basado en la composición, las características físicas y el origen, en tres unidades, Miembro Nuestro Amo, conforman los depósitos de lodos ardientes, Miembro La Caja tobas poco soldadas y el Miembro Electriona conformado por ignimbritas bien soldadas.

Pérez (2000) redefine la nomenclatura estratigrafía de los depósitos piroclásticos y propone una nueva unidad, llamada Formación Ignimbrita Río Tiribí, separada en cuatro nuevas litofacies.

- I. Tipo Valle Central
- II. Puente de Piedra
- III. La Garita y Orotina.
- IV. La capa de pómez es denominada como Capa de pómez Río Tibás.

A continuación, se presenta la descripción que realiza Pérez (2000), para cada una de las litofacies.

La litofacies del Valle Central incluye depósitos soldados, no soldados y medianamente soldados, aflorando principalmente en la depresión del Valle Central. La litofacies Puente de Piedra, está formada por una ignimbrita negra, bien soldada, vidriosa, fina y columnar, que se ubica en la parte noroeste del valle (Pérez, 2000).

La litofacies La Garita se presenta en los alrededores de La Garita y Río Grande y está compuesta por 3 unidades, dos ignimbritas no soldadas y una unidad intermedia no consolidada, rica en fragmentos juveniles en contacto puntual. La litofacies Orotina es una roca de color gris a celeste, con fragmentos pumíticos amarillentos a negros y esta presenta en las áreas distales, en Orotina, especialmente (Pérez, 2000)

Pérez (2000), indica que la edad de este depósito es de 0,33 Ma, determinado por medio de dataciones radiométricas de $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ (Pérez, 2000). Según los datos de las isopletas y la pendiente del techo de las ignimbritas, junto con la correlación estratigráfica, la autora sugiere que este material fue eruptado de la caldera Barva (5 x 10 km), presenta un espesor promedio de 35 metros, alcanzando una distancia máxima recorrida de 80 Km.

Formación Barva

Arredondo & Soto (2006) realizan una recopilación bibliográfica de los principales autores que trabajaron en la descripción geológica de la Formación Barva, diversos autores describieron coladas de lava cerca de San Antonio de Belén y posteriormente son agrupadas con el nombre de “Lavas de Ciruelas y Cebadilla” (Dengo & Chaverri, 1951). Williams (1952) las llamó “Lavas de Post Avalancha”, por sobreyacer a los depósitos de Avalancha Ardiente, que son las ignimbritas de la Formación Tiribí.

Fernández (1969) define la Formación Barva, donde agrupa las coladas de lava del volcán Barva, separa las coladas de lava de San Rafael, San Antonio, Ciruelas y Cebadilla. Echandi (1981), indica que la actividad volcánica del Barva, produjo las diferentes coladas de lavas, al igual que diversos focos volcánicos ubicados al sureste, esta formación puede presentar espesores máximos de 115 metros. Posteriormente Protti (1986) subdivide la Formación Barva en seis miembros, Bermúdez, Carbonal, Los Bambinos, Porrosatí, Los Ángeles y Cráter.

El Neo Barva o Formación Barva, fue propuesto por Arredondo & Soto (2006) e incluye todo el material que sobreyace a la Formación Tiribí, el origen del volcán Barva, la datación de mayor edad corresponde con 270 ka, ante ello se presenta una pausa en la actividad volcánica desde 322 a 270 ka (Arredondo, 2011).

Miembro Bermúdez

Según Arredondo & Soto (2006) corresponden con lavas andesíticas basálticas porfiríticas las cuales se presentan de forma distal del Barva, en las inmediaciones de Belén, se presentan hasta la localidad de San Rafael de Alajuela y Cebadilla. Arredondo (2011) indica que estas lavas podría ser el inicio del Neo Barva, dado su extensión distal y a una actividad fisural, con una edad de 270 ka. Arredondo (2011), indica que se pueden presentar en la parte superior al menos tres paquetes de lavas, separadas por tobas y, en las partes distales cerca de Belén.

Miembro Carbonal

Arredondo & Soto (2006) realizan la compilación bibliográfica del Miembro Carbonal, el que definió este miembro fue Protti (1986), como una unidad constituida por tobas líticas y tobas de ceniza poco consolidadas, entre los miembros Bermúdez y Bambinos y a su vez separa Barva inferior y Superior.

Dichas tobas presentan una conductividad hidráulica suficiente para permitir una infiltración casi sin restricciones de la lluvia y la subsecuente transferencia entre unidades de lava, porosidad de 50 a 60% provee una capacidad de almacenamiento considerable y su amplio rango de tamaño de poros favorece el drenaje por gravedad (BGS & SENARA, 1988)

Es una unidad conformada por tobas líticas y tobas de ceniza poco consolidadas, tienen un rango de edad de 40 ka y 27,4 ka que es la edad de los lahares interdigitados entre las lavas de Los Bambinos Superior e Inferior. (Arredondo & Soto, 2006).

Miembro Los Bambinos (Barva Superior)

Este miembro corresponde con lavas andesíticas, con presencia de vesículas, diversos grados de oxidación. Es un campo de varias coladas superpuestas, con brechas autoclásticas en el piso y el techo, con un espesor superior a los 100 m. La unidad se ha dividido en Bambinos Inferior y Superior, por un lahar que fue datado en 27,4 ka, las lavas se presentan desde sector noroeste de la cima del volcán Barva, hacia Sacramento, cerro Guararí, (Arredondo & Soto, 2006).

Miembro Los Ángeles

Son coladas que presentan una edad similar o inferior a Los Bambinos, escasa cobertura de ceniza, con edades de 10 -15 ka (Arredondo, 2011).

Miembro Porrosatí y Cráter

Están conformados por piroclastos proximales y recientes los autores Arredondo & Soto (2006) recomendaron unirlos bajo un solo nombre Porrosatí, presentan edades que van desde 11,3, a 8,2 ka y los más recientes en la cima de 0,5 ka.

6.5 HIDROGEOLOGÍA

Según indica Losilla et al. (2001) los estudios hidrogeológicos en el Valle Central iniciaron a raíz del interés de la explotación de las aguas subterráneas, por ello se citan los autores que desarrollaron sus trabajos en la zona, como lo son: Fernández (1969), Foster et al. (1985), Losilla y Rodríguez (1978), BGS & SENARA (1988) y ONU (1975).

Con el fin de comprender la distribución de las diferentes unidades hidrogeológicas de la zona de estudio se compilo e íntegro la información de BGS & SENARA (1988) y Vásquez (2010), la cual se observa en la figura 16.

Losilla (1977) indica, que el flujo del río Virilla se compone en su mayor parte de agua subterránea de acuíferos regionales en el centro y norte de la Cordillera Central, el autor define tres acuíferos interrelacionados en diferentes grados, de tipo flujo fisural, como lo son acuífero Barba, y los acuíferos Colima Superior e Inferior.

Echandi (1981), Ramírez & Alfaro (2002), (Vásquez, 2010), resumen las características de cada una de las unidades volcánicas las cuales son las zonas productoras de los acuíferos de la zona de estudio.

De acuerdo con Vásquez (2010), las condiciones geológicas del norte del Valle Central, donde se ubica la cordillera volcánica Central, se caracterizan por una cobertura superior de cenizas y lavas fracturadas, estos materiales tienen buena permeabilidad, lo cual permite una mayor filtración del agua de lluvia y las rocas ígneas fracturadas albergan los principales acuíferos del área (Barva y Colima).

A continuación, se resumen las descripciones de las unidades hidrogeológicas de las formaciones Colima, Tiribí y Barva.

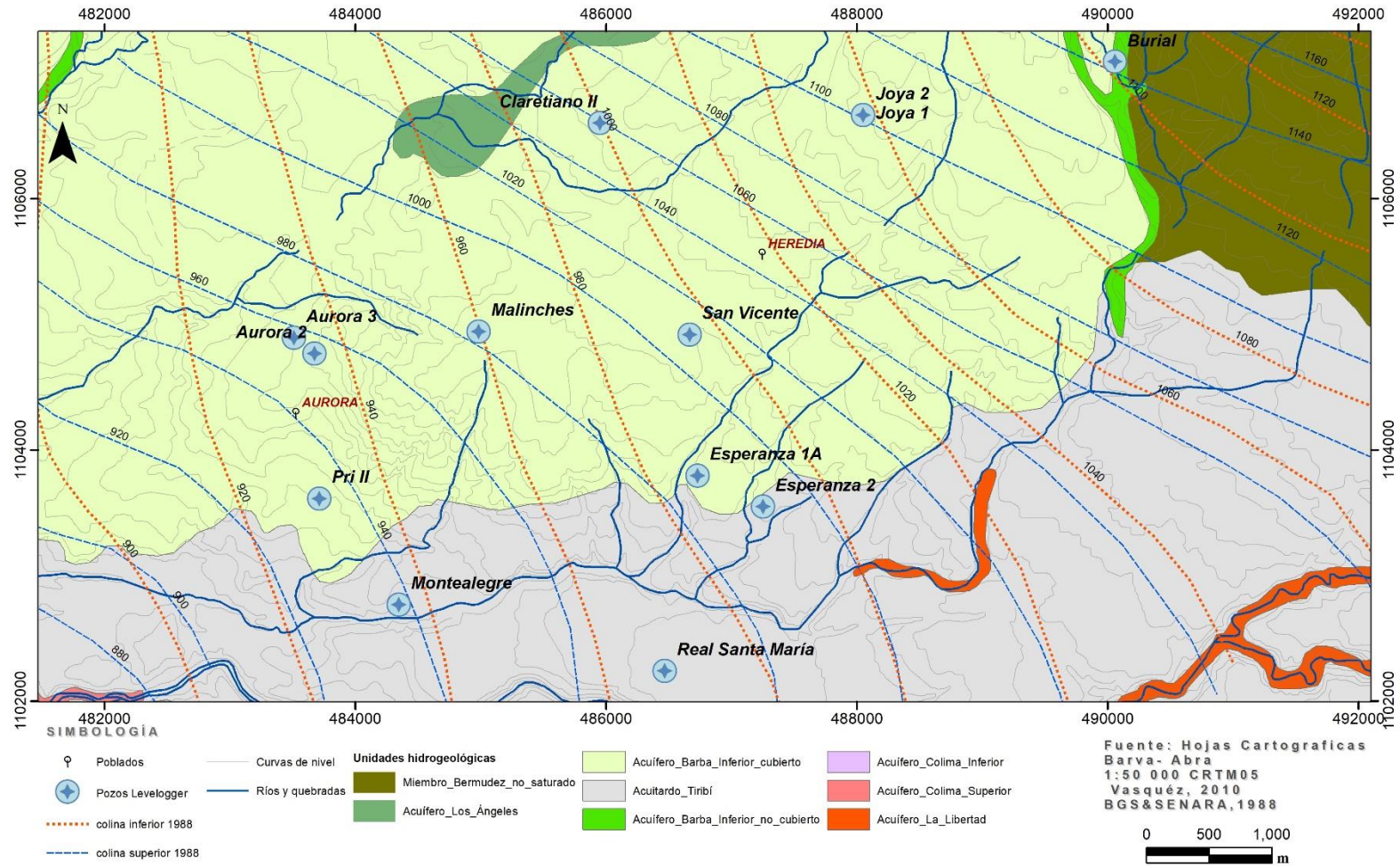


Figura 16. Mapa hidrogeológico para la zona de estudio, modificado de BGS & SENARA (1988) y Vásquez, 2010.

6.5.1. Características hidrogeológicas Formación Colima

Según BGS & Senara (1988) el acuífero Colima Superior se recarga desde el acuífero Barva a través de las tobas del miembro Carbonal y de la Formación Tiribí y desde el acuífero de La Libertad por percolación vertical, recibe el aporte de la recarga desde la infiltración de la lluvia, en zonas en las que los acuíferos sobreyacentes están ausentes, para el acuífero Colima Inferior, la recarga es desde Colima Superior por percolación vertical y a través de las tobas e ignimbritas de Puente Mulas o superficie si no se presenta Colima Superior .

En el caso de Colima Inferior, su edad fue investigada utilizando el isótopo O-18, el contenido isotópico fue variable, se concluye que hay diferentes fuentes de recarga (BGS & SENARA, 1988).

La zona de Potrerillos presentó los valores más pesados de isótopos, lo cual es asociado con una recarga proveniente de Colima Superior y a que el enriquecimiento isotópico ha ocurrido como resultado de alguna infiltración directa de lluvia de baja altitud (BGS & SENARA, 1988).

Según Losilla et al. (2001) los acuíferos Colima, forman un sistema acuífero en el que dos acuíferos, el Superior e Inferior interactúan. El primero sobreyace al segundo y están separados por una capa de baja permeabilidad que actúa como acuitardo, la cual permite la transferencia vertical de agua tanto en sentido descendente como ascendente. Se localizan en la parte central y norte del Valle Central, en la margen norte del río Virilla, principal colector. La extensión estimada de estos acuíferos es de 230 km² para Colima Inferior y 170 km² para Colima Superior.

Losilla et al. (2001) resumen los parámetros hidráulicos básicos para el acuífero Colima Superior el cual es de tipo freático en su mayoría de extensión, el rendimiento específico es de 0,01 y transmisividad entre 500 y 9 500 m²/d. Colima Inferior, por su parte, está confinado en algunos sitios y libre en otros, con un coeficiente de almacenamiento de $1,4 \times 10^{-4}$, rendimiento específico similar a Colima Superior, cuando se presenta como acuífero libre y transmisividad entre 500 y 7 500 m²/d. La ubicación de los niveles estáticos va a depender de la topografía superficial, en términos generales se presentan a partir de los 50 y 110

metros de profundidad. La dirección del flujo subterráneo para el sistema Colima, es de Noreste al suroeste.

Los valores de almacenamiento de los acuíferos son necesarios para determinar el comportamiento del abatimiento en pozos. Debido a que la transmisividad de los acuíferos es alta y los gradientes hidráulicos son altos, hay un flujo rápido y esto es un factor importante en la manera de respuesta del acuífero. Cuando Colima Superior, se presenta confinado o semiconfinado por las tobas de Tiribí, el almacenamiento puede no ser un valor bajo típico de un acuífero confinado, sino semiconfinado (5×10^{-3} a 5×10^{-1}), de manera que puede presentar valores más altos debido a la alta porosidad de las tobas que lo sobreyacen. El coeficiente de almacenamiento de Colima Inferior varía entre 5×10^{-4} y 5×10^{-3} , mientras que en las zonas donde el acuífero no se presente confinado, su coeficiente será mayor (BGS & SENARA, 1988).

Ramírez & Alfaro (2002), indican que esta formación presenta un espesor mayor a 100 metros, el coeficiente de almacenamiento es de 1.5×10^{-3} - 1×10^{-1} , los pozos de producción dan caudales de 50 a 100 litros por segundo o mayor volumen, y la transmisividad es de 500 o 5000 m²/d.

Miembro Belén

Echandi, 1981, indica que este miembro alberga acuíferos importantes en las coladas superiores, especialmente por la fracturación y la superficie brechosas que presenta. En las localidades de Santo Domingo de Heredia, San Antonio de Belén, se capta este acuífero, principalmente por extracción en pozos, además origina manantiales que descargan al río Virilla, la transmisividad llega hasta los 16 000 m²/d, la sección densa de esta unidad es de muy baja permeabilidad (Echandi, 1981).

Vásquez (2010) indica que las lavas andesíticas, están separadas por capas de tobas líticas, que actúan como acuitardos, que dividen los acuíferos formados en las lavas, las cuales son fracturadas y brechosas.

Miembro Ignimbritas de Puente Mulas

La sección superior de esta unidad presenta una capa arcillificada, la cual representa una capa confinante para los acuíferos superiores, tiene una permeabilidad secundaria, resultado de su fracturación, no se considera una capa productora, el agua tiende a percolarse hacia los acuíferos inferiores (Echandi,1981).

Miembro Linda Vista

Alberga acuíferos de alto potencial, principalmente por su sección brechosas, además presentan valores de transmisividad de $2,0 \times 10^5$ m²/día, dando origen a los manantiales de la Libertad y Puente Mulas (Echandi,1981).

El manantial La Libertad, se ubica dentro de una capa de unos 110 metros de espesor, que alberga el acuífero colgado La Libertad, la transmisividad varía entre 500 o mayores a 5 000 m²/día, su coeficiente de almacenamiento es de $1,5 \times 10^{-3}$ y la extracción del recurso hídrico en pozos que captan este acuífero pueden tener caudales desde los 50 hasta los 100 litros por segundo (Ramírez & Alfaro, 2002)

6.5.2. Características hidrogeológicas de la Formación Tiribí

Echandi (1981), define las características hidrogeológicas de los materiales que conforman la formación Tiribí, para el miembro Nuestro Amo, indica que esta unidad está conformada por materiales impermeables, conforman un acucierre para los acuíferos superiores de la Formación Barva.

Las ignimbritas Electriona, presentan diaclasamiento, lo cual tienden a ceder el agua hacia acuíferos inferiores, son de importancia para el proceso de la recarga y el origen de manantiales con caudales de 25 litros por segundo, estos se presentan en zonas de contacto con materiales subyacentes impermeables. El miembro la Caja se caracteriza por su baja permeabilidad y consecuentemente una lenta recarga, se caracteriza por ser una capa tipo confinante, que limita el tránsito de contaminantes Echandi (1981).

Desde el punto de vista hidrogeológico, Ramírez & Alfaro (2002) consideran esta formación rocosa, como un acuitardo y le asignan valores de permeabilidad entre $1,6 \times 10^{-4}$ m/d hasta $2,72 \times 10^{-4}$ m/d, Echandi (1981) le clasifica como un acuicierre.

6.5.3. Características hidrogeológicas Formación Barva

Losilla et al. (2010) define que es un sistema de acuíferos relativamente pequeños que se localiza en el Valle Central, en la parte media y alta de la vertiente norte del río Virilla, cubre un área de 135 km².

Dentro de los paquetes de lavas, se albergan importantes acuíferos, además de una serie de manantiales (Echeverría, Ojo de Agua) y nacientes con caudales de 30 a 50 litros por segundo (Echandi, 1981).

La recarga a los acuíferos Bambinos y Los Ángeles, se produce por la infiltración de la lluvia, la recarga hacia el acuífero Bermúdez, se produce por percolación vertical desde los acuíferos superiores, infiltración de la lluvia y por los cauces influentes (Losilla *et al*, 2001).

Los miembros Porrosatí y Carbonal, forman acuitardos dentro de capas de arenas volcánicas y tobas arcillosas. Los Ángeles y los Bambinos, conforman acuíferos colgados, de poca extensión, presenta valores de permeabilidad muy altos de 1 m/d-10 m/d, una transmisividad que varía entre 100 y 500 m²/d y un coeficiente de almacenamiento de 0,1. La producción del acuífero se evidencia en los caudales de los manantiales con valores que van desde los 5 l/s hasta los 20 l/s y de 5 l/s hasta 10 l/s en pozos de extracción (Ramírez & Alfaro, 2002).

6.6 MODELO HIDROGEOLÓGICO DEL ÁREA DE ESTUDIO

Para realizar el modelo hidrogeológico del área de estudio, se utilizó la información de los pozos de interés de la ESPH, pozos privados con información litológica e hidrogeológica, de la base de datos del SENARA e información bibliográfica de la zona de estudio. Se trazaron 5 perfiles hidrogeológicos, con ello se detallan las unidades hidrogeológicas presentes en la zona de estudio (ver figura 17 y anexo 3).

6.6.1. Perfil AB

Comprende desde el pozo Burial, pasando por los Joya 1 y 2, Claretiano II y finaliza en el Aurora 3, con una dirección NE a SW, además de los pozos privados BA-473, BA-710 y BA-853, se observa en la figura 18. Según la correlación de los materiales descritos en los expedientes de dichos pozos, se presentan 6 capas de material.

La capa superior comprende una cobertura de cenizas arcillosas a tobas arcillosas con espesores que van desde los 12 a 18 metros y se correlaciona con el Miembro Carbonal de la Formación Barva. La segunda capa está conformada por lavas andesíticas fracturadas cuyos espesores van desde los 70 hasta los 130 metros y se correlaciona con el Miembro Bermúdez, también de la Formación Barva.

Bajo estos materiales se encuentran unas tobas e ignimbritas grises que se correlacionan con la Formación Tiribí. El espesor de esta capa se incrementa hacia el SE, en el pozo Burial se presenta un espesor de 25 metros y a partir del pozo Joya se incrementa al doble su espesor.

A partir de los 150 a 170 metros de profundidad, se encuentran unas lavas andesíticas con espesores que alcanzan entre los 70 y 162 metros, con presencia de paleosuelos de hasta 6 m de espesor dentro de los paquetes de lavas. Esta cuarta capa se correlaciona con el Miembro Linda Vista de la Formación Colima.

Bajo esta capa se encuentra, de forma puntual, un paquete de lavas de 14 metros de espesor (quinta capa), que se correlaciona con el Miembro Puente de Mulas. El pozo Burial

tiene la rejilla y el nivel dentro de este paquete de lavas, en el expediente del pozo indica un valor aproximado de transmisividad de $600 \text{ m}^2/\text{d}$.

Finalmente, la sexta unidad corresponde con el Miembro Belén, asociado con Colima Inferior, este se presenta a partir de los 260 a 310 metros de profundidad. La prueba de bombeo del pozo BA-473, determinó un valor de $180 \text{ m}^2/\text{d}$ para la transmisividad del acuífero Colima, dado que este pozo capta toda la secuencia de material.

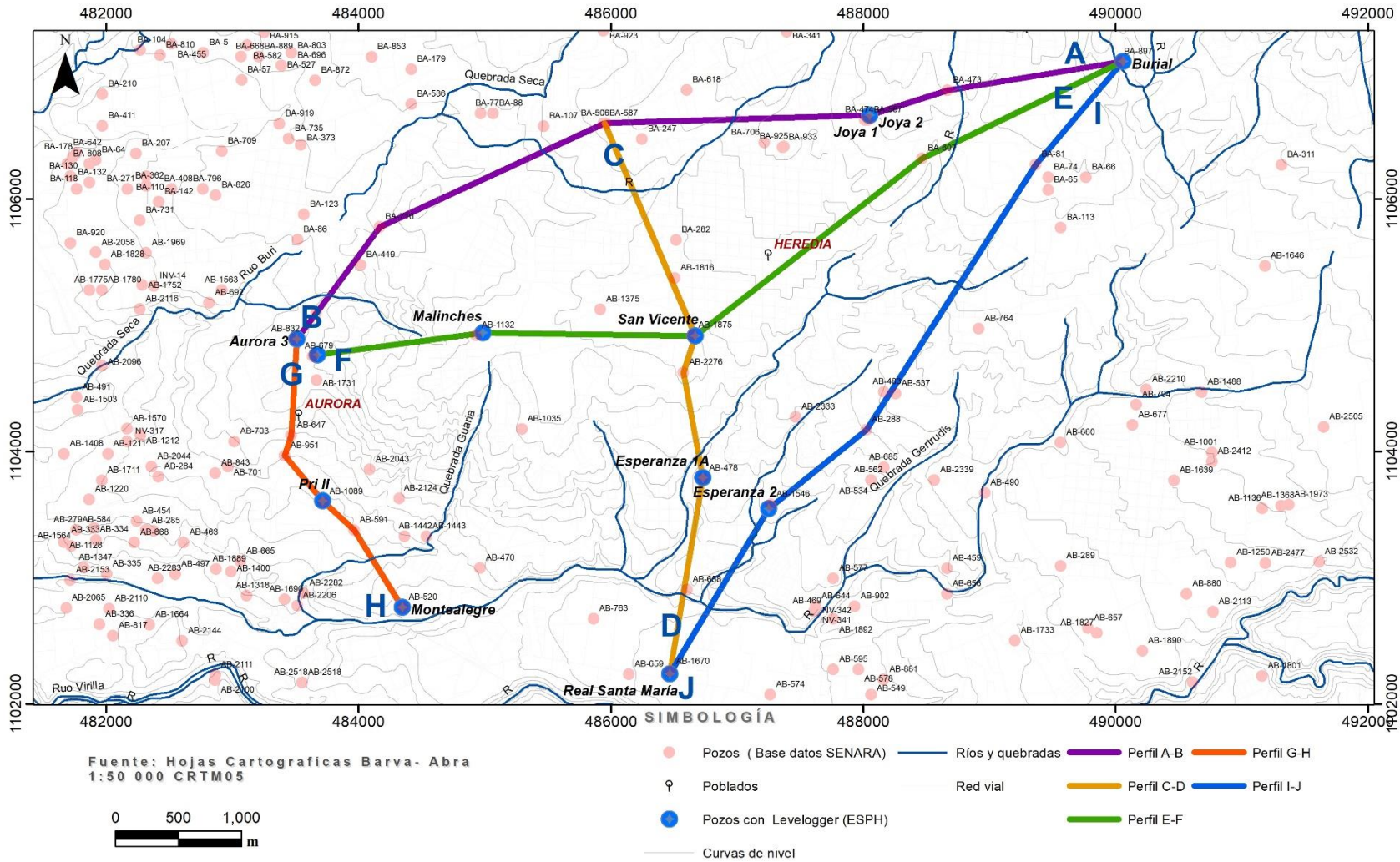


Figura 17 .Mapa de ubicación de perfiles hidrogeológicos, elaboración propia, con información de ESPH y SENARA.

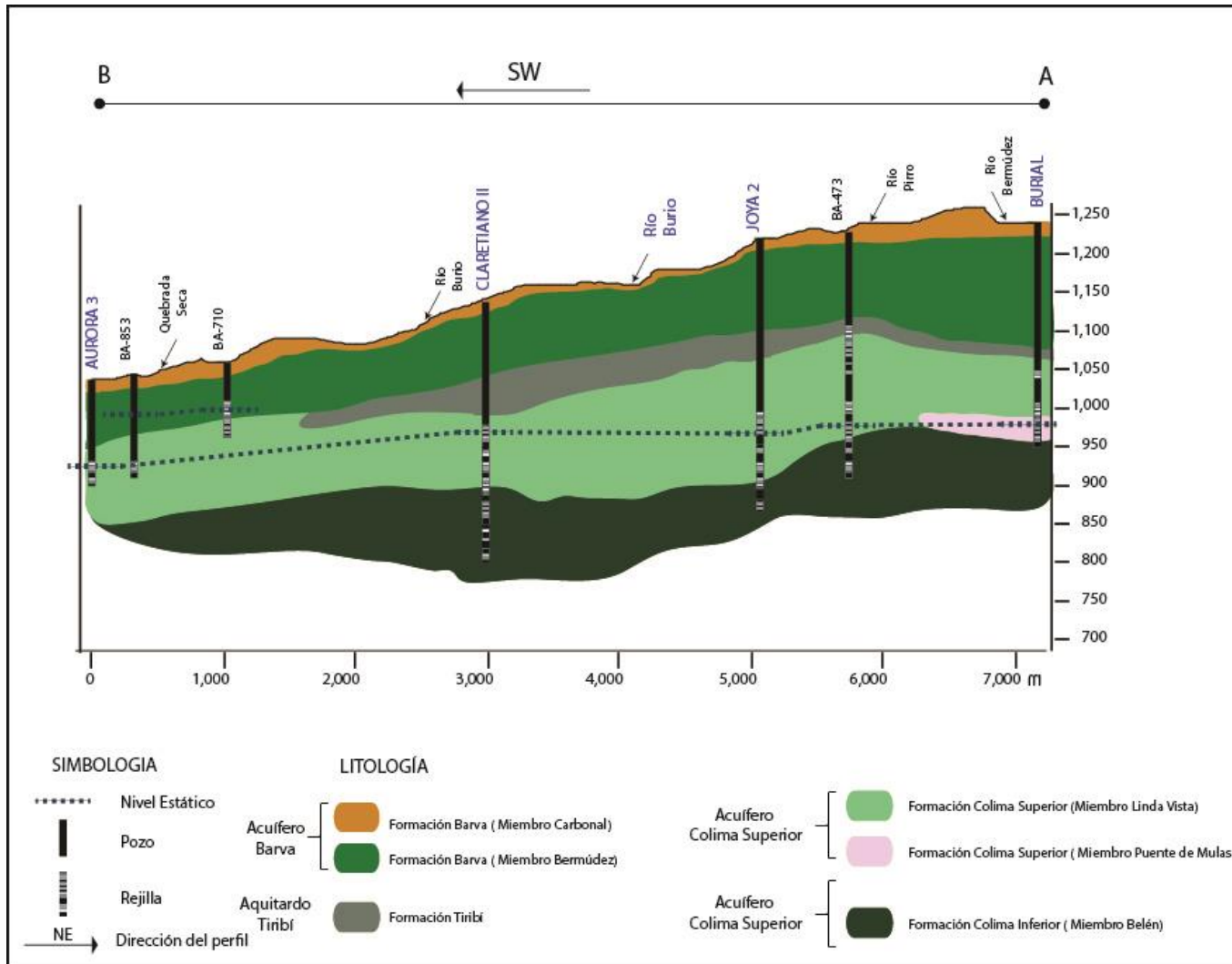


Figura 18. Perfil Hidrogeológico AB, elaboración propia

6.6.2. PERFIL CD

Inicia al norte con el pozo Claretiano II, en la sección central del cantón de Heredia, se utiliza la información de los pozos San Vicente y Esperanza 1 y finaliza al sur con el pozo Real Santamaría. Dichos pozos están captando el acuífero Colima, sus rejillas se ubican se ubican a partir de los 160 a 170 metros de profundidad, corresponde con la figura 19.

Los niveles estáticos se presentan a diversas profundidades tales como el pozo Claretiano II que lo presenta a los 171 metros, el San Vicente a los 134 metros, el Esperanza 1A a los 99 metros y finalmente el Real Santamaría a los 78 metros, con ello se evidencia el confinamiento del acuífero Colima. Según el expediente del pozo AB-1875 (Pozo San Vicente) presenta una transmisividad de $5\,732,35\text{ m}^2/\text{d}$ y la capacidad específica de 16.55 L/seg/m . dicho valor corresponde para el Miembro Linda Vista, el cual está captando dicho pozo.

El pozo Claretiano II (BA-587) según se reporta en el expediente su transmisividad es de $1\,246\text{ m}^2/\text{d}$, para el pozo Real Santamaría se reportó un valor de $600\text{ m}^2/\text{d}$, ambos pozos están captando los miembros Linda Vista, Puente de Mulas y Belén de la Formación Colima.

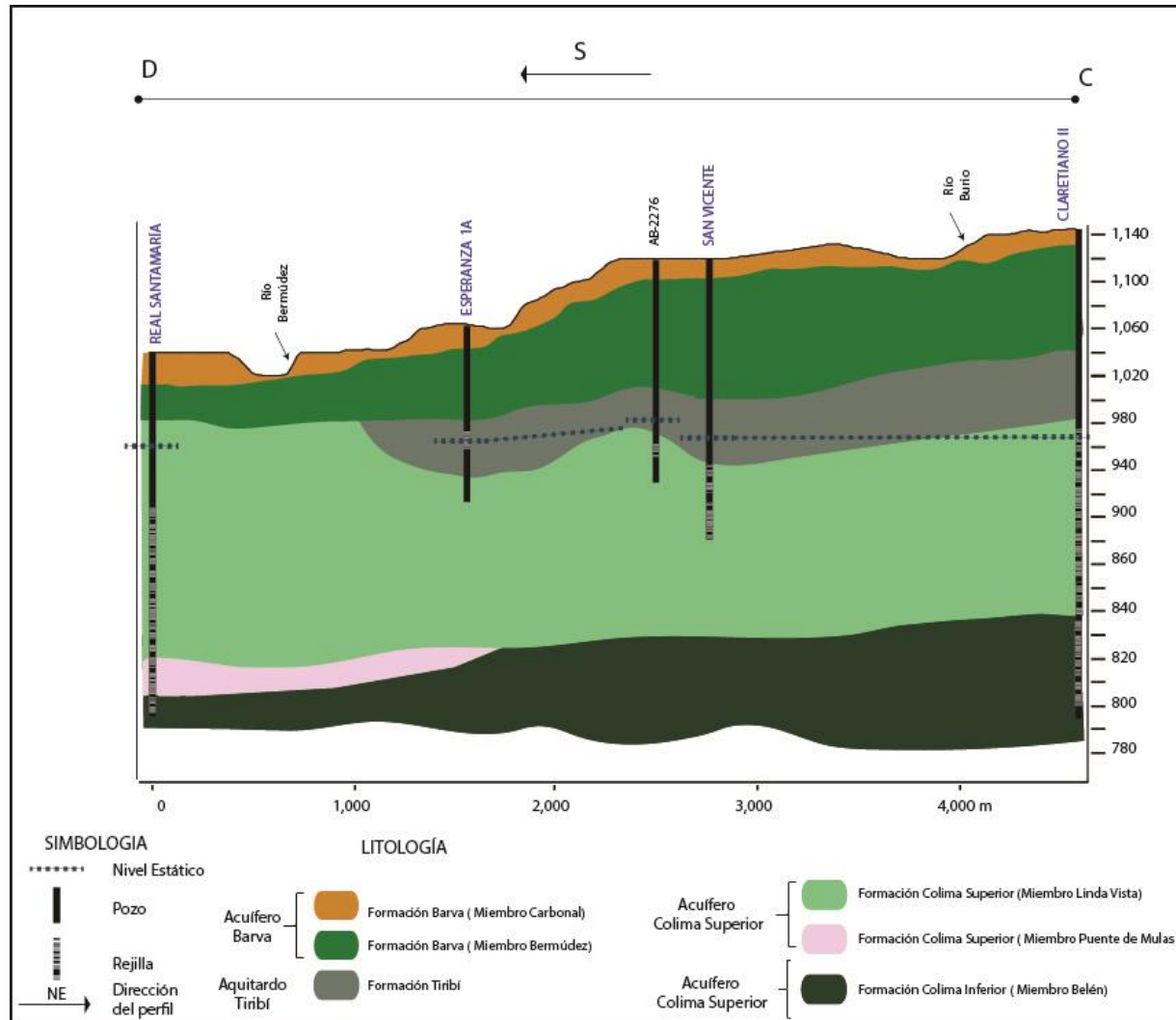


Figura 19. Perfil Hidrogeológico CD, elaboración propia.

6.6.3. Perfil EF

El perfil EF, está conformado por los pozos Burial, San Vicente, Malinche, los cuales están captando el acuífero Colima Superior e Inferior, ver figura 20.

El pozo Aurora 3 presenta una posible mezcla de aguas del acuífero Barba con el acuitardo Tiribí, dado que sus rejillas se presentan dentro de los paquetes de ignimbritas de esta unidad hidrogeológica.

En la traza del perfil se utiliza la información del pozo BA-607, el cual está captando el acuífero Barba, el Miembro Bermúdez, para dicho pozo se llevó a cabo la prueba de bombeo que indicó un valor de 148 m²/d.

6.6.4. Perfil GH

Se traza hacia el suroeste de cantón de Heredia, desde Aurora 3 hacia el Pri II y finaliza con el Montealegre (figura 21).

El pozo Aurora 3, tiene una profundidad de 128 metros, la rejilla se ubica desde los 103 hasta los 128 metros. Presenta una capa superior conformada por arcillas y tobas, estos materiales se correlacionan con el Miembro Carbonal, de la Formación Barva, bajo este material se presenta una capa de ignimbrita con un espesor 95 metros, subyace una capa de lavas cuyo espesor es inferior a los 20 metros, donde se capta el acuífero Colima Superior.

La secuencia de materiales desde el Miembro Carbonal, Bermúdez, posterior a ellos la Formación Tiribí y finalmente las lavas del Miembro Linda Vista de Colima Superior (figura 21).

El pozo Montealegre indica que el nivel estático se ubica a los 45 metros de profundidad y su rejilla inicia a los 46 hasta los 61 metros y que es de fondo abierto, la sección de la rejilla se ubica dentro de la capa de ignimbrita gris de la Formación Tiribí, a pesar de ello el nivel estático se ubica dentro de la Formación Barva (Miembro Bermúdez), con ello se indica que

este pozo está captando dicha unidad hidrogeológica y que posiblemente presente una influencia del acuitardo Tiribí.

El pozo Pri II, se ubica en la sección media del perfil, este capta el Miembro Linda Vista de Colima Superior, el nivel estático se ubica a los 70 metros de profundidad y la ubicación de la rejilla se presenta a partir de los 87 a 105 metros, en la capa de lavas andesíticas, bajo este material se presenta una capa de ignimbrita, la cual se correlaciona con el Miembro Puente de Mulas, de Colima Inferior.

Los pozos de la ESPH, captan el acuífero Colima Superior, principalmente el Miembro Linda Vista, exceptuando el pozo Montealegre que capta el acuífero Barva.

6.6.5. Perfil IJ

En la figura 22, se observa el perfil IJ, el cual tiene una dirección NE-SW, inicia al norte con el pozo Burial, pasando por el este de Heredia, se utiliza la información del pozo BA-81, AB-288 y luego los pozos de la ESPH (Esperanza II y Real Santamaría).

Los pozos Burial y Real Santamaría, están captando el sistema Colima tanto Superior e Inferior, el pozo Esperanza II, capta la parte superior de Colima, dentro del paquete de lavas del Miembro Linda Vista, de igual forma el pozo AB-288, este pozo indica una transmisividad de 1252 m²/día.

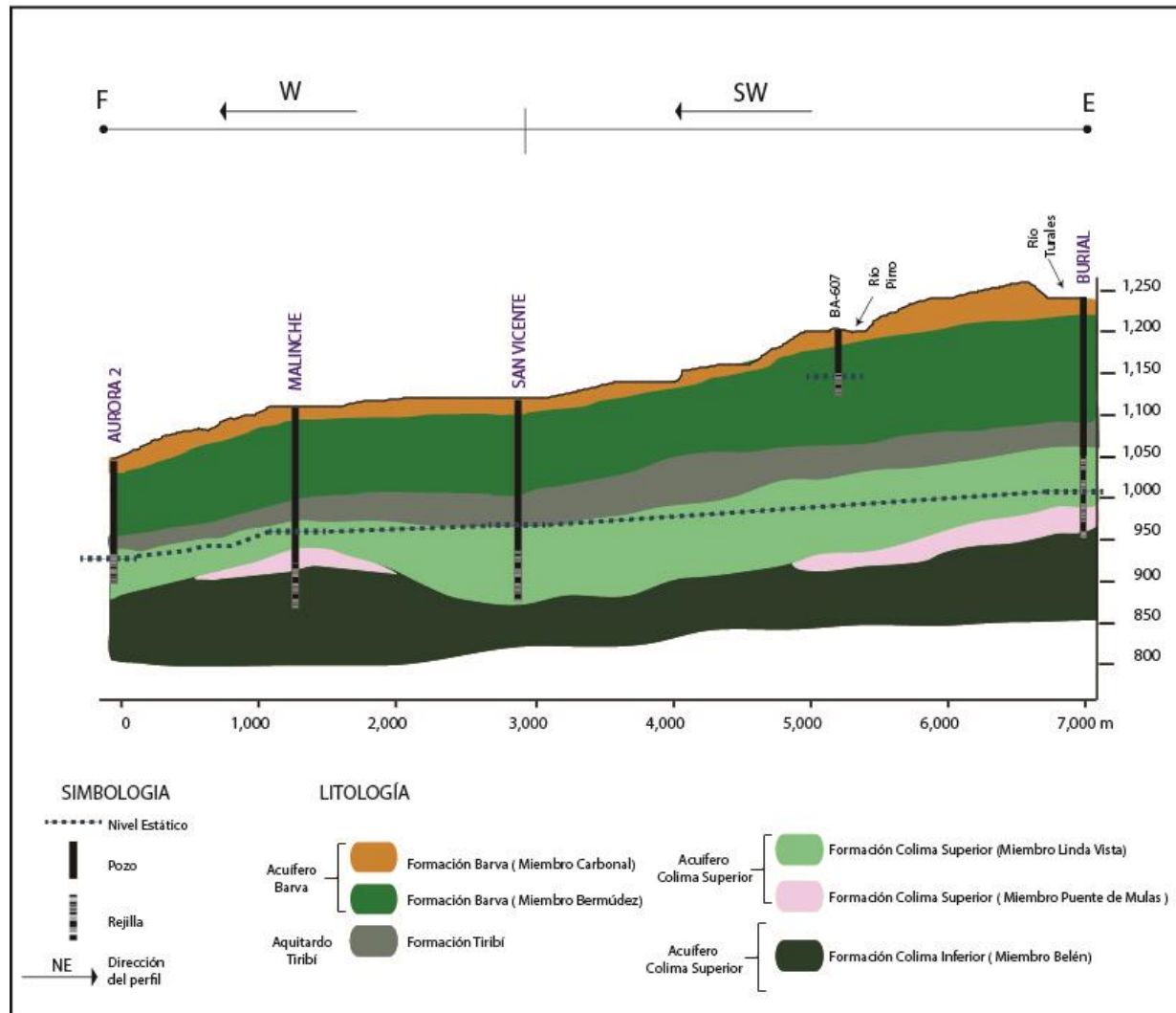


Figura 20. Perfil Hidrogeológico EF, elaboración propia.

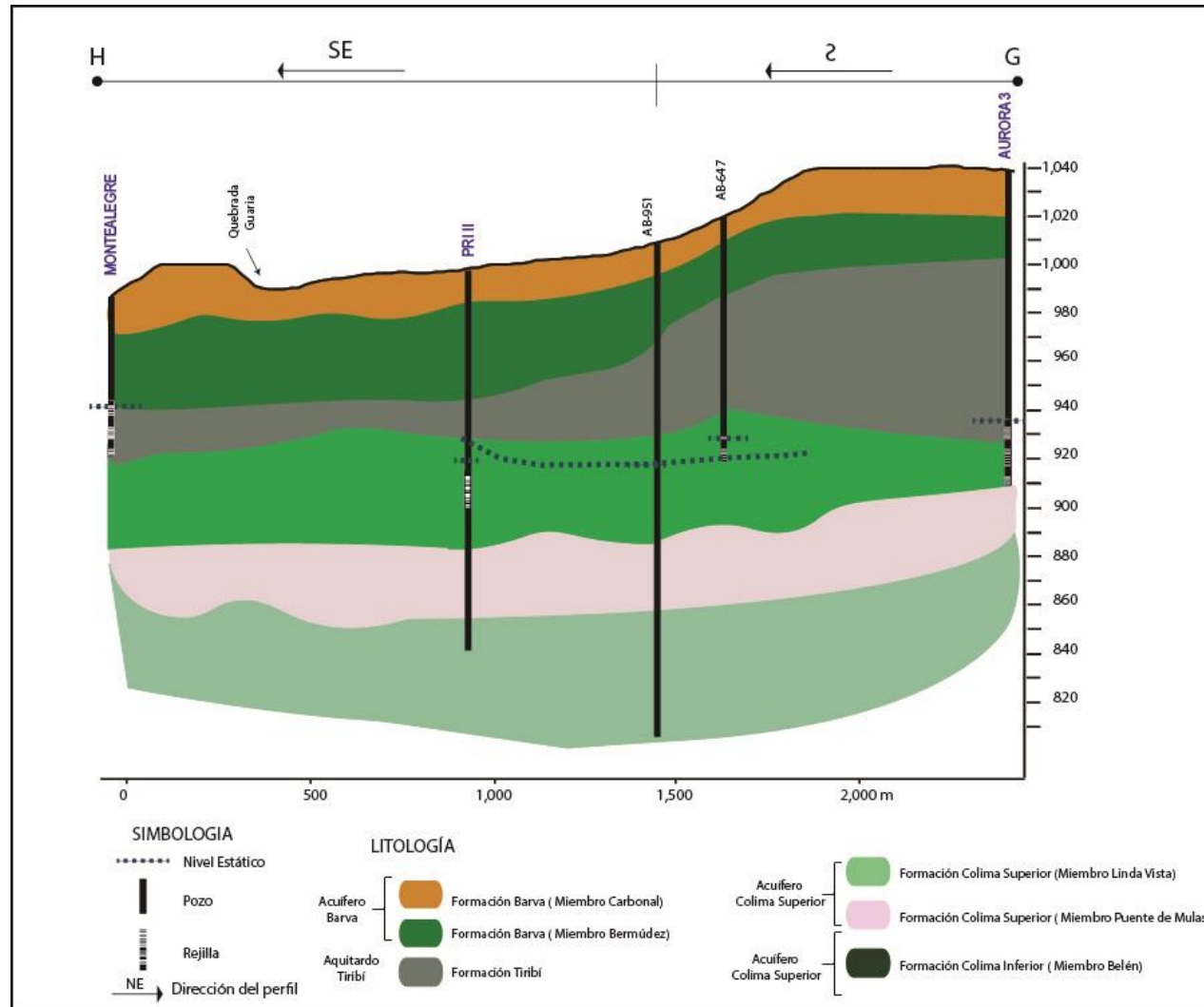


Figura 21. Perfil Hidrogeológico GH, elaboración propia.

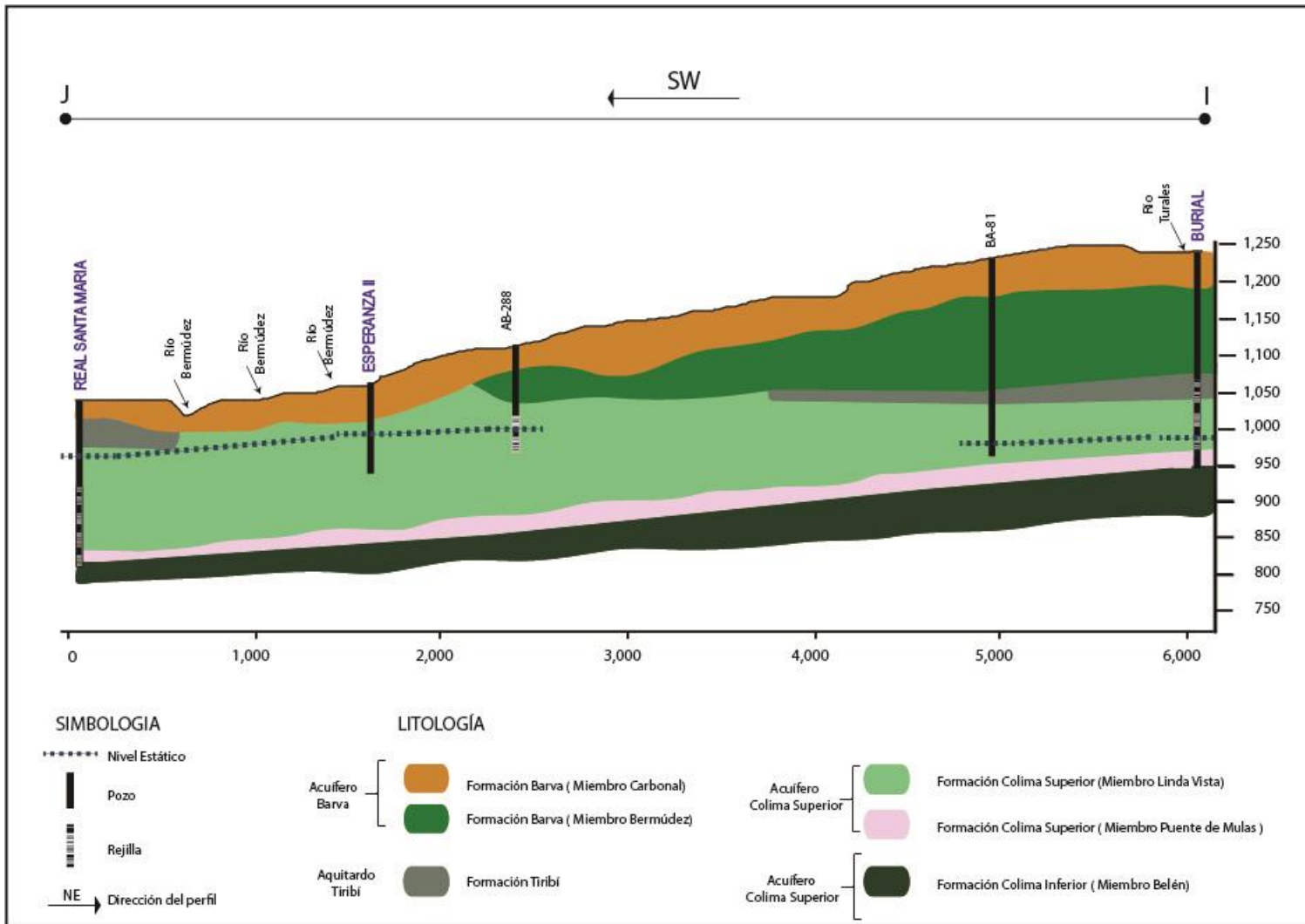


Figura 22. Perfil Hidrogeológico IJ, elaboración propia.

6.7 UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS

A partir de la información geológica e hidrogeológica recopilada en la zona de estudio la cual se presentó en el capítulo 6.5, a continuación, se indica la información recopilada en la zona de estudio, según los datos presentes en los pozos de la ESPH y SENARA que presentaran expedientes, con ello se determinan los acuíferos presentes en la zona de estudio y sus parámetros hidráulicos.

6.7.1. Acuífero Barba

El acuífero Barba está representado en la zona de estudio por los miembros Carbonal y Bermúdez. El miembro Carbonal se ubica en la sección noreste del cantón de Heredia y donde presenta mayores espesores, conformado por paquetes superiores de cenizas y tobas. Los espesores varían entre 12 y 18 metros. El resultado de la meteorización de estos paquetes son capas de arcillas, estas actúan como capa confinante los materiales suprayacentes, sin embargo, en caso de presentarse más sana, las cenizas permiten el movimiento de agua hacia los acuíferos inferiores, los espesores se observan en los 5 perfiles realizados.

Bajo esta unidad se presenta el Miembro Bermúdez, el cual está conformado por lavas andesíticas fracturadas cuyos espesores van desde los 70 hasta los 130 metros, según lo observado en los perfiles trazados. En la traza del *perfil EF*, se utiliza la información del pozo BA-607, el cual está captando el acuífero Barba, específicamente el Miembro Bermúdez, dicho pozo reportó un valor de transmisividad de 148 m²/d, obtenido de la prueba de bombeo.

6.7.2. Acuitardo Tiribí

En el perfil AB, se observa el contacto inferior del acuífero Barba, corresponde con la Formación Tiribí, cuyo espesor se incrementa hacia el SE, dado que en el pozo Burial se presenta un espesor de 25 metros y a partir del pozo Joya 1 y 2, se incrementa el doble de su espesor, se describe la presencia de tobas e ignimbritas gris. Dado que la información

hidrogeológica es escasa en la zona de estudio, según Ramírez & Alfaro (2002) consideran esta formación rocosa, como un acuitardo y le asignan valores de permeabilidad entre $1,6 \times 10^{-4}$ m/d hasta $2,72 \times 10^{-4}$ m/d, Echandi (1981) le clasifica como un acuicierre

6.7.3. Acuífero Colima

La información de los pozos de la ESPH que captan agua subterránea del acuífero Colima, divide este sistema en Colima Superior e Inferior, dado que las ubicaciones de las rejillas no permiten determinar en diversos pozos el acuífero que capta específicamente, en algunos casos capta el sistema superior o inferior y en otros pozos ambos acuíferos.

En el perfil AB, el contacto con la Formación Colima, se presenta a partir de los 150 a 170 metros de profundidad, dicha ubicación es variable espacialmente, ya sea con el Miembro Linda Vista o Colima Superior, con presencia de lavas andesíticas y presencia de espesores de al menos 6 metros de paleosuelos dentro de los paquetes de lavas, que alcanzan espesores de 70 hasta los 162 metros. Los pozos que capta el acuífero Colima Superior, son el Esperanza 2, Aurora 3 y Aurora 2.

Para el acuífero Colima Inferior, el pozo Burial presenta su rejilla y nivel dentro de este paquete de lavas asociado con el miembro Puente de Mulas, en el expediente del pozo se indica que para evaluar la transmisividad del acuífero es casi imposible medir el proceso de abatimiento del nivel en el inicio de la prueba de bombeo y durante la recuperación, dado que es casi instantáneo. Se estimó el grado de transmisibilidad se utilizó el valor de caudal específico el que indica que el rango de es de $600 \text{ m}^2/\text{día}$.

El pozo Claretiano II (BA-587) reporta un valor de $1246 \text{ m}^2/\text{d}$ y el pozo Real Santamaría indica un valor de $600 \text{ m}^2/\text{d}$, en el expediente del pozo AB-1875 (Pozo San Vicente) se reporta una transmisividad de $5732.35 \text{ m}^2/\text{d}$ y la capacidad específica de 16.55 L/seg/m (ver figura 19: perfil CD), estos pozos están captando los miembros Linda Vista, Puente de Mulas y Belén, miembros de Colima Superior e Inferior, los valores de transmisividad se indican para el Sistema Colima sin diferenciar entre el Superior o Inferior (ver figura 19: perfil CD).

Los pozos Burial, Joya 1, Joya 2, Claretiano II, Real Santa María, Pri II, Malinches, captan tanto el acuífero superior e inferior de Colima.

En el perfil CD, se evidencia el confinamiento del acuífero Colima, dado que los niveles estáticos se presentan a diversas profundidades tales como el pozo Claretiano II que lo presenta a los 171 metros, el San Vicente a los 134 metros, el Esperanza 1A a los 99 metros y finalmente el Real Santamaría a los 78 metros.

6.8 PROCESAMIENTO DE INFORMACIÓN

6.8.1 Información Meteorológica

Para el análisis de las fluctuaciones espacio temporales, se requiere de la información de la precipitación (mm) de la zona de estudio. Dado que la información recopilada por las estaciones cercanas, no se presentan de forma diaria, sumado a ello se presenta una ausencia de datos en ciertas épocas del año, por lo tanto, no se tiene la información completa para el periodo de análisis, el cual comprende desde el 2013 al 2017.

Se implementó la metodología de regresión lineal utilizada por Ayala et al. (2018), la cual permite rellenar datos y es recomendado para la estimación de datos mensuales y anuales.

Con el objetivo de conocer la dispersión de los datos de las estaciones meteorológicas utilizadas, se obtuvo el valor de correlación "r". Se realizaron los gráficos de dispersión de la información de cada una de las estaciones versus la estación 84277 (La Aurora), dado que es la estación que presenta mayor información para el periodo de análisis, en las figuras 23 al 27 se observan los valores semanales para cada estación.

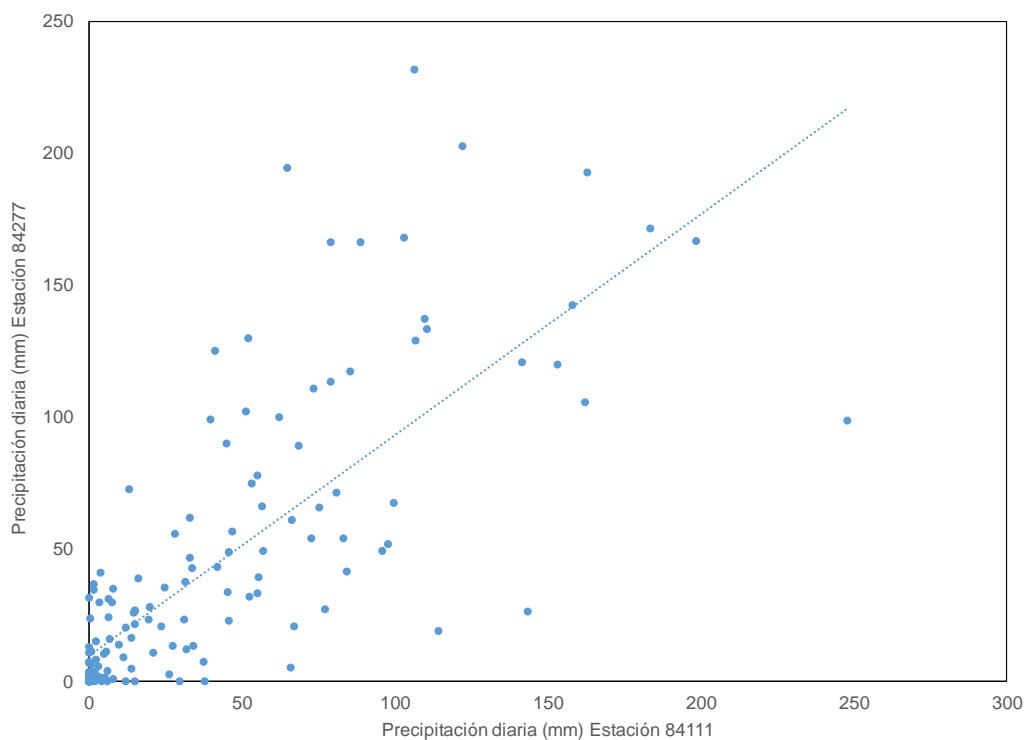


Figura 23. Gráfico de dispersión para el periodo 2013-2017 de los datos de precipitación de las estaciones 84111 vs 84277, valores semanales de cada estación.

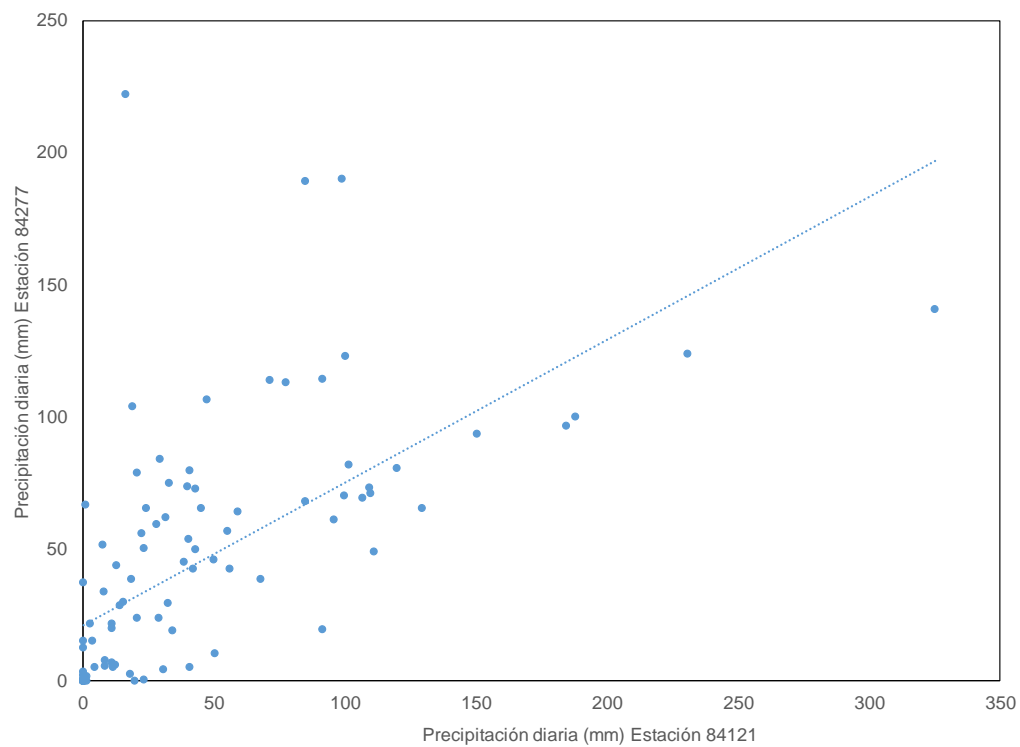


Figura 24. Gráfico de dispersión para el periodo 2013-2017 de los datos de precipitación de las estaciones 84121 vs 84277 valores semanales de cada estación.

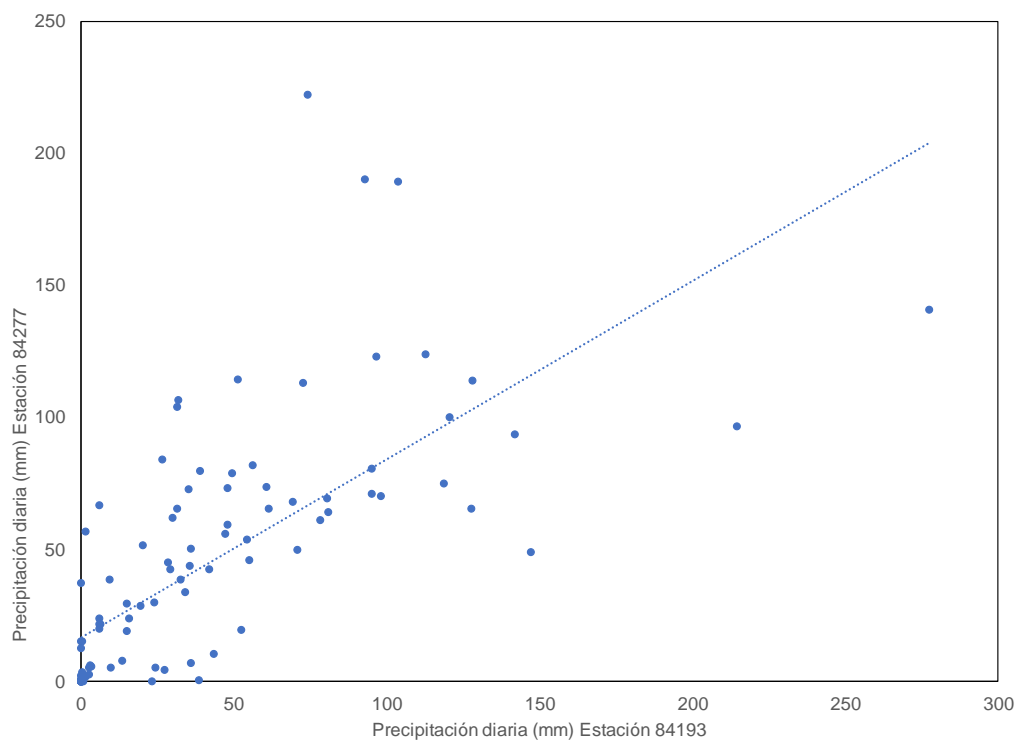


Figura 25. Gráfico de dispersión para el periodo 2013-2017 de los datos de precipitación de las estaciones 84193 vs 84277, valores semanales de cada estación.

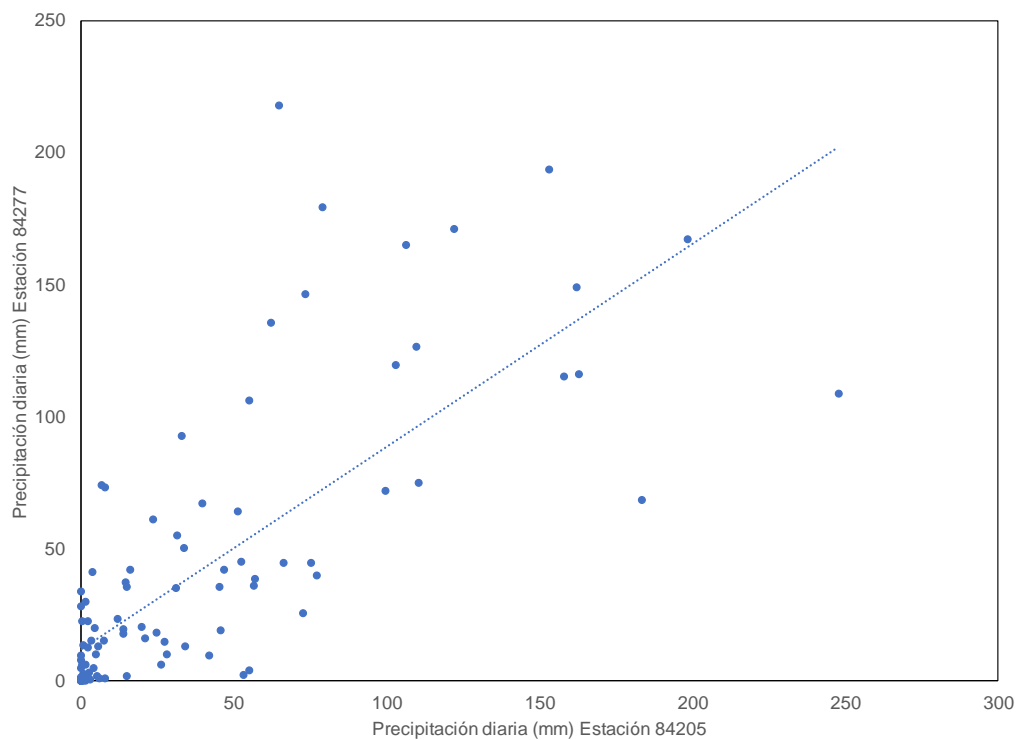


Figura 26. Gráfico de dispersión para el periodo 2013-2017 de los datos de precipitación de las estaciones 84205 vs 84277, valores semanales de cada estación.

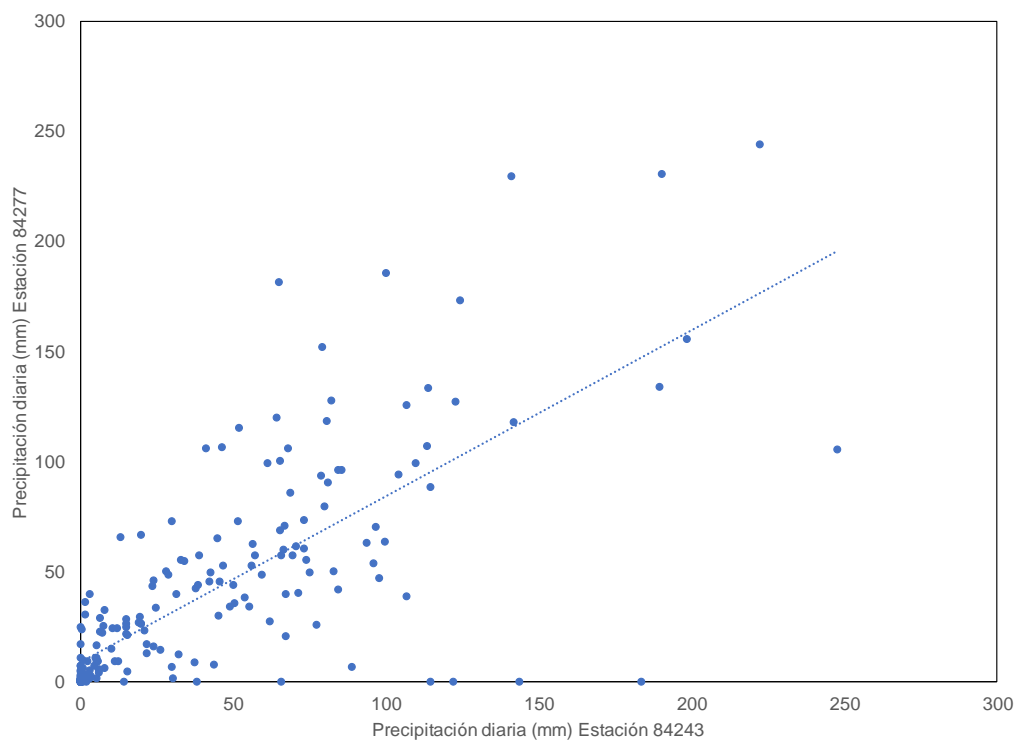


Figura 27. Gráfico de dispersión para el periodo 2013-2017 de los datos de precipitación de las estaciones 84243 vs 84277, valores semanales de cada estación.

La estación auxiliar es la estación 84277, La Aurora, la cual se utiliza de referencia, en el cuadro 6, donde se presentan los resultados de dicha correlación con respecto a las otras estaciones de la zona de estudio, se observa que los datos están en el rango de $0.5 < r < 1$, según indica (Ayala , Carrera-Villacrés, & Tierra, 2018) (ver cuadro 2), los datos obtenidos se presentan dentro de ese rango, ante ello se puede decir que presenta una buena aproximación.

Cuadro 6. Valor de correlación de Pearson

Estación analizada vs la estación auxiliar (84277)	Valor de correlación de Pearson
84243 (Cias Agrarias, Santa Lucía)	0,75
84111 (Santa Lucía)	0,77
84121 (Tibás)	0,64
84193 (Pavas, Aeropuerto)	0,71
84205	0,75

6.8.2 Información de niveles de agua subterránea

Se hizo un análisis estadístico de los datos de profundidad del nivel agua subterránea y la temperatura de los 12 pozos seleccionados (ver figura 1), estos datos fueron promediados utilizando una media móvil central de forma semanal estos datos se muestran de forma gráfica con el valor de precipitación. La producción de los pozos es registrada de forma mensual por la ESPH, por esta razón esta información es mostrada con esa temporalidad, con respecto a los niveles del agua subterránea y la precipitación. El resultado final de los gráficos, nos permiten determinar la relación entre las variables y principalmente, observar si se presenta ciclicidad en las variaciones del nivel de agua subterránea.

Los datos registrados del nivel del agua subterránea se han registrado en diversos periodos y por ello la cantidad de datos para cada pozo es variable, en el siguiente cuadro se presenta la cantidad de datos utilizada para cada pozo.

Cuadro 7. Cantidad de datos utilizados en el análisis de nivel de agua subterránea.

Pozo	Cantidad de datos registrados de nivel de agua subterránea	Datos promedio
Burial	128151	171
Joya 1	100197	173
Joya 2	172650	112
San Vicente	36233	67
Malinche	61224	70
Aurora 2	129461	261
Aurora 3	131507	245
Esperanza 1	171301	253
Esperanza 2a	185340	261
Montealegre	40093	154
Real Santamaría	129182	243

En la figura 28 se observan los datos de niveles de agua subterránea y precipitación, graficados de forma diaria, para determinar tendencias y tiempos de arribo de las señales, en dicha figura, como no fue posible realizar una clasificación de temporalidad de las variables, se realizó un promedio semanal de los valores, tanto para el análisis en los niveles de agua subterránea, como para la temperatura y precipitación, dado que la información se había recopilado con un valor promedio diario y posterior a datos semanales.

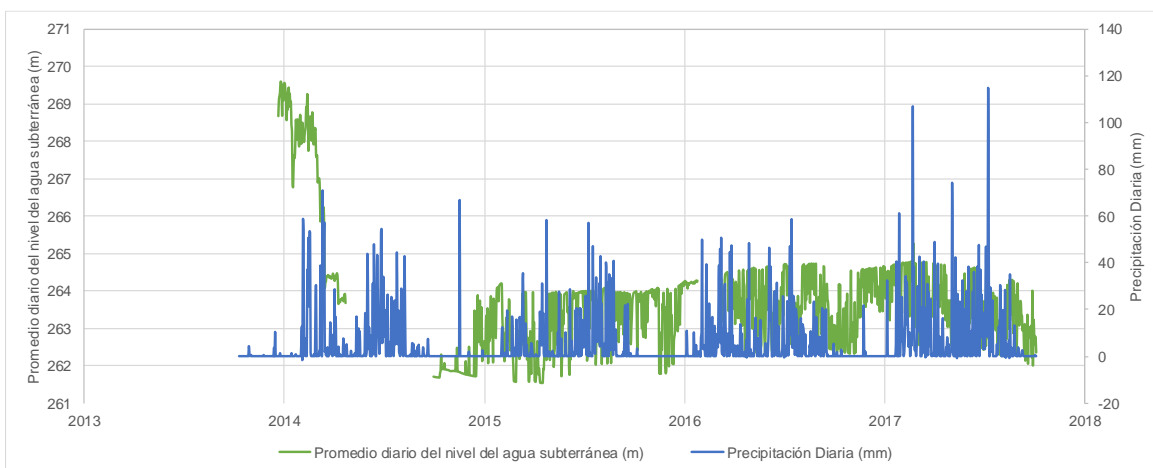


Figura 28. Gráfico de nivel de agua subterránea versus precipitación, registrados de forma diaria, Pozo Burial.

En el cuadro 8 se presentan los valores de desviación estándar para cada uno de los pozos, al igual que su valor promedio, máximo y mínimo. Se puede observar que los valores de desviación estándar se mantienen para los pozos con valores similares con un rango de 0,80 a 1,82 con excepción de la información del pozo Joya 2, presenta un valor de 7,92 donde a su vez la dispersión de los datos registrados varía desde los 270, 8 a 251,6 metros de profundidad para los niveles de agua subterránea de dicho pozo.

Cuadro 8. Datos estadísticos de la profundidad del nivel del agua subterránea de los pozos.

Pozo	Desviación Estándar	Promedio Semanal de la profundidad (m) del nivel del agua	Promedio Máximo Semanal de la profundidad (m) del nivel del agua	Promedio Mínimo Semanal de la profundidad (m) del nivel del agua
Burial	1.07	263.63	270.86	261.06
Joya 1	1.58	150.72	164.12	147.67
Joya 2	7.92	260.14	270.86	251.68
San Vicente	1.16	160.10	162.33	157.21
Malinches	1.62	155.11	158.18	150.81
Aurora 3	1.32	104.68	108.23	99.84
Aurora 2	1.60	113.65	115.47	107.98
Pri II	1.68	72.27	76.13	69.74
Esperanza 1a	0.80	117.74	129.62	112.20
Esperanza 2	1.55	94.59	101.59	88.53
Montealegre	1.82	47.74	50.69	43.50
Real Santamaría	1.75	89.96	90.00	77.77

A continuación, se presenta el análisis realizado para cada uno de los pozos.

6.8.2.1 Burial

El pozo BA-0897, conocido como pozo Burial, se localiza en San Rafael de Heredia. Fue perforado en el año 2008 y tiene una profundidad de 289 metros. Su rejilla fue instalada entre los 189 y 289 metros de profundidad, el nivel estático se determinó a los 255 metros y el dinámico a los 258 m, y capta el sistema de acuíferos Colima, tanto Superior como Inferior.

El periodo de análisis inicia en marzo del 2014 hasta 31 de diciembre del 2017, presenta una ausencia de información del 16 de julio a 23 de diciembre del 2014, tal y como se observa en la figura 29. En el 2015, el nivel de agua subterránea incrementa a 261 metros, desde esa fecha hasta el 2017 fluctúa dentro de un rango de 5,62 metros.

Los periodos de precipitación de mayor importancia se han señalado en la figura 29, donde se determinaron 3 incrementos de la precipitación, el primero noviembre del 2015, seguido del evento del mayo del 2016 y de la misma época, pero para el 2017.

La evidencia de respuesta del nivel del agua del acuífero, se presenta aproximadamente 88 días después del arribo de la señal de la precipitación con respecto a la del nivel del agua subterránea. El rango de variación del nivel para el período de análisis es de 9,8 metros. La correlación visual que se realiza para este pozo, nos permite ver las variaciones del nivel del agua subterránea, la cual es la respuesta de los incrementos de la precipitación.

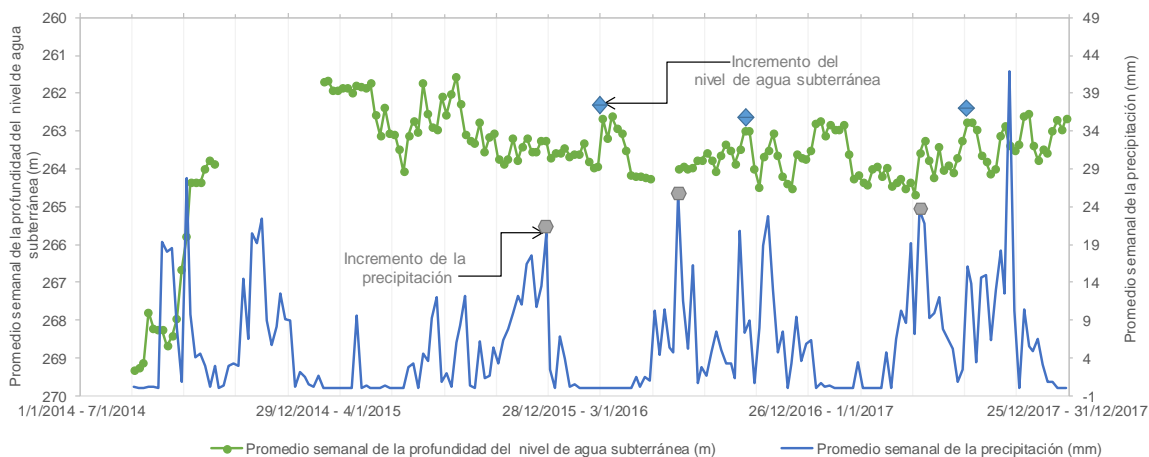


Figura 29. Promedio semanal de la profundidad del agua subterránea vs la precipitación, pozo Burial 2014-2017.

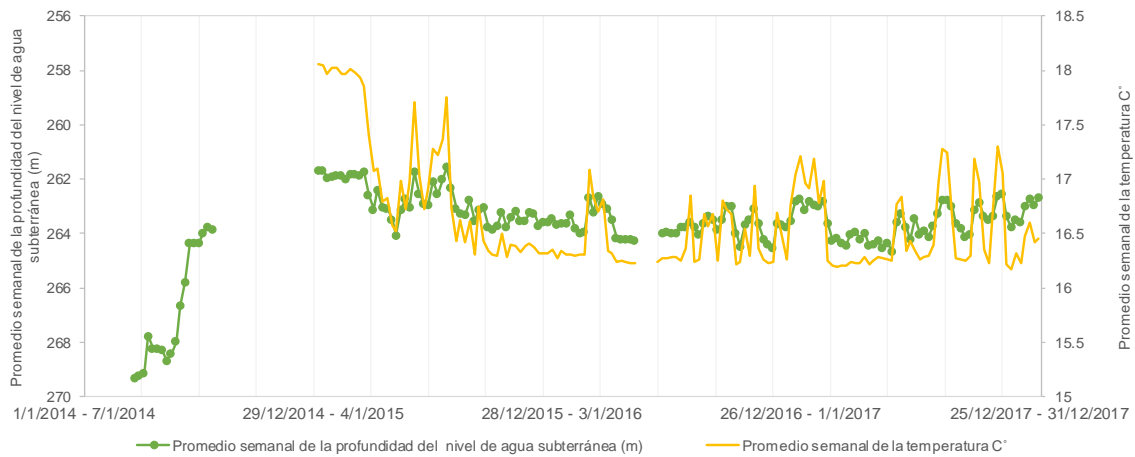


Figura 30. Promedio semanal de la temperatura del pozo vs el nivel de agua subterránea, pozo Burial 2014-2017.

La señal de la profundidad del nivel de agua subterránea y la temperatura del agua en el mismo periodo. Ambas señales presentan una tendencia similar, cuando se da un incremento de nivel del agua de igual forma sube la temperatura del agua. La temperatura promedio desde el 2015 al 2017 es de $16,47^{\circ}\text{C}$ y a su vez el rango de variación es de $2,1^{\circ}\text{C}$ para dicho período. Esto parece sugerir que ocurre una recarga hacia el acuífero de agua con una temperatura ligeramente mayor (figura 30).

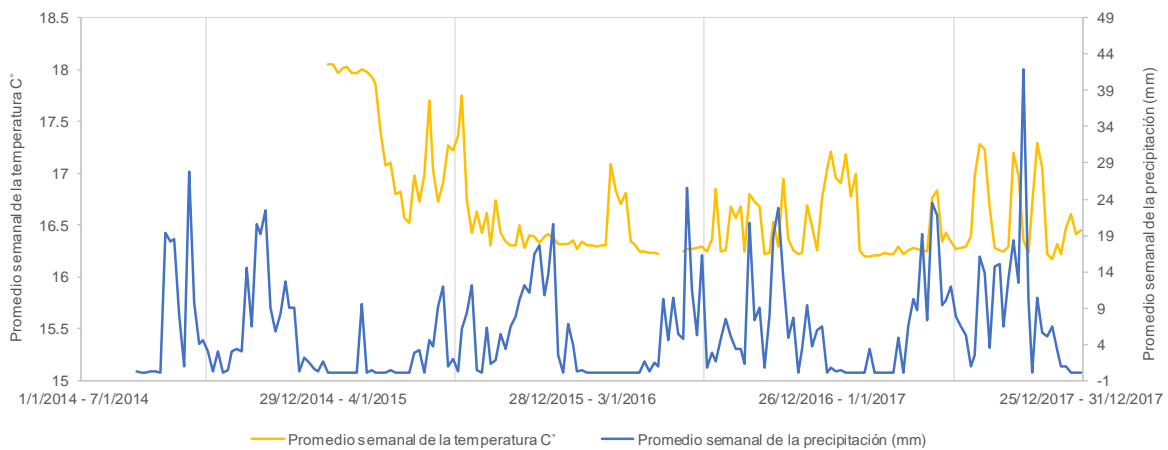


Figura 31. Promedio semanal de la temperatura vs la precipitación (mm), pozo Burial 2014-2017.

En la figura anterior, el incremento de los valores de la temperatura se refleja posterior a los pulsos positivos de la precipitación, de forma similar que se presenta con el nivel de agua subterránea, según se observó en la figura anterior dichas variables presentan un comportamiento análogo.

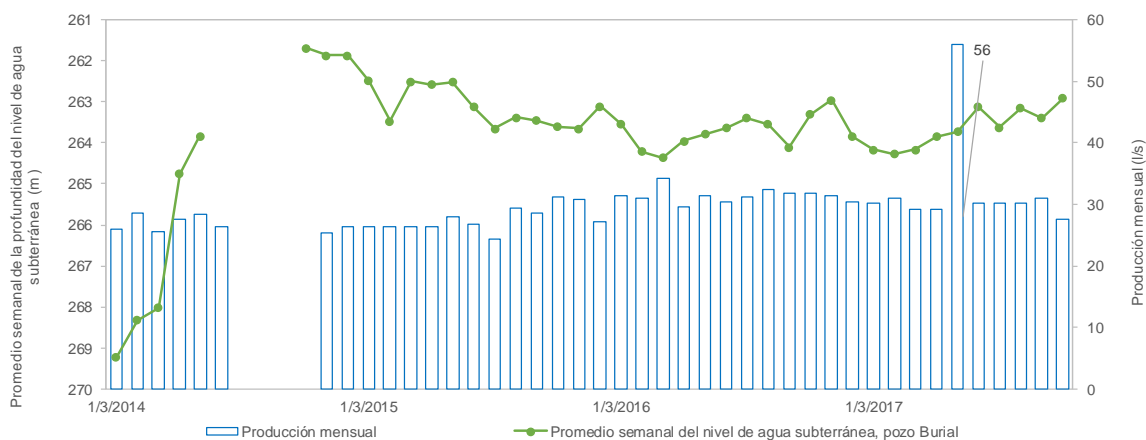


Figura 32. Promedio de la profundidad mensual del nivel de agua subterránea vs la producción, pozo Burial 2014-2017.

La figura 32, evalúa dos variables: el promedio mensual de la profundidad del nivel de agua subterránea y la producción del pozo. La producción del pozo se mantiene de forma constante, se presenta un incremento en el mes de julio del 2017, el cual no le genera variación al nivel del agua subterránea, está si varía con la precipitación, por lo tanto, la extracción, no le genera variaciones al nivel del agua subterránea.

6.8.2.2 Pozo Joya 1

El pozo BA-0474 (Joya 1), fue perforado en 1995, tiene una profundidad de 200 metros. Los niveles estáticos y dinámicos se determinaron a los 130 y 134 metros de profundidad respectivamente. El armado del pozo indica, que la tubería ranurada se presenta a partir de los 155 hasta los 185 metros y posteriormente de los 190 a 200 metros, capta el Sistema Colima tanto Superior e Inferior.

El análisis de datos para el pozo Joya 1, comprende desde diciembre del 2013 ha diciembre del 2017, presenta una ausencia de información en los meses de marzo y julio del 2016. Según se observa en el figura 33, el nivel del agua subterránea, inicia en diciembre del 2013 a 150 metros de profundidad, a pesar de ello, el resultado mostrado en el gráfico, no permite determinar la presencia de fluctuaciones, dado que este pozo está captando Colima Superior e Inferior, lo cual genera una mezcla de acuíferos y por ende son varios componentes que van a determinar el comportamiento de la señal del agua subterránea y la influencia de la precipitación sobre ella, como lo es el armado del pozo, el grado de confinamiento de los acuíferos, la carga hidráulica.

El promedio de arribo de la señal hacia el nivel del agua subterránea, se presenta aproximadamente posterior a los 58 días, este dato se obtuvo considerando el tiempo entre los días que presentan incrementos en la precipitación y el nivel del agua subterránea, se han marcado dichas fechas en la figura 33. El rango de variación del nivel durante este período es de 16,45 metros.

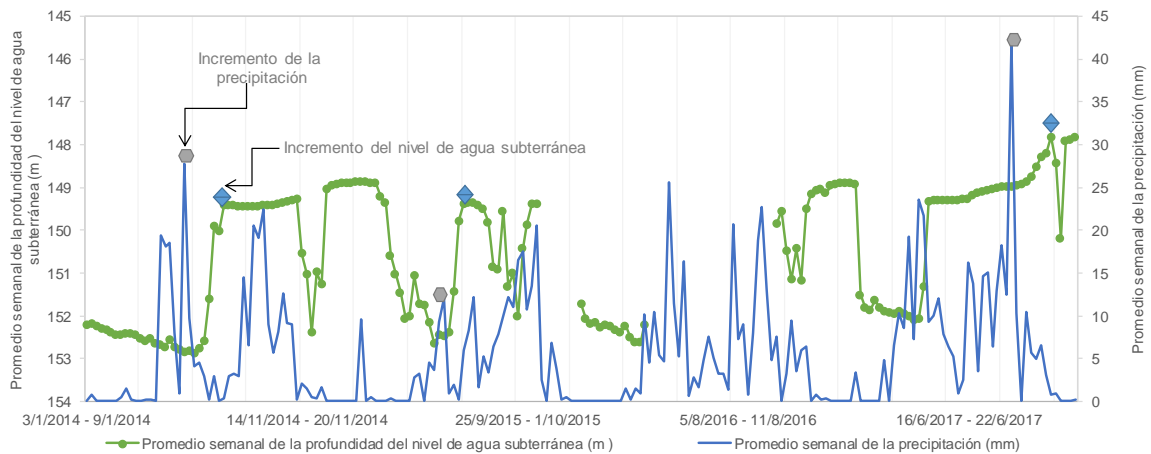


Figura 33. Promedio semanal de la profundidad del nivel de agua subterránea vs la precipitación, pozo Joya 1 2014-2017.

Los datos de temperatura para el pozo Joya 1, no se presentan de igual forma que los datos del nivel del agua subterránea, lo cual se evidencia en la figura 34, prácticamente la temperatura se mantiene constante durante la etapa de evaluación, El valor promedio de la temperatura es de 19, 67°C. En el 2017, se observa el patrón análogo de las dos variables analizadas.

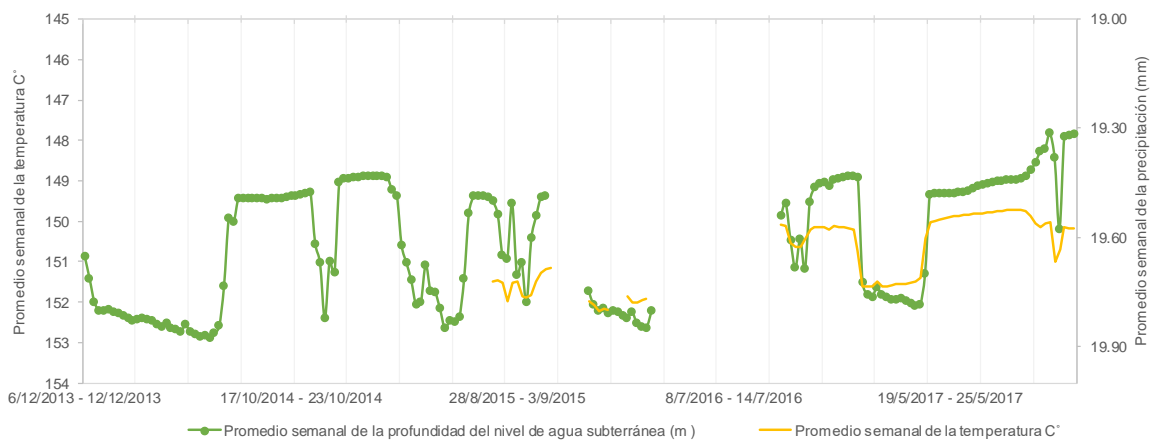


Figura 34. Promedio semanal de la profundidad del nivel de agua subterránea vs la temperatura del Pozo Joya 1 2014-2017.

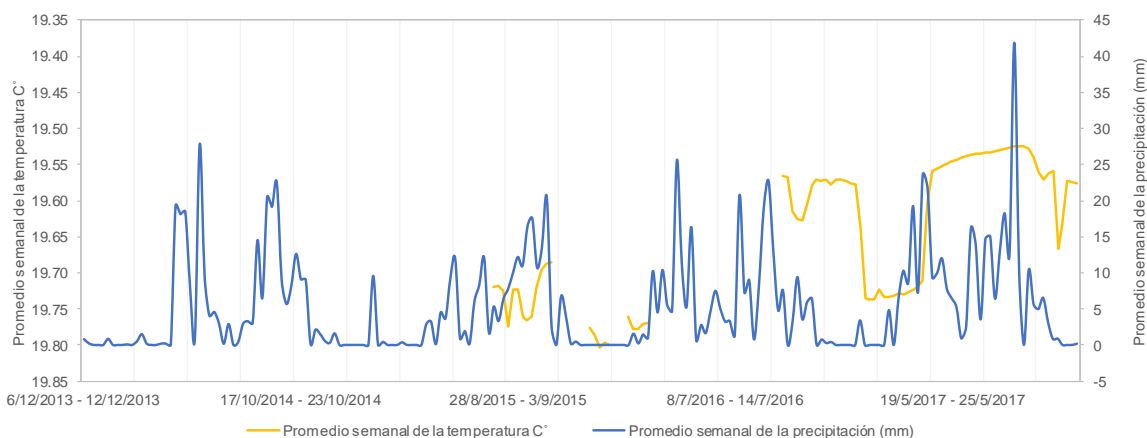


Figura 35. Promedio semanal de la temperatura del agua subterránea versus la precipitación del pozo Joya 1 2014-2017.

En la figura anterior, no es muy clara la relación entre la temperatura del agua del pozo y la precipitación, sin embargo, durante el 2017, parece presentarse un leve incremento de los valores de la temperatura, posterior al incremento de la precipitación.

En la figura 36, se observa un valor constante de la producción del pozo Joya 1, no se observa un abatimiento del nivel de forma negativa, los valores positivos del incremento del nivel, son la respuesta a la lluvia.

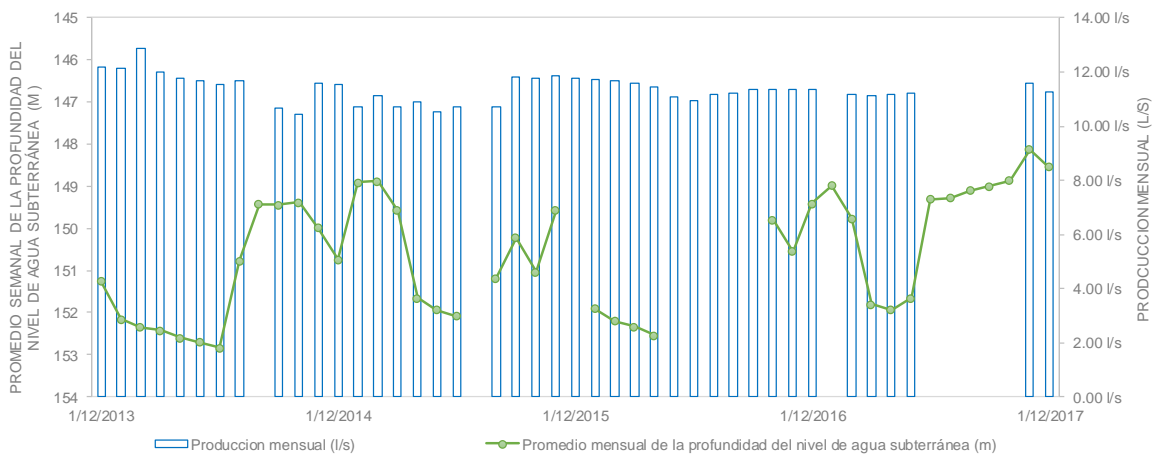


Figura 36. Promedio mensual del nivel de agua subterránea, precipitación y producción, pozos Joya 1 2014-2017.

6.8.2.3 Joya 2

El pozo BA-0474 (Joya 2), presenta una profundidad de 350 metros, el reporte de los niveles estático y dinámico son a los 243 y 258 metros de profundidad. La tubería ranurada se presenta a partir de los 214 metros hasta los 350 metros, el pozo está captando Colima Superior e Inferior y fue perforado en 1997.

El análisis de datos para el pozo Joya 2, comprende desde marzo del 2015 hasta abril del 2017. En la figura 37 evidencia dos períodos de incremento del nivel, asociados a la precipitación, a pesar de ello no se puede establecer un patrón de fluctuación estacional, debido que no se observa con claridad la respuesta en el nivel del agua subterránea.

La profundidad promedio del nivel de agua subterránea es 260 metros, la profundidad máxima del nivel se reportó a los 279,86 metros y la profundidad mínima fue a los 251,58 metros. Presentó un rango de variación entre el nivel máximo y mínimo de 19,19 metros.

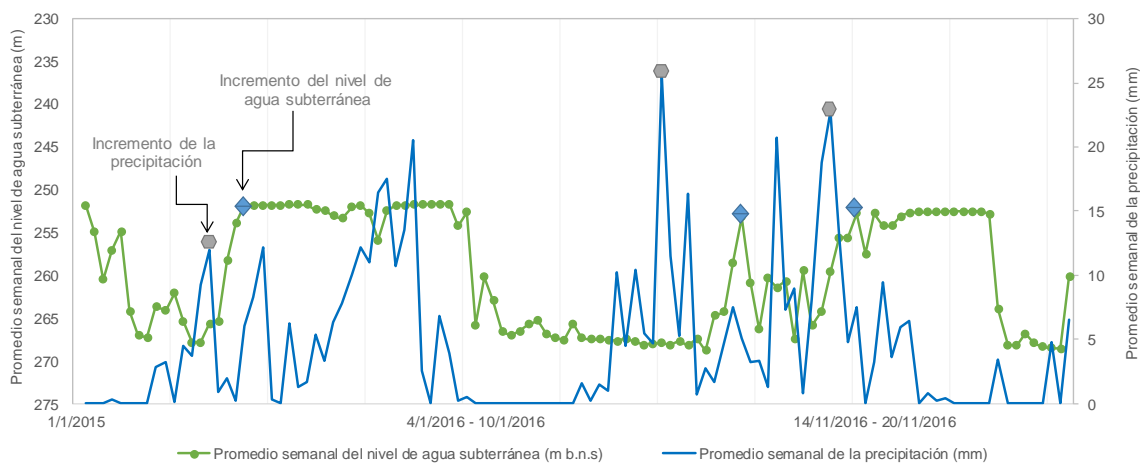


Figura 37. Promedio semanal del nivel de agua subterránea vs la precipitación, pozo Joya 2 2014-2017.

Los datos de temperatura para el pozo Joya 2, existen para el periodo de agosto del 2015, a agosto del 2016, y de enero del 2017 y a febrero del mismo año. En la figura 38 se observa que el comportamiento de la temperatura es análogo con respecto al nivel de agua, evidencia de ello son las mesetas que se presentan en el gráfico en ambas variables y al descender el nivel sucede lo mismo con la temperatura. El valor promedio de la temperatura es de 15,94°C, los valores máximo y mínimo son 19,78 y 12,13°C respectivamente, cuyo rango de variación es 7,65°C.

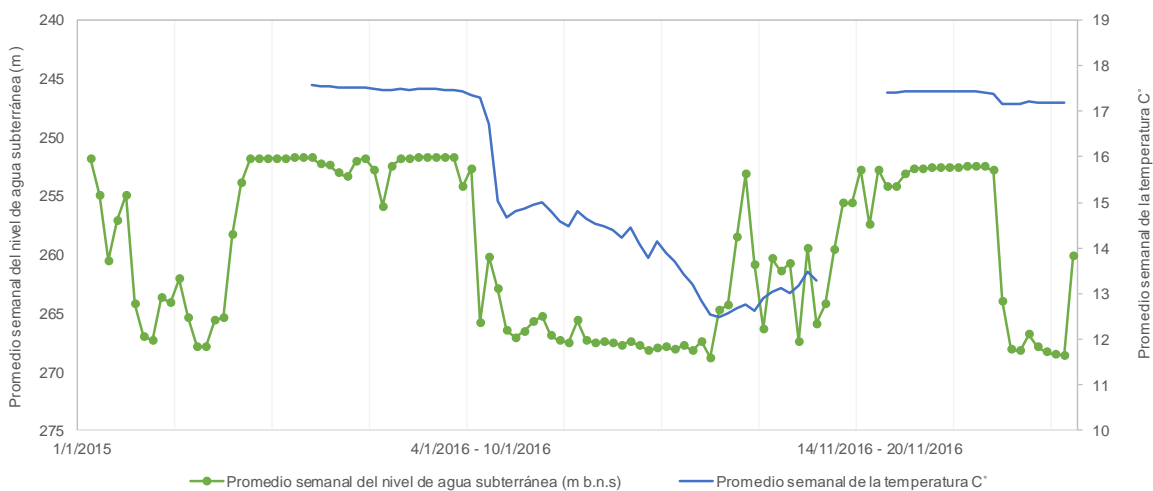


Figura 38. Promedio semanal de la profundidad del nivel de agua subterránea vs la temperatura del agua, pozo Joya 2 2014-2017.

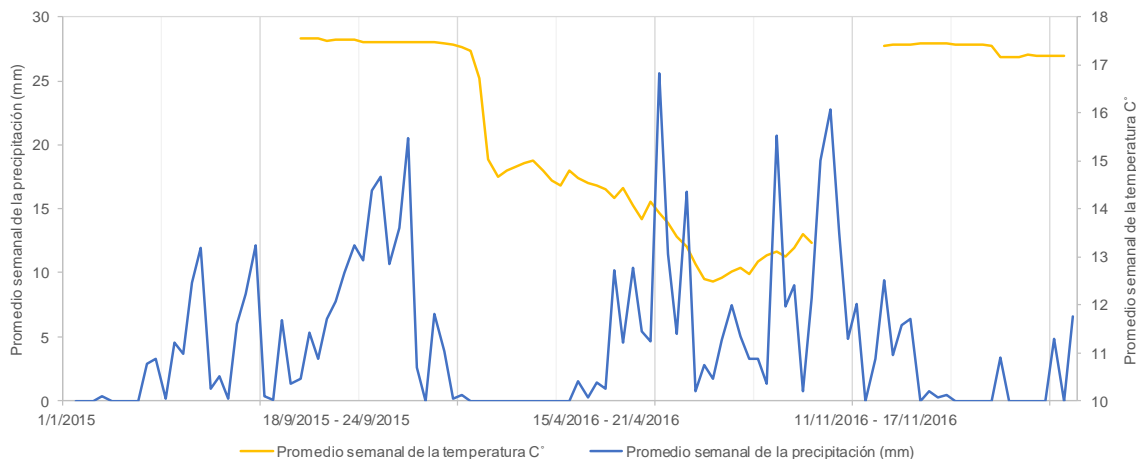


Figura 39. Promedio semanal de la precipitación vs la temperatura del agua subterránea, pozo Joya 2 2014-2017.

En la figura 39, el incremento de los valores de la temperatura se refleja posterior a los pulsos de precipitación, de forma similar que se presenta con el nivel de agua subterránea.

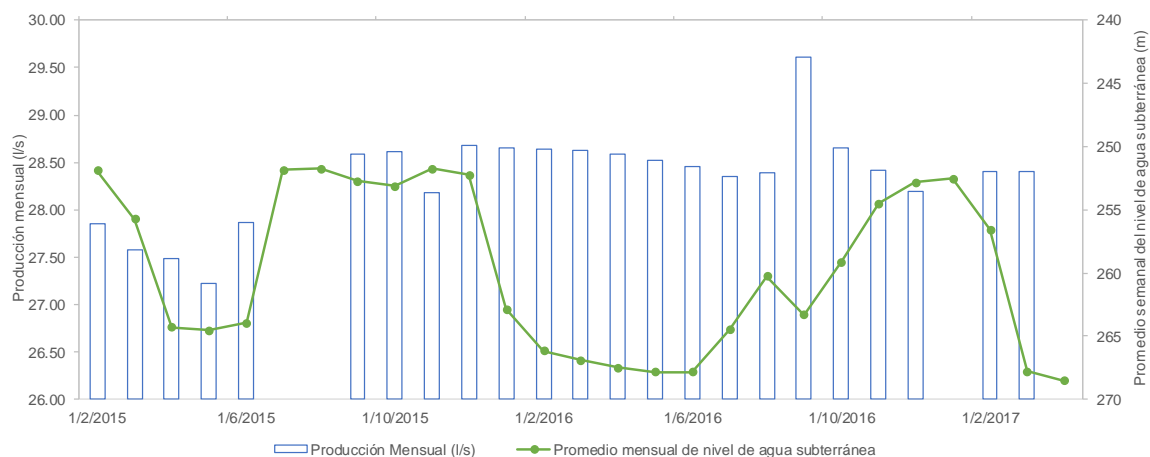


Figura 40. Promedio mensual del nivel del agua subterránea, precipitación y nivel del agua subterránea, pozo Joya 2 2014-2017.

En la figura 40, se evidencia que la producción es constante, no se observa un abatimiento del nivel de forma negativa, los valores positivos del incremento del nivel son la respuesta a la lluvia.

6.8.2.4 San Vicente

El pozo San Vicente (AB-1875), presenta una profundidad de 244 metros, el reporte de los niveles estático y dinámico son 159 y 161 metros de profundidad respectivamente. La tubería ranurada se presenta a partir de los 154 metros hasta los 240 metros, el pozo está captando tanto Colima Superior como Inferior.

El registro de datos para el análisis del pozo comprende desde setiembre del 2016 hasta diciembre del 2017. No se puede asociar con variaciones estacionales, los cambios del nivel del agua subterránea, al igual que se presenta con los pozos Joya 1, Joya 2, por las condiciones de los pozos y los acuíferos, mencionados anteriormente (figura 41).

El valor promedio de respuesta del acuífero es de 84 días posterior al arribo de la señal de precipitación. El promedio del nivel de agua subterránea se presenta 160,10 metros, el valor máximo del nivel se reportó a los 162,33 metros y el nivel mínimo fue a los 157,21 metros de profundidad, presenta un rango de variación del nivel para dicho período de 5,13 metros.

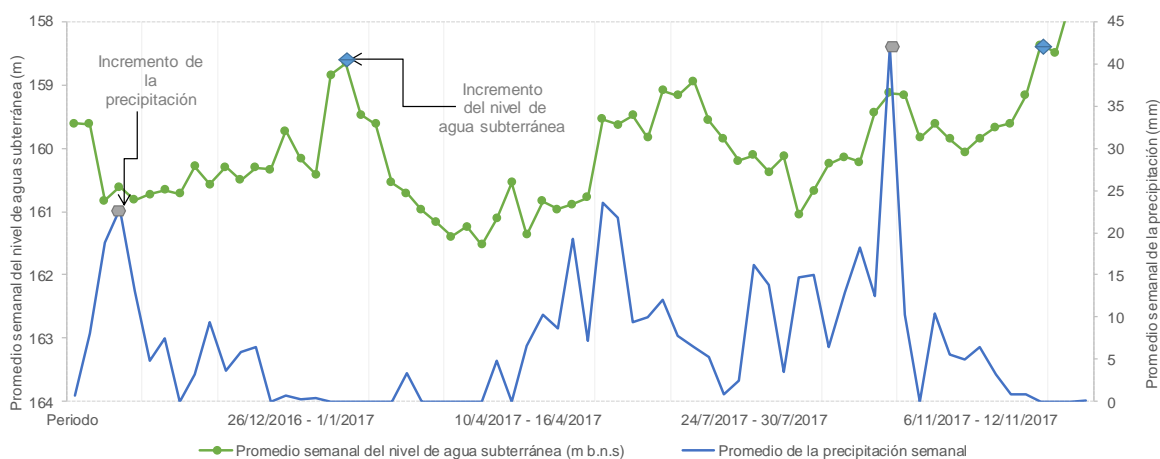


Figura 41. Promedio semanal de la profundidad del nivel del agua subterránea vs la precipitación del pozo San Vicente, 2014-2017.

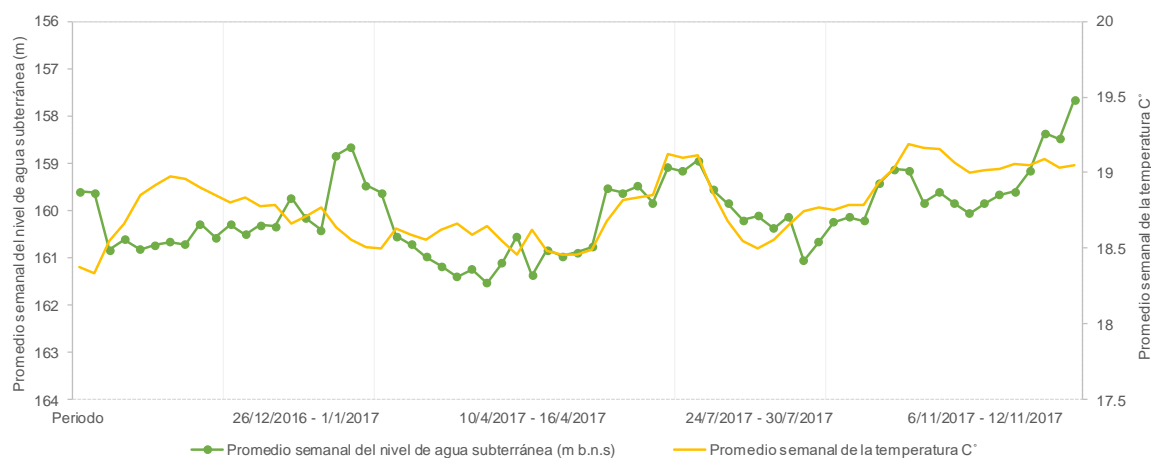


Figura 42. Promedio semanal del nivel del agua subterránea vs la temperatura, del pozo San Vicente, 2014-2017.

En la figura 42, se observa que la temperatura del agua subterránea presenta un comportamiento similar al nivel del agua subterránea, se presenta una leve variación al inicio del periodo, el promedio de la temperatura es de $18,74^{\circ}\text{C}$, los valores de temperatura máxima y mínima son $20,39^{\circ}\text{C}$ y $18,07^{\circ}\text{C}$ respectivamente, el rango de variación de es de $2,32^{\circ}\text{C}$.

Dado que la temperatura del agua subterránea, presenta un comportamiento similar al nivel del agua subterránea, los efectos de la precipitación sobre dicha variable, son iguales al analizado en la figura 42.

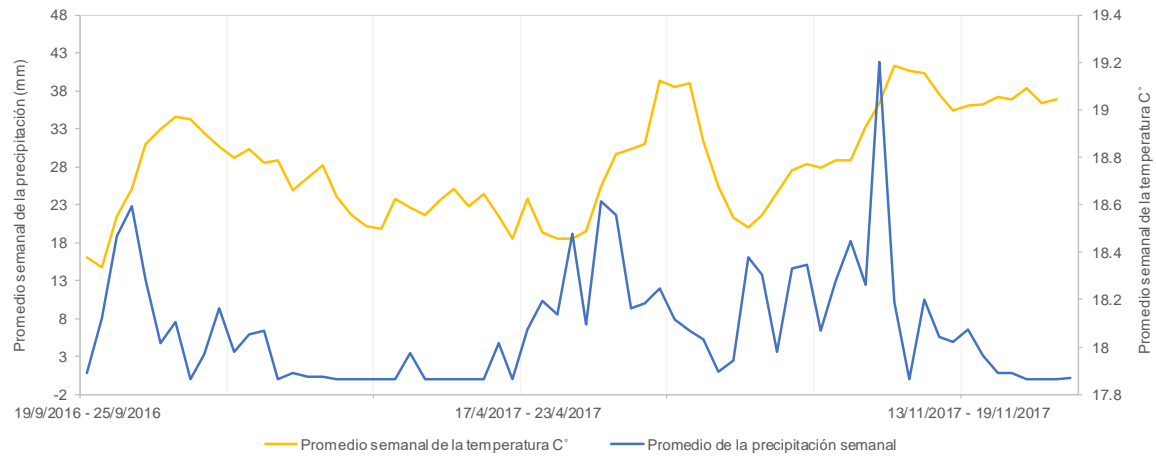


Figura 43. Promedio de la precipitación vs la temperatura del agua subterránea, del pozo San Vicente, 2014-2017.

La producción del pozo se mantiene constante, con una extracción aproximada de 55 l/s, se evidencia que dicho bombeo no genera variaciones del nivel, lo cual es asociado a la precipitación, que presenta una recarga tardía de al menos 84 días, según se observa en la figura 44.

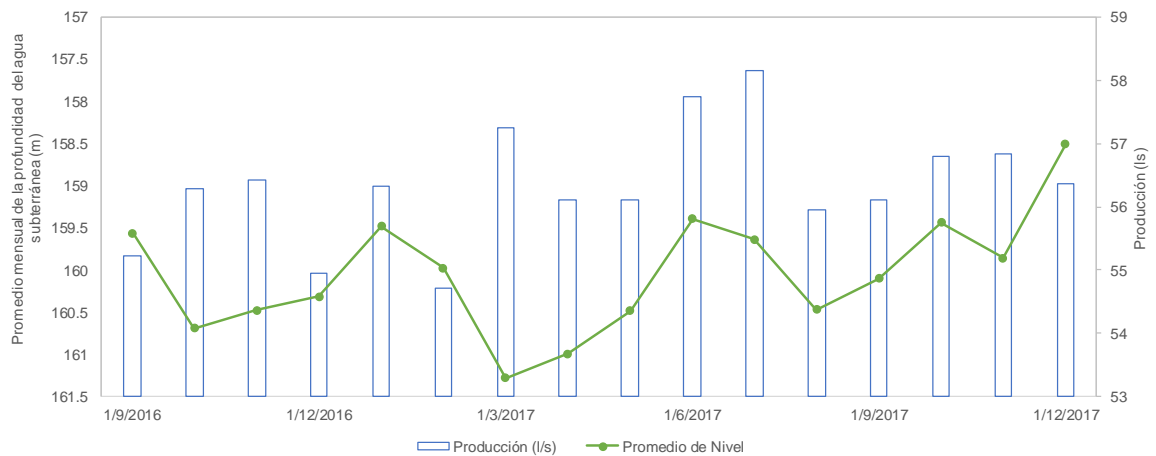


Figura 44. Promedio mensual del nivel del agua subterránea, precipitación y producción, del pozo San Vicente, 2014-2017.

6.8.2.5 Malinches

El pozo AB-1132, denominado pozo Malinches, tiene una profundidad de 245 metros, los niveles estático y dinámico son a los 154 y 156 metros de profundidad. Este pozo no presenta tubería ranurada, tiene un fondo abierto desde los 200 hasta los 245 metros de profundidad, captando tanto Colima Superior como Inferior, se perforó en 1989.

El registro de datos para el análisis del pozo comprende desde marzo del 2016 hasta diciembre del 2017. En la figura 45, no permite asociar las variaciones del nivel del agua del pozo, con respecto a la precipitación, solamente, en setiembre del 2017, se registra un incremento de la precipitación, el cual se refleja en el incremento del nivel del agua subterránea en diciembre del 2017. El promedio del nivel de agua subterránea 155,11 metros, el valor máximo del nivel se reportó a los 158,18 metros y el nivel mínimo fue a los 150,81 metros de profundidad, presenta un rango de variación del nivel para dicho período de 7,37 metros.

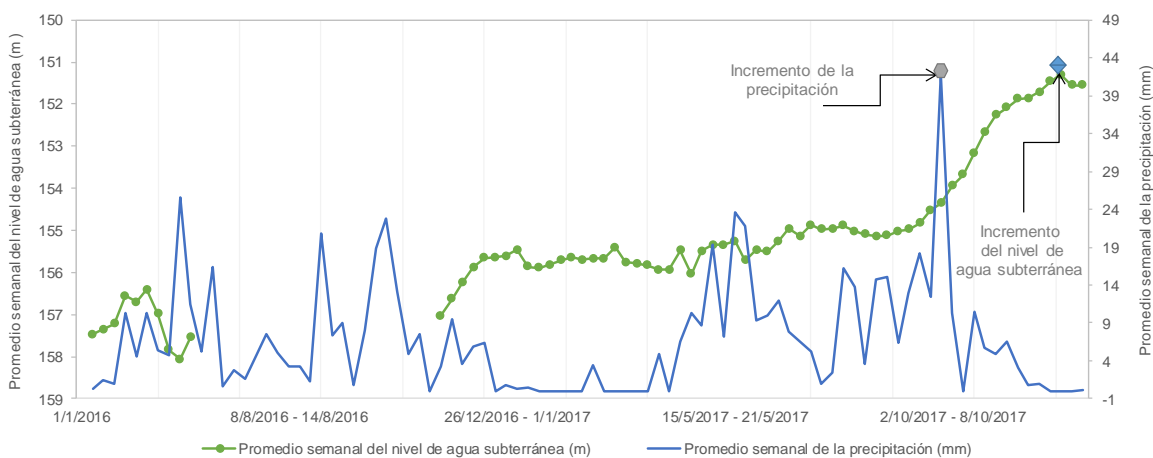


Figura 45. Promedio semanal de la profundidad del nivel del agua subterránea vs la precipitación, pozo Malinches, 2014-2017.

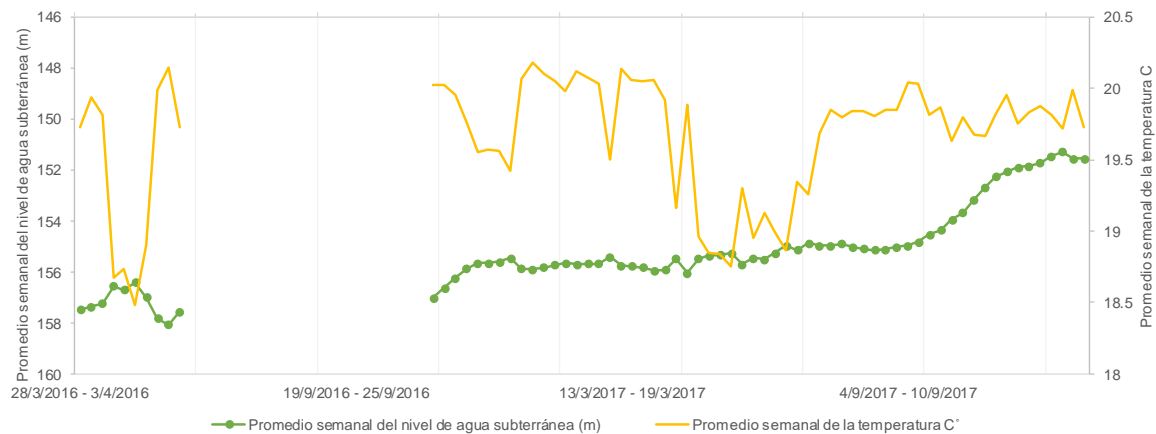


Figura 46. Promedio semanal del nivel del agua subterránea vs la temperatura, pozo Malinches, 2014-2017.

En la figura anterior, se observa que la temperatura del agua subterránea presenta un comportamiento análogo al nivel del agua subterránea, se observa su detalle dada la escala de la temperatura utilizada, a pesar de ello el rango de variación de la temperatura es de $2,88^{\circ}\text{C}$, el valor promedio de $19,63^{\circ}\text{C}$, los valores de temperatura máxima y mínima son $21,02^{\circ}\text{C}$ y $18,14^{\circ}\text{C}$ respectivamente.

Dado que la temperatura del agua subterránea, presenta un comportamiento similar al nivel, los efectos de la precipitación sobre dicha variable, no generan variación en la temperatura (ver figura 47).

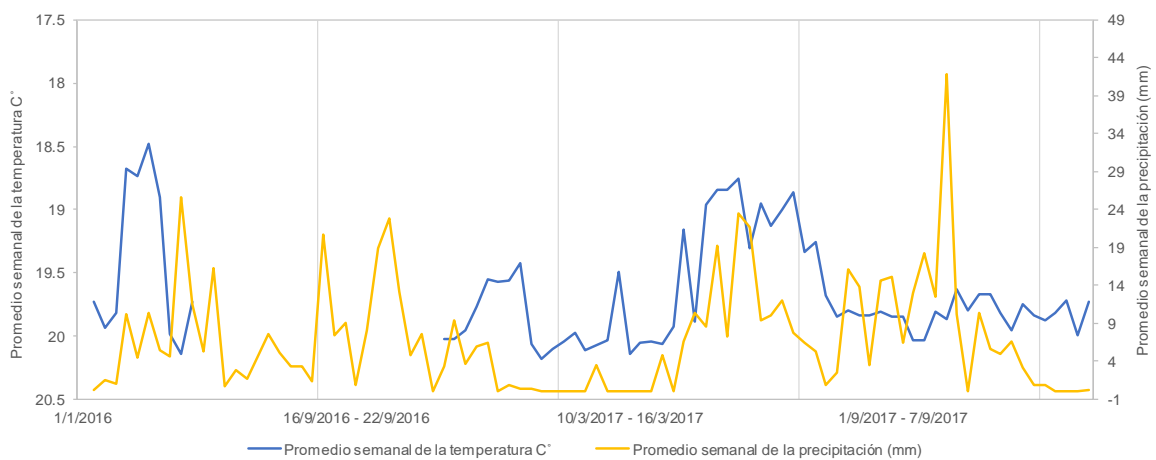


Figura 47. Promedio de la precipitación vs la temperatura del agua subterránea, pozo Malinches, 2014-2017.

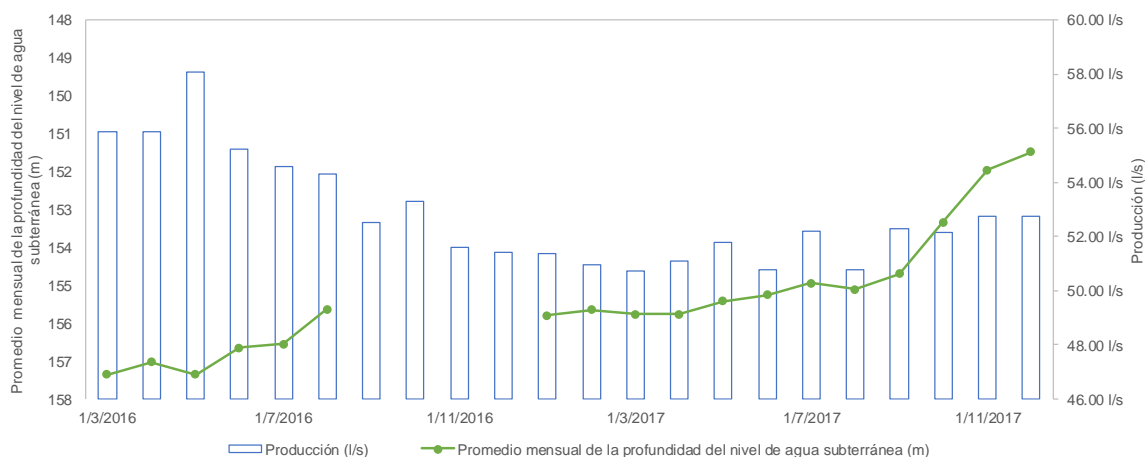


Figura 48. Promedio mensual del nivel del agua subterránea, precipitación y producción, pozo Malinches, 2014-2017.

La producción del pozo Malinches se mantiene constante, con una extracción aproximada de 55 l/s, se evidencia que dicho bombeo no genera variaciones del nivel, el nivel fluctúa a pesar de que la extracción es constante, la variable de la precipitación, es la que genera dichos cambios al nivel del agua subterránea, como se observó en la figura 45.

6.8.2.6 Aurora 2

El pozo AB-0679, Aurora 2, se perforó en 1979, alcanzando una profundidad de 143 metros, los niveles estático y dinámico son a los 110 y 112 metros de profundidad. Este pozo presenta su tubería ranurada desde los 120 hasta 143 metros de profundidad, captando el acuífero Colima Superior.

El registro de datos para el análisis del pozo comprende desde enero del 2013 hasta diciembre del 2017. En la figura 49, representa los 5 ciclos de las fluctuaciones estacionales del pozo. El primero inicia en octubre del 2013, la respuesta del incremento del nivel se presenta 56 días en diciembre, el segundo ciclo se da en setiembre del 2014 y tarda 70 días para reflejarse en el nivel.

En el 2015 las precipitaciones del mes de noviembre generan el incremento del nivel en enero del 2016, con un incremento de 3 metros en el nivel; para este año ocurre de igual manera donde el incremento de las lluvias se da en el mes de noviembre y a 23 días se da la señal en el nivel del pozo. Finalmente, el último ciclo sucede en setiembre del 2017 el

incremento del nivel se presenta noviembre a 56 días, el valor promedio del arribo de la señal en el nivel del agua ocurre a los 64,4 días posterior a la precipitación.

El promedio del nivel de agua subterránea 113,65 metros, el valor máximo del nivel se reportó a los 115,47 metros y el nivel mínimo fue a los 107,98 metros de profundidad, presenta un rango de variación del nivel para dicho período de 7,5 metros.

Como lo indica Custodio & Llamas (1996), la recarga origina una elevación del nivel de agua y después de la misma el agua aportada se extiende hacia los lugares de descarga, dando un origen a un descenso de niveles o recesión que se mantiene hasta el siguiente período de recarga.

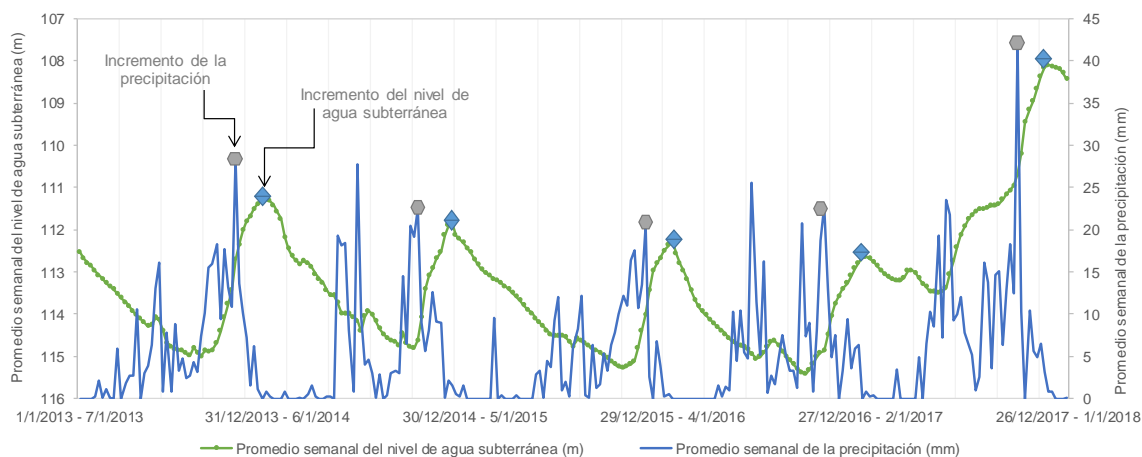


Figura 49. Promedio semanal de la profundidad del nivel del agua subterránea vs la precipitación, pozo Aurora 2, 2014-2017.

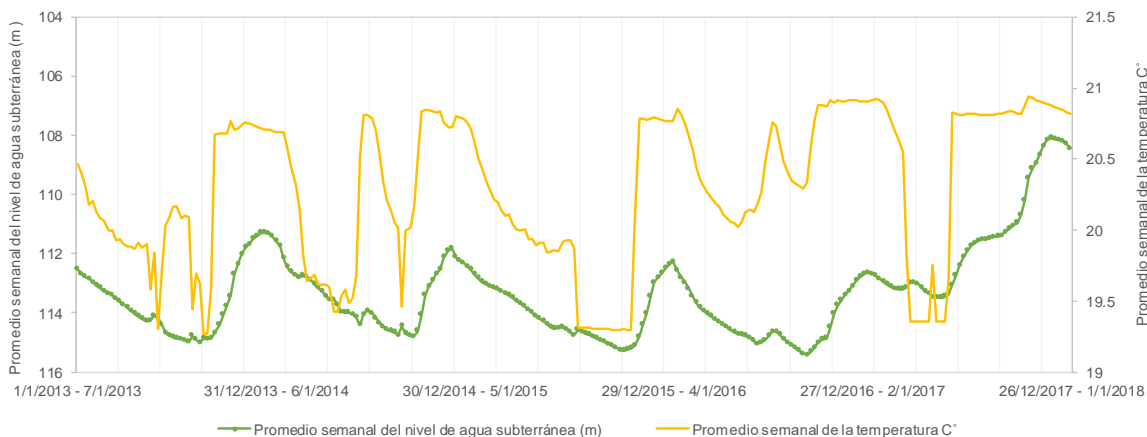


Figura 50. Promedio semanal del nivel del agua subterránea vs la temperatura, pozo Aurora 2, 2014-2017.

En la figura 50, se observan las variaciones de la temperatura del agua subterránea son similares al comportamiento del nivel del agua subterránea, el rango de variación de la temperatura es de $3,18^{\circ}\text{C}$, el valor promedio de $20,43^{\circ}\text{C}$, los valores de temperatura máxima y mínima son $22,4^{\circ}\text{C}$ y $19,26^{\circ}\text{C}$ respectivamente.

La temperatura del agua subterránea, tiene un comportamiento lineal, no se observa alguna fluctuación, debida al incremento de la precipitación, (figura 51).

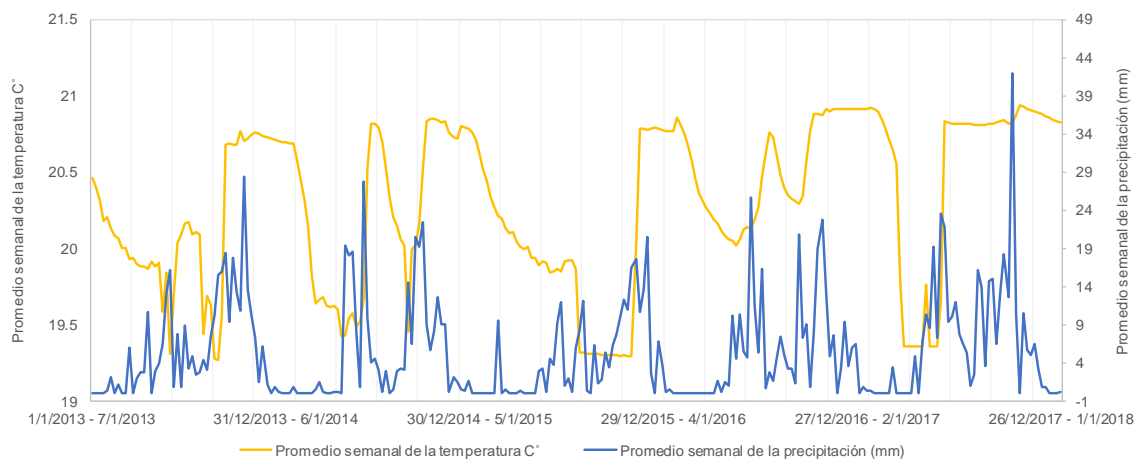


Figura 51. Promedio de la precipitación vs la temperatura del agua subterránea, pozo Aurora 2.

La producción del pozo Aurora 2 se mantiene constante, la extracción del agua no genera variaciones del nivel, (figura 52).

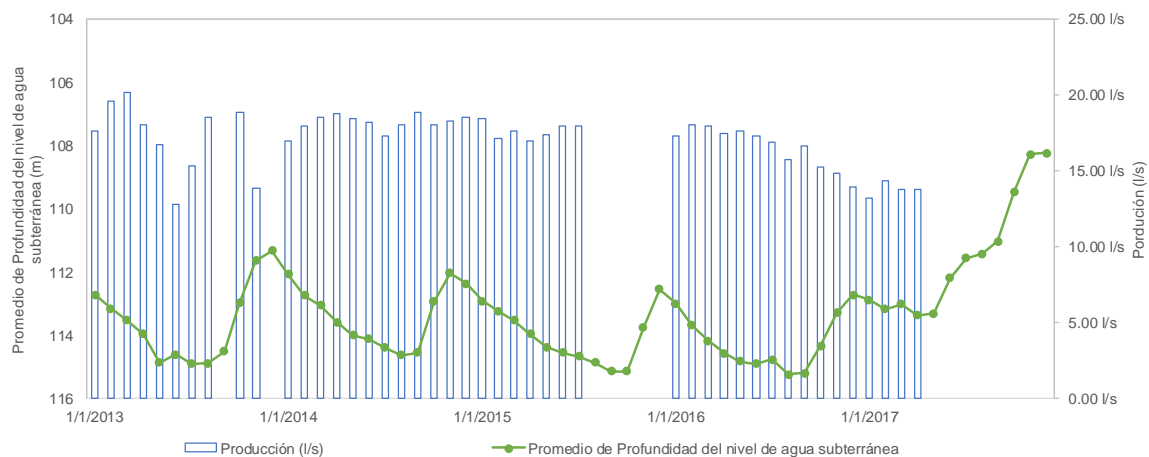


Figura 52. Promedio mensual del nivel del agua subterránea, precipitación y producción, pozo Aurora 2, 2014-2017.

6.8.2.7 Aurora 3

El pozo AB-0832, corresponde con el pozo Aurora 3, tiene una profundidad de 128 metros, se perforó en 1979, se reportan los niveles estático y dinámico son a los 103 y 106 metros de profundidad. Este pozo presenta su tubería ranurada desde los 103 hasta 128 metros de profundidad, captando el acuífero Colima Superior.

El registro de datos para el análisis del pozo comprende desde enero del 2013 hasta diciembre del 2017. Al igual que el pozo Aurora 2, el resultado de las variaciones del nivel del agua subterránea, muestran los 5 ciclos de las fluctuaciones estacionales del pozo. En la figura 53, se presenta el primero ciclo en octubre del 2013, la respuesta del incremento del nivel se presenta 56 días en diciembre, el segundo ciclo se da en setiembre del 2014 y tarda 63 días para reflejarse en el nivel.

El tercer ciclo ocurre en el 2015, donde el incremento de la lluvia se generó a inicios noviembre, estas causan el incremento del nivel en diciembre, el tiempo que tardó para reflejarse en el nivel fue de 42 días. El cuarto ciclo se presenta en noviembre del 2016, donde pasados 70 días se da la señal en el nivel del pozo. Finalmente, el último ciclo sucede en setiembre del 2017 el incremento del nivel se presenta noviembre a 56 días, el valor promedio del arribo de la señal en el nivel del agua ocurre a los 57 días posterior a la precipitación. El descenso en los ciclos el nivel se mantuvo entre los 105 y 106 metros de profundidad, (figura 53).

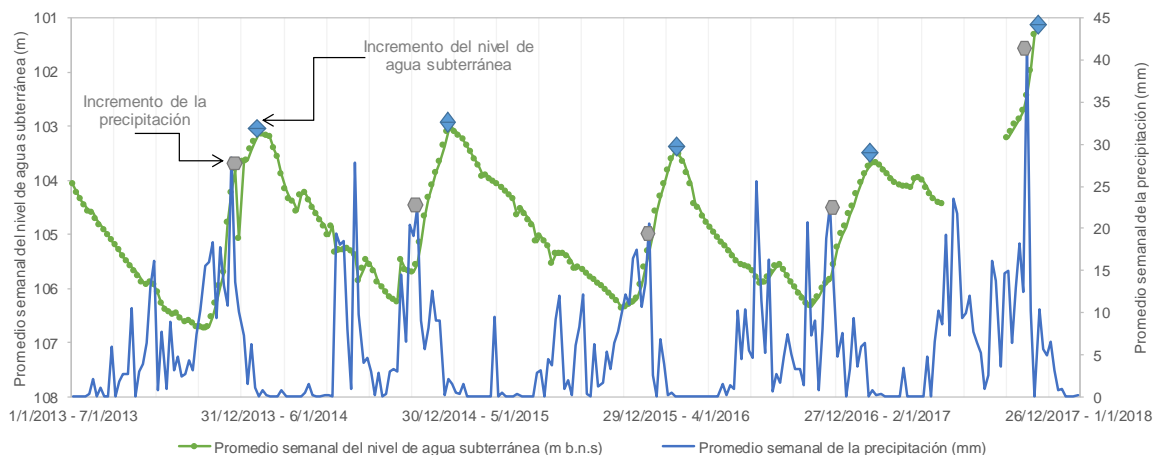


Figura 53. Promedio semanal de la profundidad del nivel del agua subterránea vs la precipitación, pozo Aurora 3, 2014-2017.

El promedio del nivel de agua subterránea 104,68 metros, el valor máximo del nivel se reportó a los 108,23 metros y el nivel mínimo fue a los 99,84 metros de profundidad, presenta un rango de variación del nivel para dicho período de 8,4 metros.

Dada la cercanía con el pozo Aurora 2, se observa un comportamiento similar en ambos pozos, la diferencia en tiempo de los arribos en las señales puede variar por la diferencia de profundidad que tienen los niveles estáticos el pozo Aurora 2 se ubica 113,65 metros y el Aurora 3 se ubica a los 104,68 metros, de igual forma el rango de variación de ambos pozos para los 5 años fue de 7,5 y 8,4 metros para el Aurora 2 y Aurora 3 respectivamente.

En la figura 54, las variaciones de la temperatura del agua subterránea son similares al comportamiento del nivel del agua subterránea, el rango de variación de la temperatura es de 2,73 °C, el valor promedio de 20,99°C, los valores de temperatura máxima y mínima son 22,0°C y 19,3°C respectivamente, estos valores se correlacionan con los obtenidos para el pozo Aurora 2, el promedio de la temperatura para el acuífero Colima Superior es de 20,65°C.

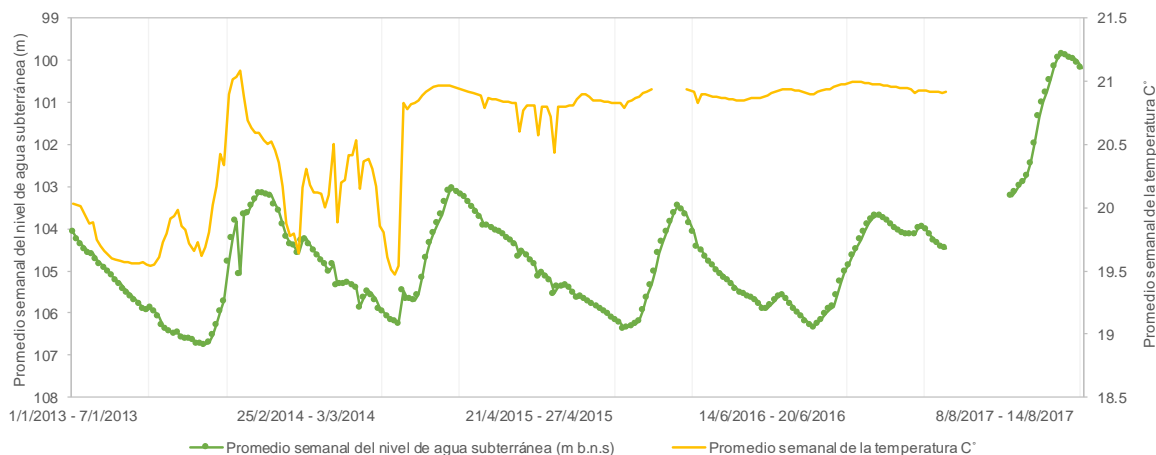


Figura 54. Promedio semanal del nivel del agua subterránea vs la temperatura, pozo Aurora 3, 2014-2017.

La temperatura del agua subterránea, tiene un comportamiento lineal, no se observa alguna fluctuación, debida al incremento de la precipitación (figura 55).

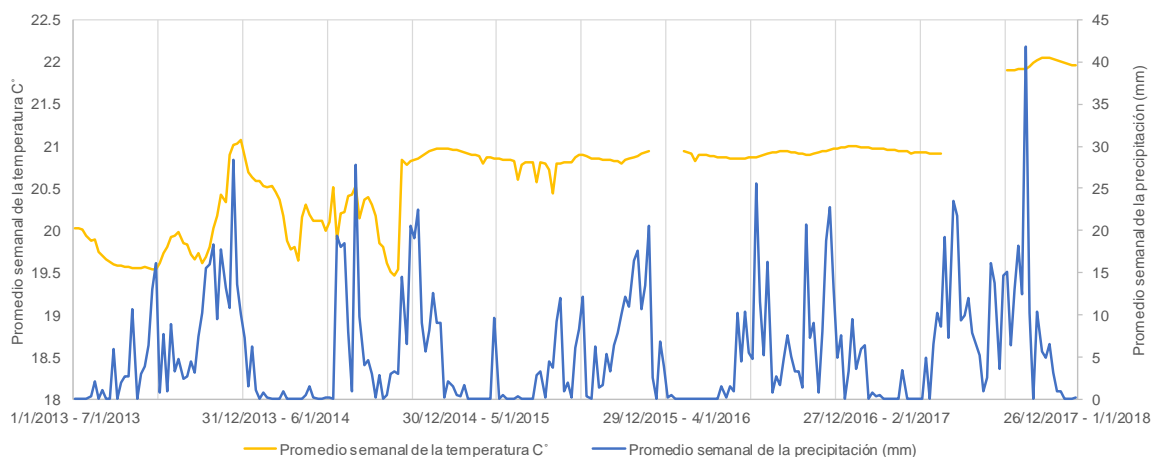


Figura 55. Promedio de la precipitación vs la temperatura del agua subterránea, pozo Aurora 3, 2014-2017.

La producción del pozo Aurora 3 se mantiene constante al inicio del periodo de análisis, se da posterior a ello en el 2016, no se utilizó el pozo, el nivel del pozo continua con la fluctuación, esta es debida a incremento de la precipitación (figura 56).

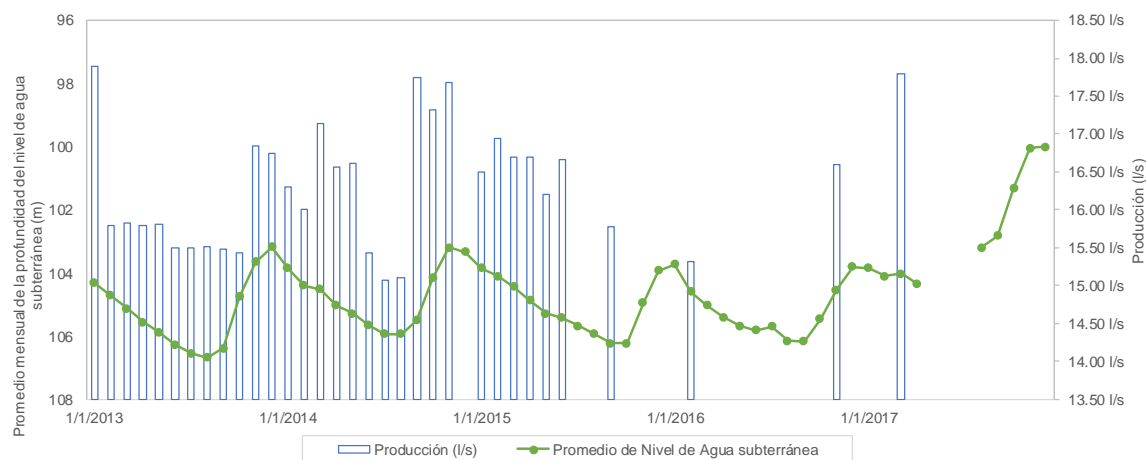


Figura 56. Promedio mensual del nivel del agua subterránea, precipitación y producción, pozo Aurora 3, 2014-2017.

6.8.2.8 Pri II

El pozo AB-1089, se denominada como Pri II, tiene una profundidad de 165 metros, los niveles estático y dinámico se localizan a los 73 y 120 metros de profundidad. Este pozo presenta su tubería ranurada desde los 87 hasta 104 metros de profundidad, está captando

Colima Superior, dicho pozo se perforó en el año 1987, actualmente está fuera de operación.

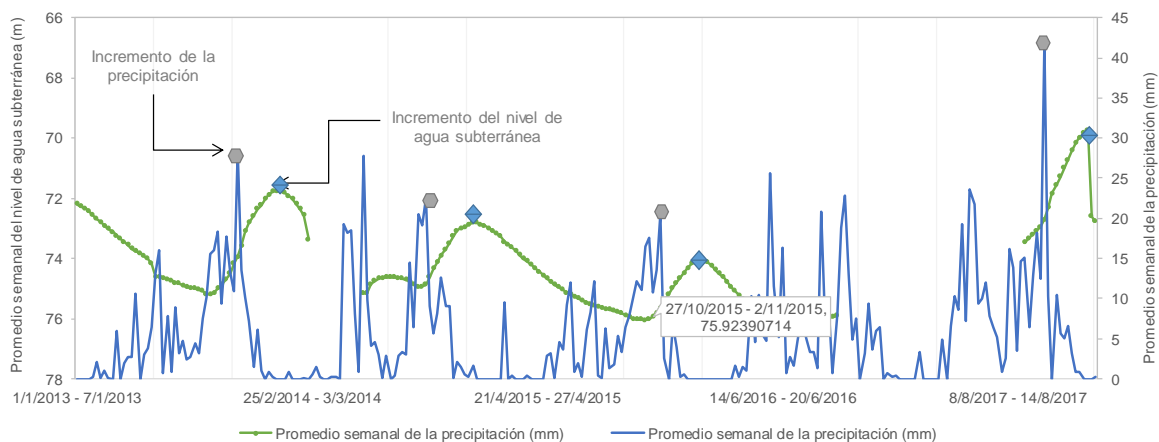


Figura 57. Promedio semanal de la profundidad del nivel del agua subterránea vs la precipitación, pozo Pri II, 2014-2017.

El registro de datos para el análisis del pozo comprende desde enero del 2013 hasta diciembre del 2017, tal como se observa en la figura anterior, hay ausencia de datos para el inicio del 2014 y en junio hasta agosto del 2017. Se cuenta con 4 ciclos de fluctuaciones estacionales, en noviembre del 2013 se da el incremento de la lluvia, la respuesta del acuífero se reporta para diciembre del 2013, al cabo de 70 días. El segundo ciclo se determina de setiembre a diciembre del 2014, con 84 días de diferencia entre ambas señales. El tercer ciclo en el 2015 se presenta en noviembre, luego de 70 días se evidencia en enero del 2016 el incremento del nivel, de 76 a 74 metros, (figura 57).

En el 2016 no se cuenta con la información completa para determinar el arribo de la señal en el nivel del acuífero. El quinto cuarto ciclo, se observa a partir de setiembre del 2017 y el acuífero lo refleja a los 77 días donde se determina el incremento del nivel.

El valor promedio del arribo de la señal en el nivel del agua ocurre a los 75,2 días posterior a la precipitación, el valor máximo del nivel se da a los 76,13 metros y el mínimo a los 69,74 metros. El valor máximo se registró desde el 26 de setiembre hasta el 27 de noviembre del 2015, este pozo no se bombea, solamente se mantiene para el monitoreo, es un reflejo del comportamiento del acuífero.

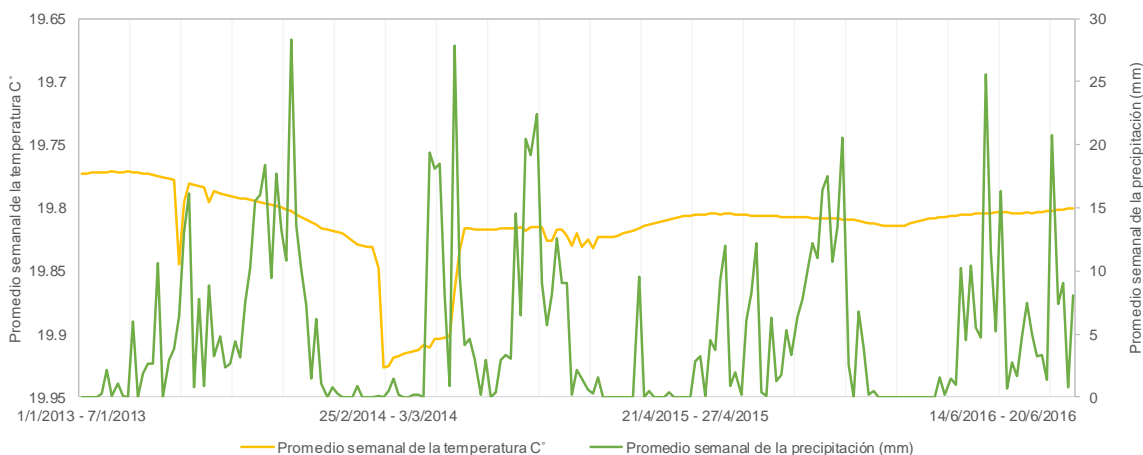


Figura 58. Promedio semanal del nivel del agua subterránea vs la temperatura, pozo Pri II, 2014-2017.

En la figura 58, se observa que la temperatura del acuífero se mantiene constante, a pesar de las variaciones de la precipitación, lo cual evidencia que la precipitación no afecta la variable de la temperatura del acuífero. El valor promedio de 19,81°C, los valores de temperatura máxima y mínima son 19,6°C y 19,77°C respectivamente, (figura 59) se observa dicho rango de variación de la temperatura del pozo.

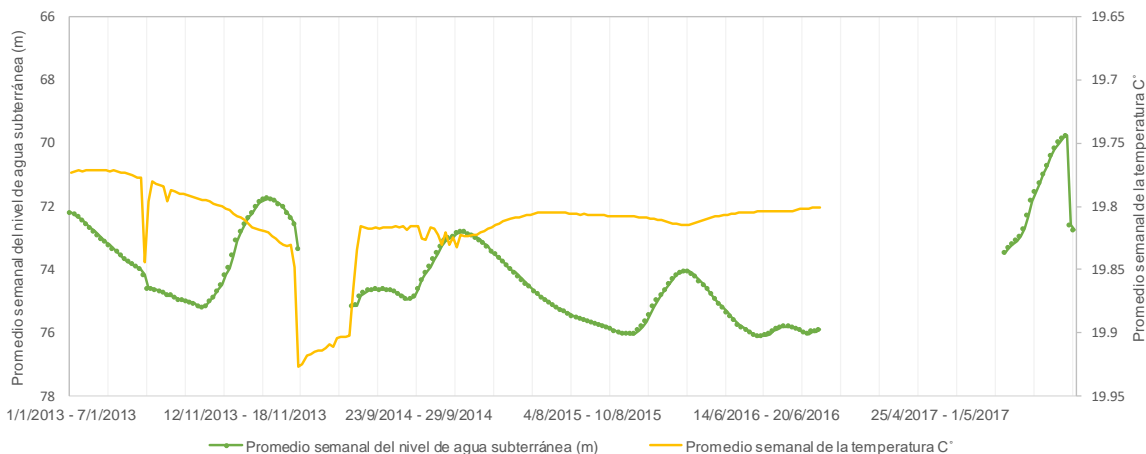


Figura 59. Promedio de la precipitación vs la temperatura del agua subterránea, pozo Pri II 2014-2017.

6.8.2.9 Esperanza 1A

El pozo AB-0478, designado como Esperanza 1A, tiene una profundidad de 246 metros, los niveles estático y dinámico son a los 99 y 102 metros de profundidad. Este pozo presenta su tubería ranurada desde los 138 hasta 239 metros de profundidad, está captando el acuífero Colima Superior e Inferior, la perforación se llevó a cabo en el 2003.

No se evidencia una clara ciclicidad del nivel del agua subterránea, a pesar de ello si determinó la variación del nivel, uno para cada año analizado. Para el 2013 en octubre se da un incremento en las precipitaciones, la cual es reflejada 50 días después en el acuífero en diciembre. El segundo ciclo tiene un tiempo de respuesta aproximado de 49 días el cual comprende de mayo a setiembre del 2014, (figura 60).

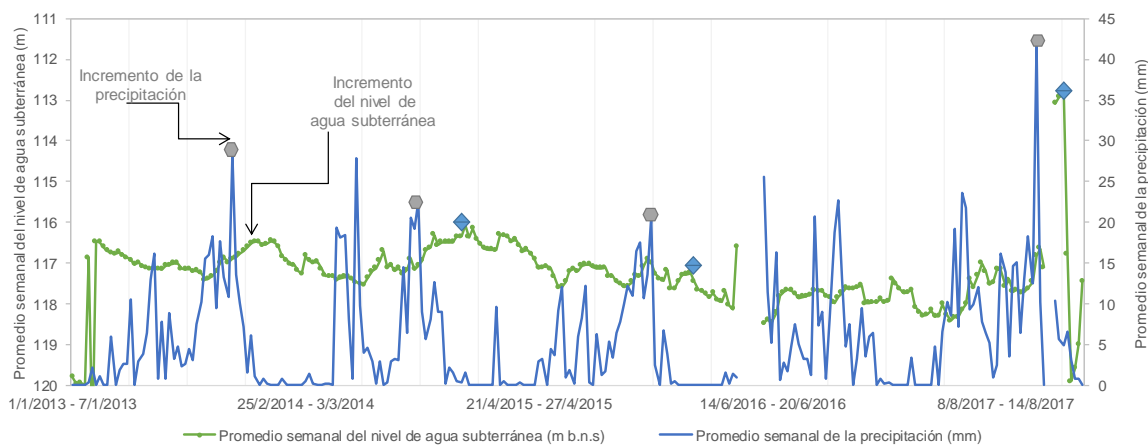


Figura 60. Promedio semanal de la profundidad del nivel del agua subterránea vs la precipitación, Pozo Esperanza 1A, 2014-2017.

En el 2015 el nivel del acuífero aumenta a los 69 días, el periodo de incremento de lluvias se observa en noviembre y es hasta enero del 2016 que da la respuesta en el nivel. El cuarto nivel determinó en noviembre de 2016 y el arribo de la lluvia al acuífero es en enero del 2017, para un total de 63 días. Finalmente, en el 2017 el ciclo comprende de octubre a noviembre, se registra un menor tiempo de arribo de la señal al acuífero, pero la cantidad de lluvia es mayor, para un total de 56 días. El promedio de arribo de la señal al acuífero ocurre 54 días después del registro de la precipitación.

Durante el periodo analizado, el valor promedio del nivel del agua subterránea se ubica a los 117,74 metros, el valor máximo se registra a una profundidad de 129,62 metros, esta corresponde con una serie de datos registrados durante febrero del 2013, estos pueden ser anomalías en la manipulación del equipo o mantenimiento del pozo. El nivel mínimo registrado se presenta a los 112,20 metros los cuales coinciden con las fechas de valores máximos, por ende, se asume que puede ser cuando se ingresa el equipo al pozo.

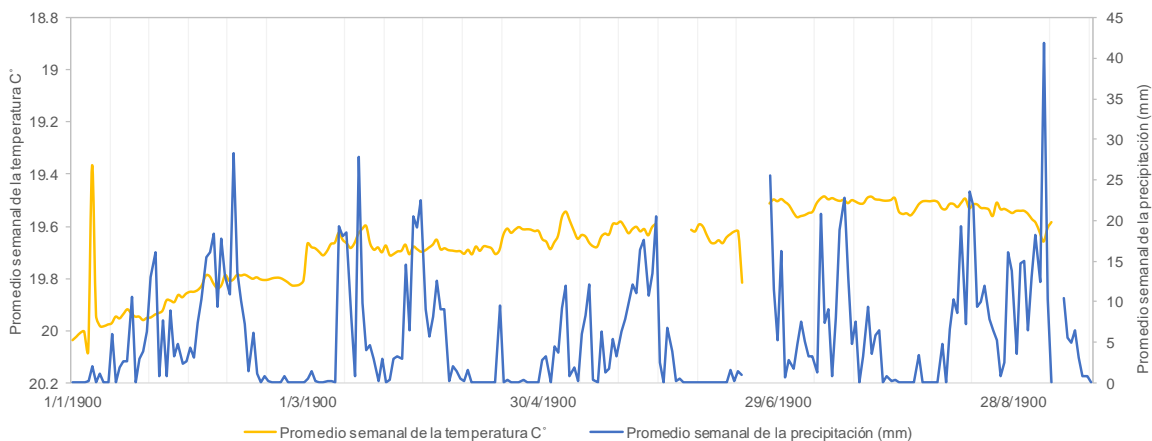


Figura 61. Promedio de la precipitación vs la temperatura del agua subterránea, Pozo Esperanza 1A, 2014-2017.

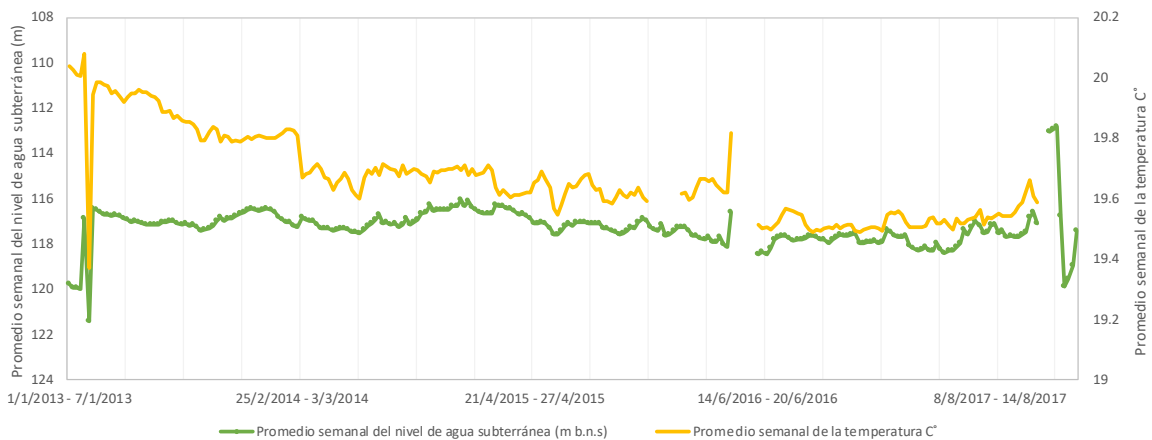


Figura 62. Promedio semanal del nivel del agua subterránea vs la temperatura, Pozo Esperanza 1A, 2014-2017.

Según se aprecia en la figura 62, la temperatura del acuífero se mantiene constante, no presenta influencia por las variaciones de la precipitación. Con respecto a los cambios

observados en la figura 61, la variación de la temperatura presenta un comportamiento similar a las fluctuaciones del nivel del agua, donde al bajar dicho nivel la temperatura desciende. El rango de variación de la temperatura es de $3,7^{\circ}\text{C}$, el valor promedio de $19,5^{\circ}\text{C}$, los valores de temperatura máxima y mínima son $20,9^{\circ}\text{C}$ y $17,17^{\circ}\text{C}$ respectivamente.

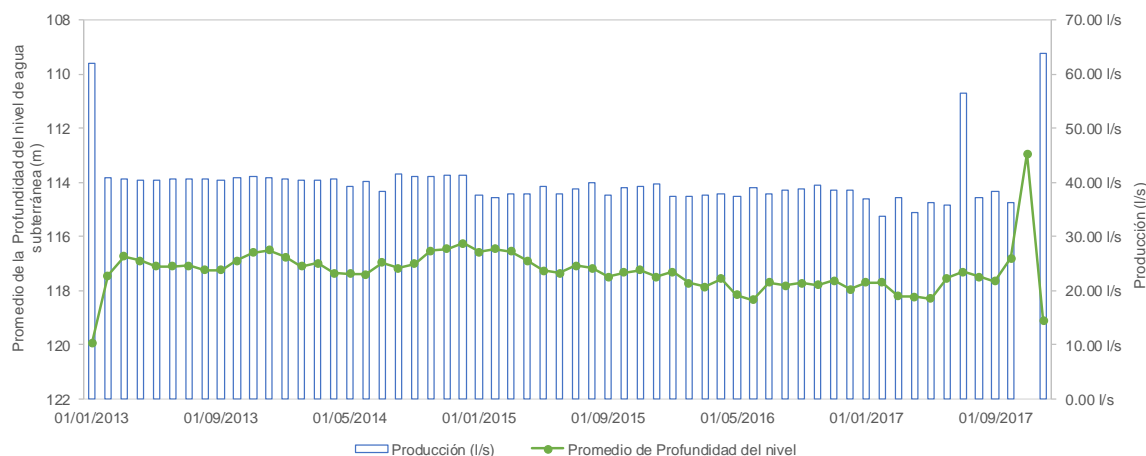


Figura 63. Promedio mensual del nivel del agua subterránea, precipitación y producción, Pozo Esperanza 1A, 2014-2017.A

La producción del pozo Esperanza 1A, se mantiene constante, los descensos e incrementos en el volumen de extracción no reflejan un descenso en el nivel del agua subterránea, ver figura 63.

6.8.2.10 Esperanza 2

El pozo Esperanza 2 (AB-1546), tiene una profundidad de 134 metros, los niveles estático y dinámico son a los 90 y 96 metros de profundidad. Este pozo presenta su tubería ranurada desde los 86 hasta 103 metros de profundidad, está captando el acuífero Colima Superior, se perforó en 1993.

El registro de datos para el análisis del pozo comprende desde enero del 2013 hasta diciembre del 2017, tal como se observa en la figura 64, donde se determinan con claridad los 5 ciclos de fluctuación del nivel de agua subterránea, para el 2013 se registra el incremento de las lluvias en octubre, la respuesta del acuífero se reporta para noviembre del 2013, al cabo de 28 días. El segundo ciclo se determina de mayo a setiembre del 2014, con una duración de 56 días.

El tercer ciclo abarca desde noviembre del 2015 a enero del 2016, la señal del acuífero tarda 55 días en evidenciar su punto máximo. El cuarto ciclo se inicia en octubre del 2016 hasta enero del 2017, con un tiempo de 119 días y finalmente a partir de setiembre se da el incremento de las lluvias el cual se ve reflejado en el acuífero pasados 77 días.

Durante el periodo analizado, el valor promedio del nivel del agua subterránea se ubica a los 94,59 metros, el valor máximo se registra a una profundidad de 101,59 metros. El nivel mínimo registrado se presenta a los 88,53, el rango de variación entre dichas mediciones es de 17,42 metros.

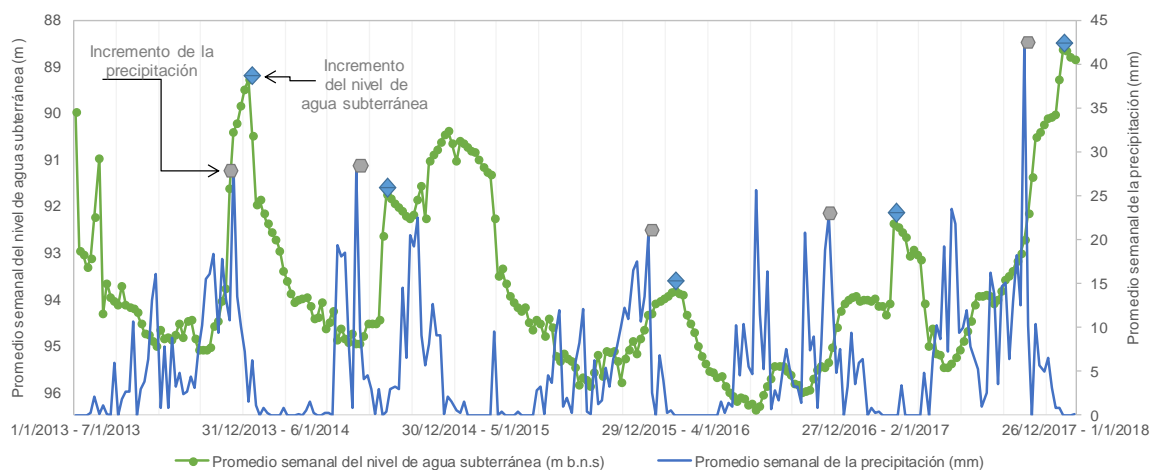


Figura 64. Promedio semanal de la profundidad del nivel del agua subterránea vs la precipitación, Pozo Esperanza 2, 2014-2017.

El comportamiento de la temperatura del acuífero presenta un patrón similar al a las variaciones del nivel del agua subterránea, no presenta influencia por las variaciones de la precipitación. El rango de variación de la temperatura es de 1,7°C, el valor promedio de 19,8°C, los valores de temperatura máxima y mínima son 20,3°C y 18,5°C respectivamente, según se observa en la siguiente figura.

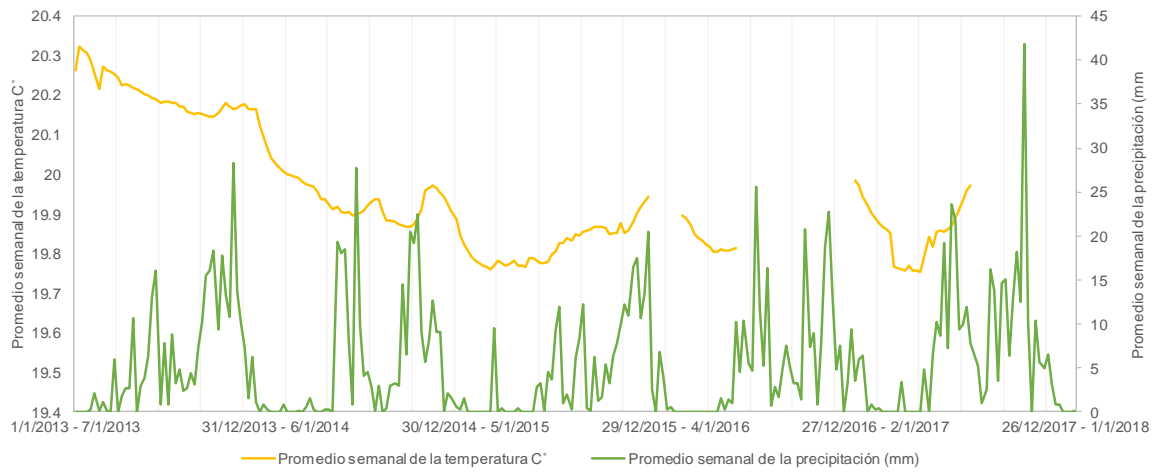


Figura 65. Promedio semanal del nivel del agua subterránea vs la temperatura, Pozo Esperanza 2, 2014-2017.

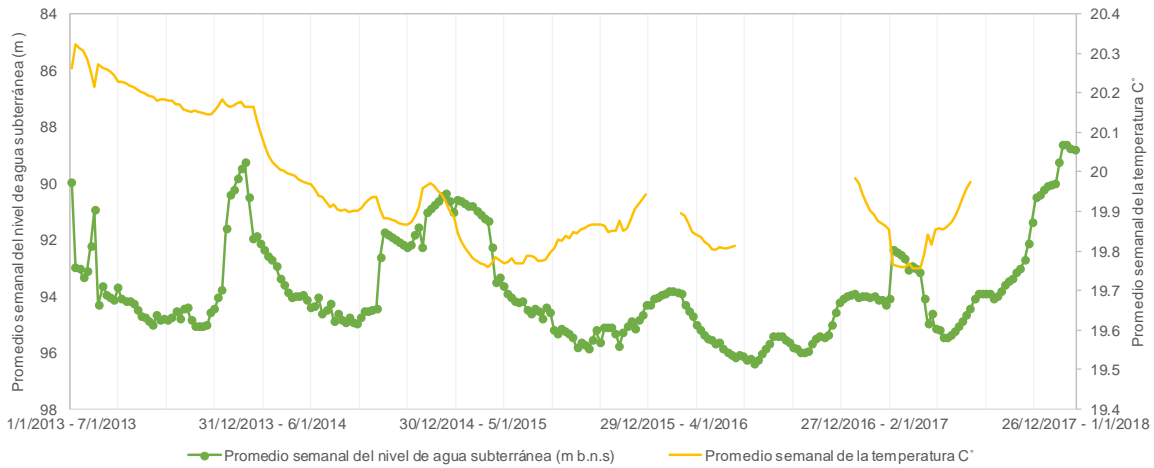


Figura 66. Promedio de la precipitación vs la temperatura del agua subterránea, Pozo Esperanza 2, 2014-2017.

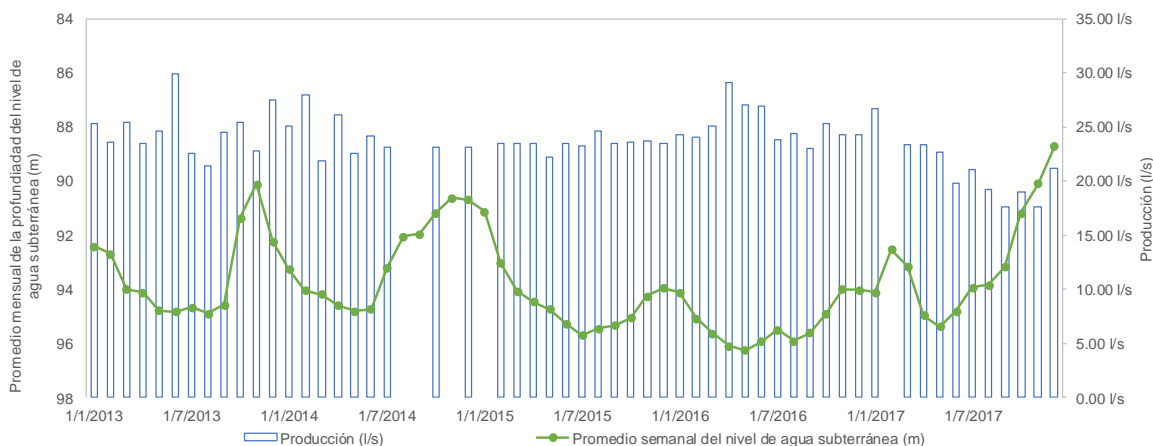


Figura 67. Promedio mensual del nivel del agua subterránea, precipitación y producción, Pozo Esperanza 2, 2014-2017

La producción del pozo Esperanza 2 se mantiene constante, los descensos e incrementos en el volumen de extracción no reflejan un descenso en el nivel del agua subterránea, de igual forma durante el cese del bombeo no se observa cambios en el nivel (figura 67).

6.8.2.11 Montealegre

El pozo AB-0520, denominado pozo Montealegre, tiene una profundidad de 76 metros, dicha perforación se llevó a cabo en 1995, los niveles estático y dinámico son a los 45 y 51 metros de profundidad. Este pozo presenta su tubería ranurada desde los 48 hasta 61 metros de profundidad, captando el acuífero Colima Superior.

El registro de datos para el análisis del pozo comprende desde enero del 2015 hasta diciembre del 2017. En la figura 68 representa los 3 ciclos de las fluctuaciones estacionales del pozo. El primero inicia en noviembre del 2015, la respuesta del incremento del nivel se presenta 65 días en enero del 2016, el segundo ciclo se da en octubre del 2016 y tarda 84 días para reflejarse en el nivel, hasta diciembre de ese mismo año. Finalmente, el último ciclo sucede en setiembre del 2017 el incremento del nivel se presenta en noviembre con este tiempo lo representa 56 días, el valor promedio del arribo de la señal en el nivel del agua ocurre a los 73 días posterior a la precipitación.

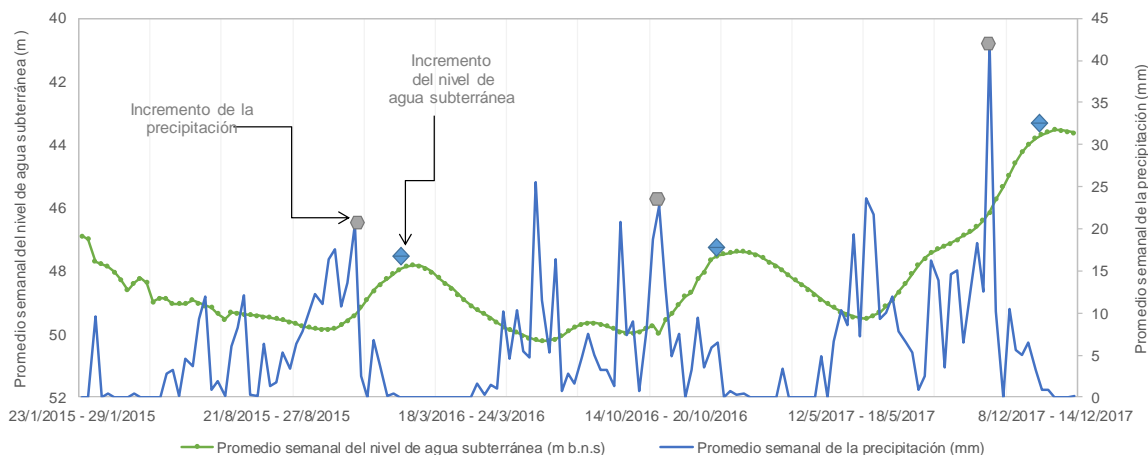


Figura 68. Promedio semanal de la profundidad del nivel del agua subterránea vs la precipitación, pozo Montealegre 2014-2017.

El promedio del nivel de agua subterránea 47,74 metros, el valor máximo del nivel se reportó a los 50,69 metros y el nivel mínimo fue a los 43,50 metros de profundidad, presenta un rango de variación del nivel para dicho período de 7,1 metros (figura 69).

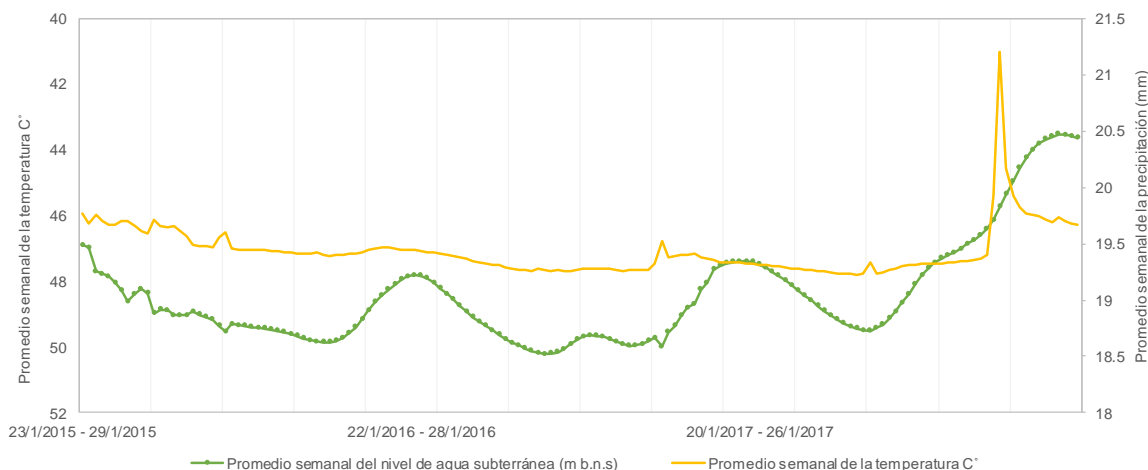


Figura 69. Promedio semanal del nivel del agua subterránea vs la temperatura, pozo Montealegre 2014-2017.

El rango de variación de la temperatura es de 3,36°C, el valor promedio de 19,47°C, los valores de temperatura máxima y mínima son 22,1°C y 18,3°C respectivamente. Los valores máximos se reportan durante el mes de noviembre del 2017, estos se ven asociados con un descenso del nivel del agua, que al recuperarse el nivel se estabiliza la temperatura

(figura 70). De forma particular dicho incremento de la temperatura se reporta durante un incremento de la precipitación, ver figura

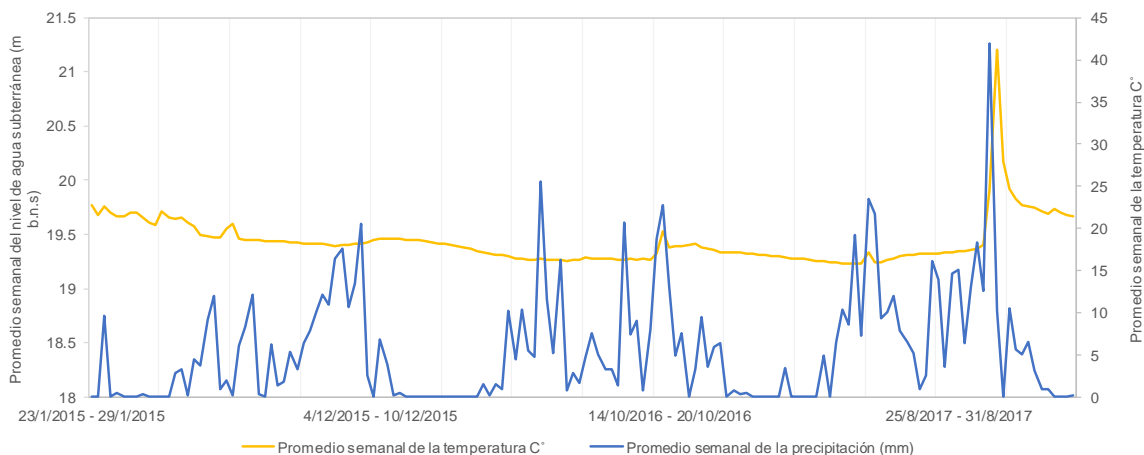


Figura 70.Promedio de la precipitación vs la temperatura del agua subterránea, pozo Montealegre 2014-2017.

Los datos de producción del pozo Montealegre, no permiten determinar un patrón, dado que son escasos y no se presentan para el periodo analizado para el pozo.

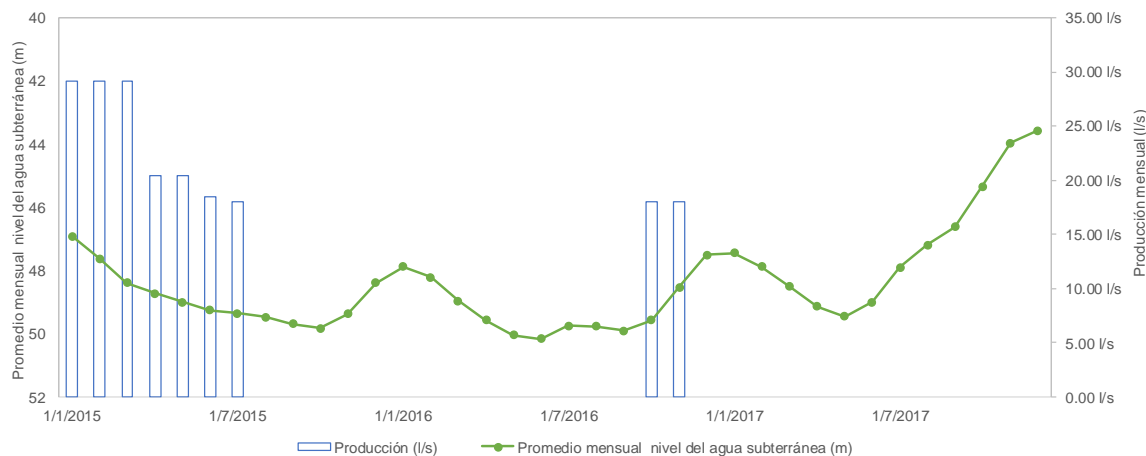


Figura 71.Promedio mensual del nivel del agua subterránea, precipitación y producción, pozo Montealegre 2014-2017.

6.8.2.12 Real Santamaría

El pozo AB-1670, denominado Real Santamaría, tiene una profundidad de 245 metros, los niveles estático y dinámico son a los 80 y 89-92 metros de profundidad respectivamente, se perforó en 2008 y se encuentra en operación. Este pozo presenta su tubería ranurada

desde los 125 hasta 245 metros de profundidad, captando el sistema de acuíferos Colima Superior e Inferior.

El registro de datos para el análisis del pozo comprende desde enero del 2013 hasta diciembre del 2017. La figura 72, no permite determinar con claridad las fluctuaciones estacionales del agua subterránea, se le asocian los incrementos del nivel en noviembre 2013, el segundo noviembre 2014. En el 2015 las precipitaciones del mes de noviembre generan el incremento del nivel en el mismo mes, una respuesta muy rápida del acuífero, En el 2016 para el incremento de las lluvias se da en el mes de mayo. Finalmente, en el 2017 el incremento del nivel se presenta diciembre.

El promedio del nivel de agua subterránea 89,96 metros, el valor máximo del nivel se reportó a los 90,0 metros y el nivel mínimo fue a los 77,7 metros de profundidad, presenta un rango de variación del nivel para dicho período de 12,3 metros.

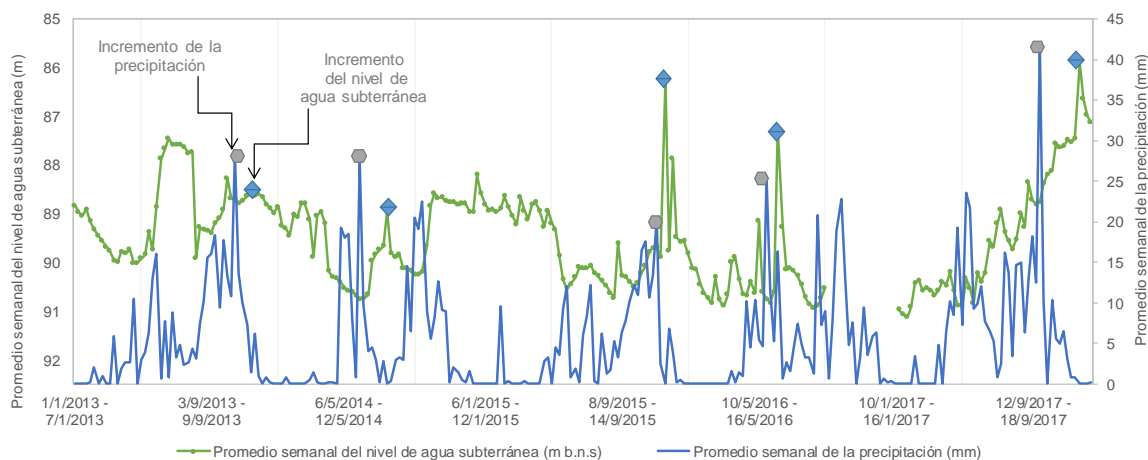


Figura 72. Promedio semanal de la profundidad del nivel del agua subterránea vs la precipitación, pozo Real Santamaría 2014-2017.

Los datos registrados de la temperatura, no son representativos, dado que son escasos para el periodo analizado, a pesar de ello se toman como referencia (figura 73) es el pozo que presenta una mayor temperatura con $21,04^{\circ}\text{C}$, como valor promedio, el valor máximo es de $21,66^{\circ}\text{C}$ y el menor se reporta en $19,32^{\circ}\text{C}$, el rango de variación es de $2,34^{\circ}\text{C}$. A pesar de los escasos datos al graficarlos se observa que al igual que todos los pozos anteriores, la temperatura tiene un comportamiento análogo al nivel del agua subterránea.

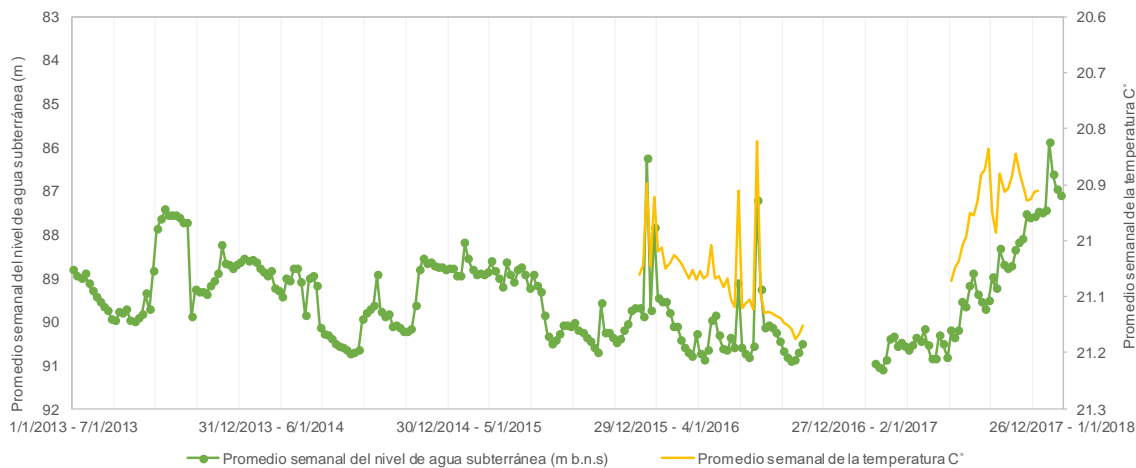


Figura 73. Promedio semanal del nivel del agua subterránea vs la temperatura, pozo Real Santamaría 2014-2017.

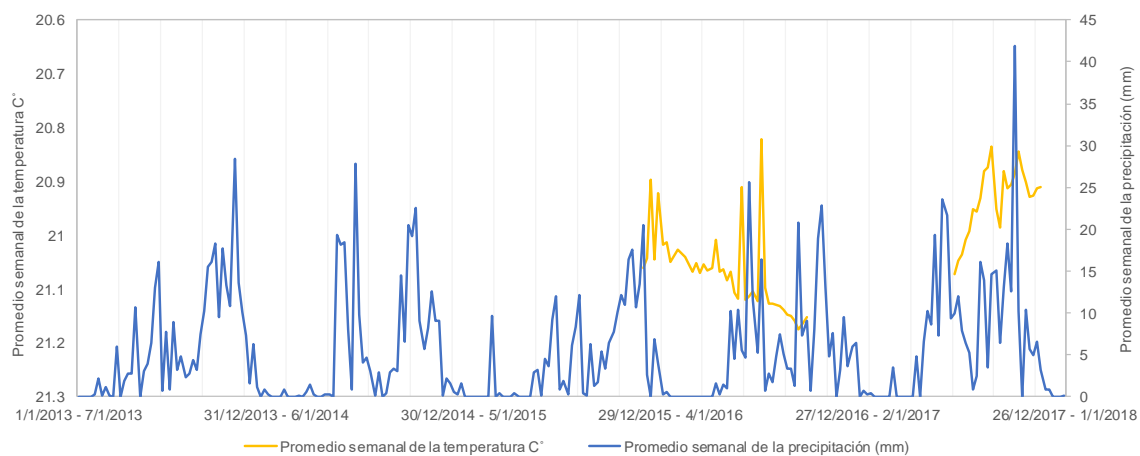


Figura 74. Promedio de la precipitación vs la temperatura del agua subterránea, pozo Real Santamaría 2014-2017.

La extracción del pozo Real Santamaría es superior en el año 2013, posterior a ello se observa un descenso en la producción y esta se mantiene constante hasta setiembre del 2016, donde el nivel del agua no refleja ningún tipo de afectación. En el 2017 se da un incremento de la producción y a pesar de ello se observa un aumento del nivel del agua, por ende, la extracción no le genera afectación hacia el acuífero, ver figura 75.

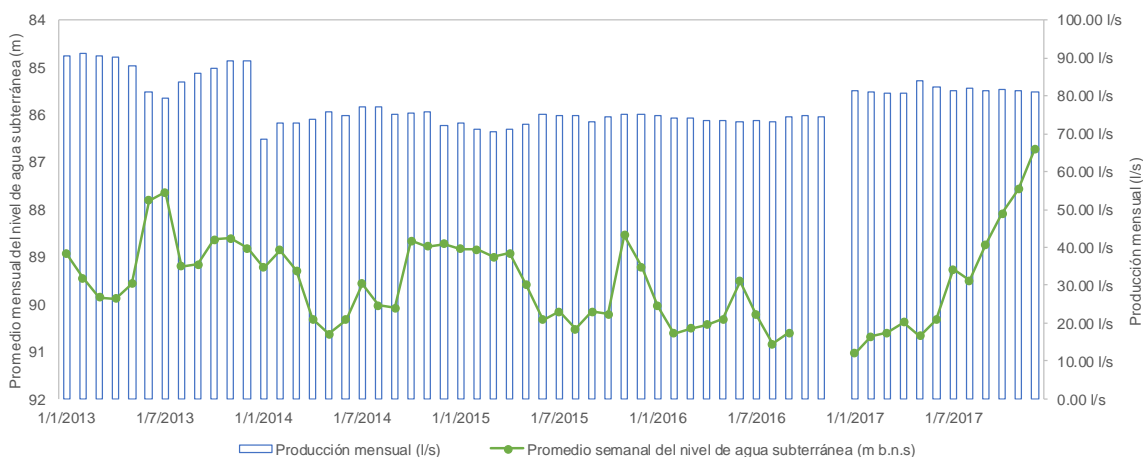


Figura 75. Promedio mensual del nivel del agua subterránea, precipitación y producción, pozo Real Santamaría 2014-2017.

En el cuadro 8, se presentan las correlaciones graficadas para cada pozo, como lo es la señal de precipitación versus nivel del agua subterránea, temperatura y nivel del agua subterránea y precipitación versus temperatura del pozo y finalmente el promedio del arribo de la señal del incremento del nivel del agua subterránea asociado al incremento de la precipitación.

Se le asignaron valores de 1, 2 y 3, para 1= no se observó variación temporal, 2= si se observó variación temporal, pero de forma débil y 3 si se observó con claridad la variación temporal y finalmente, N/A (no aplica).

Cuadro 9. Resumen de las tendencias estacionales de los pozos de estudio.

Pozo	Acuífero captado	Se observó correlación entre Precipitación y nivel del agua (1, 2, 3)	Se observó correlación entre nivel y t del agua (1, 2, 3)	Se observó correlación entre Precipitación y t del agua (1, 2, 3)	Tiempo entre la P y el cambio de nivel (días)
Burial	Colima Superior e Inferior	2	2	2	88
Joya 1	Colima Superior	2	1	2	58
Joya 2	Colima Inferior	2	2	1	N/A
San Vicente	Colima Superior e Inferior	2	2	2	84
Malinches	Colima Superior e Inferior	1	N/A	N/A	155
Aurora 2	Colima Superior	3	3	3	64
Aurora 3	Colima Superior	3	3	3	63
Pri II	Colima Superior e Inferior	3	N/A	N/A	75
Esperanza 1A	Colima Superior	1	1	N/A	54
Esperanza 2	Colima Superior	3	3	2	77
Montealegre	Colima Superior	3	2	2	73
Real Santamaría	Colima Superior e Inferior	2	N/A	N/A	N/A

Índice de respuesta del acuífero a la precipitación; 1= no se observó, 2= si, débil, 3=si, buena; No se observa (N/A)

7. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En el capítulo anterior se presenta el análisis de la información de los 12 pozos utilizados en este estudio; una vez procesada esta información, se ha clasificado la información para el Sistema de Acuíferos Colima, de la siguiente forma:

7.1 FLUCTUACIONES ESTACIONALES DEL SISTEMA COLIMA SUPERIOR

Por medio del análisis de los datos del nivel del agua subterránea, obtenemos 5 ciclos de fluctuaciones estacionales, los cuales son evidentes principalmente en los pozos Aurora 2, Aurora 3, Esperanza 2, Pri II y Montealegre, los cuales están captando el acuífero Colima Superior, en el texto se ha mencionado que el pozo Pri II, capta el sistema Colima (Superior e Inferior), pero dado el comportamiento de su nivel es posible que solo esté captando Colima Superior.

Para lograr realizar una comparación sencilla entre pozos localizados a diferentes alturas y con niveles a diferentes niveles, los datos de los niveles se normalizaron de la siguiente manera: de cada pozo se determinó el valor mínimo del nivel para el periodo estudiado, este valor se restó a todos los niveles de este periodo. De esta, forma se puede realizar una comparación entre variaciones para el mismo periodo entre todos los pozos, a partir de esta normalización se observa en la figura 76, donde se observan las variaciones de los niveles.

En la figura 77, se observan las variaciones de los tiempos de arribo de la señal, para los pozos que se encuentran captando el acuífero Colima Superior, estas varían con respecto a la cobertura geológica que presentan los pozos, para el caso de los pozos Aurora 2 y 3, la ausencia del acuífero Barva sobre ellos y la presencia de lavas fracturadas, posiblemente permite una infiltración de la precipitación mayor a través de las lavas fracturadas que sobreyace. El pozo Esperanza 2, se ubica en un área determinada por la BGS & SENARA (1988) con moderada recarga, a través del acuífero Barva. En los pozos PRI II y Montealegre, la diferencia en el tiempo es mayor, posiblemente debido a la presencia de una toba de baja permeabilidad que causa un flujo lento del agua de recarga, en comparación con las lavas fracturadas de los pozos Aurora 2 y 3. Dicho análisis se realiza

por medio de la interpolación del tipo vecino más cercano, dado que se cuenta con 5 pozos con información a interpolar, no es suficiente información para utilizar kriging. El vecino más cercano, es local, utiliza sólo un subconjunto de muestras que circundan a un punto de consulta y que los datos estarán dentro del rango utilizado, no infiere ni produce picos, depresiones o que no estén representados por las muestras (Environmental Systems Research Institute, 2016)

En la siguiente figura, se logra evidenciar una clara similitud en las fluctuaciones de los niveles de estos 5 pozos, ubicados en el acuífero Colima Superior para un periodo de cinco años. Estas fluctuaciones regionales parecen asociarse a la llegada del pulso de recarga hacia el acuífero, por la precipitación. El tiempo promedio entre la señal de la precipitación y el aumento del nivel de 70 días indica que la recarga está ocurriendo en poco tiempo, lo que debe ser considerado por los tomadores de decisiones en la gestión del recurso hídrico subterráneo en esta zona, para temas de recarga gestionada, la vigilancia de la calidad y prevención de la contaminación del agua subterránea.

Cuadro 10. Matriz de Coeficiente de Correlación de Pearson, de los niveles del agua subterránea entre los pozos que captan el Acuífero Colima Superior.

Pozo	Aurora 2	Aurora 3	Pri II	Esperanza 2	Montealegre
Aurora 2	-	0.97	0.74	0.72	0.93
Aurora 3	0.97	-	0.65	0.73	0.97
Pri ii	0.74	0.65	-	0.76	0.85
Esperanza 2	0.72	0.73	0.76	-	0.93
Montealegre	0.93	0.97	0.85	0.93	-

Según Ayala , Carrera-Villacrés, & Tierra (2018) un valor de $0.5 < r < 1$ indica una correlación positiva intensa (ver cuadro 2), los datos obtenidos para la correlación de los pozos que captan el Acuífero Colima Superior (cuadro 9) se presentan dentro de ese rango, por lo que se puede decir que presenta una buena aproximación, lo cual se evidencia en la tendencia que se observa en la figura 76.

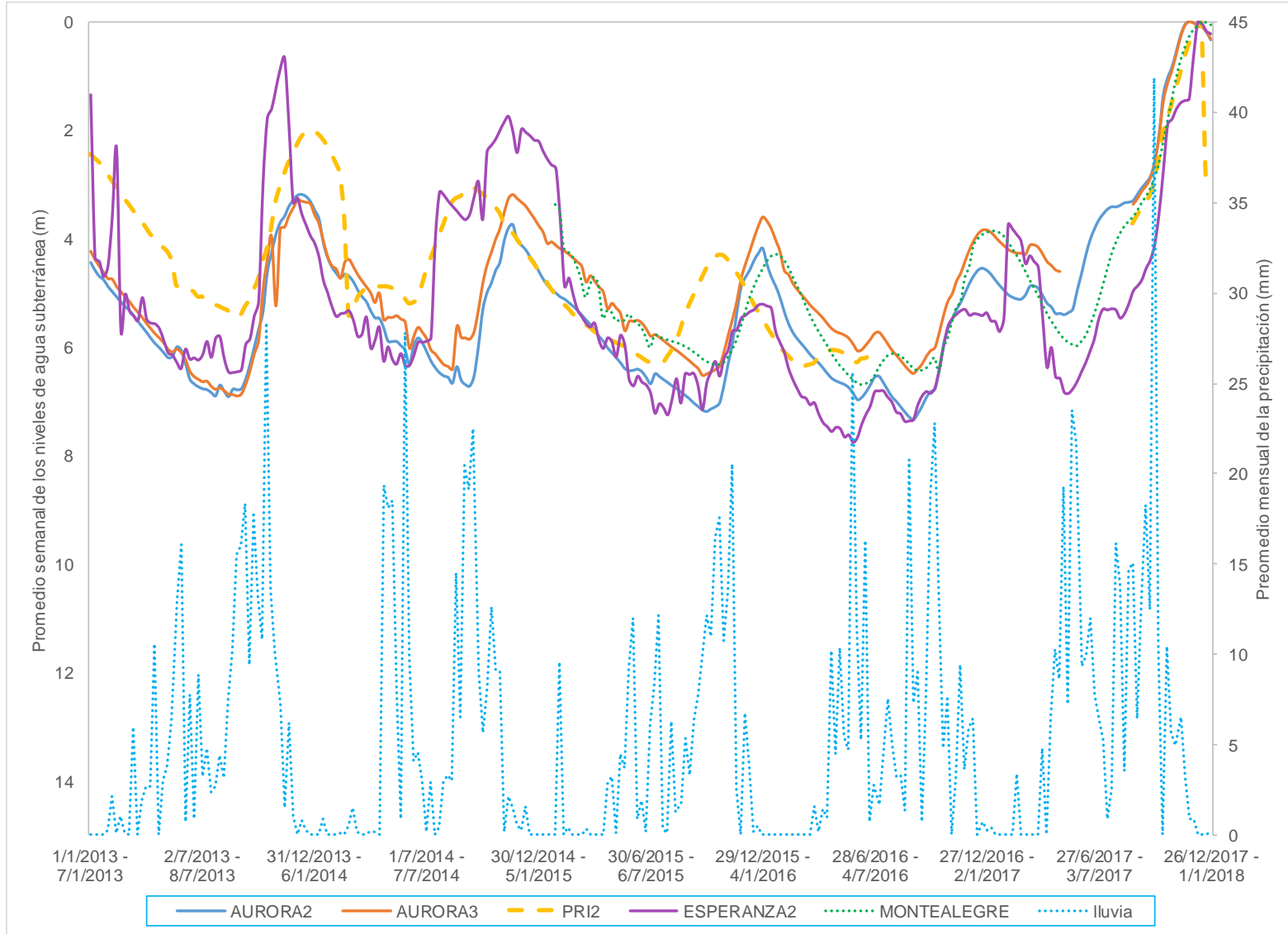


Figura 76. Tendencias de las fluctuaciones del nivel de agua subterránea versus la precipitación.

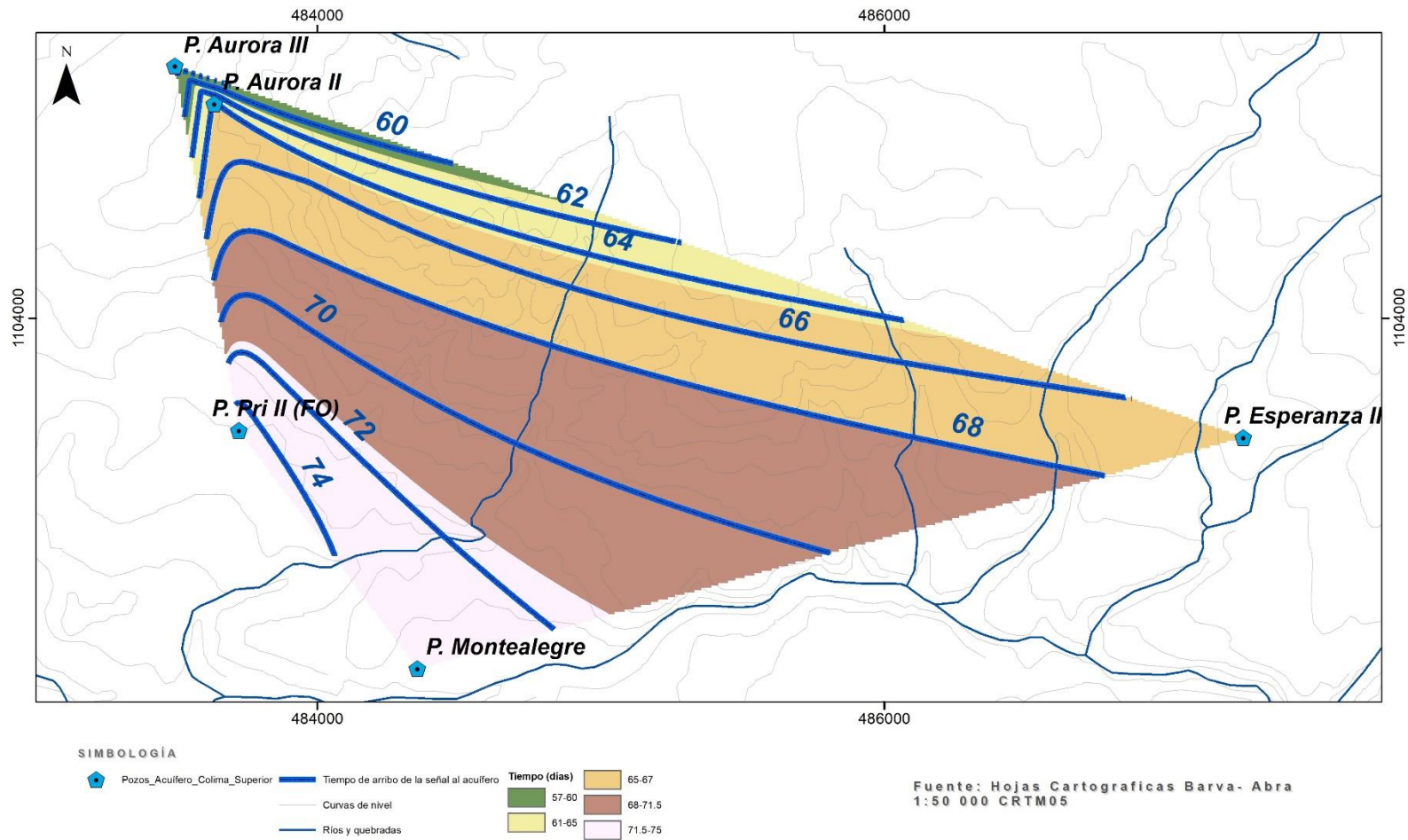


Figura 77. Mapa de isovalores de tiempo de arribo de señal de la precipitación para el acuífero Colima Superior, elaboración propia.

La temperatura es el potencial calorífico referido a un cierto origen. Las aguas subterráneas tienen una temperatura muy poco variable, y responde a la medida anual de las temperaturas atmosféricas del lugar, incrementando producto de la profundidad por el gradiente geotérmico 1°C cada 33 metros en media, algo mayor en zonas tectónicas y volcánicas, la temperatura afecta a la viscosidad del agua, capacidad de absorción de gases (Custodio & Llamas, 1996).

Los datos de la temperatura se han recopilado durante diferentes fechas, para el periodo de análisis, a pesar de ello se utilizó esta información; se puede observar que la temperatura tiene un comportamiento que oscilan entre los valores mínimo y máximo de 19,23 a 22,06 °C respectivamente (cuadro 10). La temperatura incrementa en 1°C, en la época de mayor precipitación, figura 78. Los cambios en la temperatura se asocian a su vez con el funcionamiento del equipo de bombeo, ya que este genera calor y aumenta la temperatura del agua.

Cuadro 11. Valores promedio, máximo y mínimo de temperatura, Acuífero Colima Superior

Temperatura °C	Acuífero Colima Superior				
	Aurora 2	Aurora 3	Pri II	Esperanza 1a	Montealegre
Valor máximo	20.94	22.06	19.93	20.13	21.21
Valor mínimo	19.27	19.47	19.77	19.37	19.23
Valor promedio	20.29	20.68	19.82	19.67	19.45

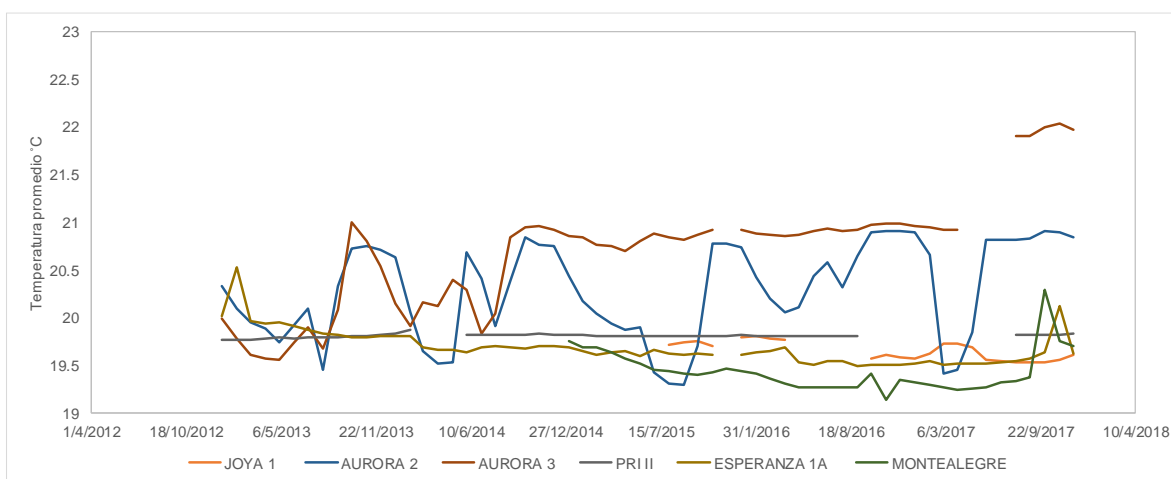


Figura 78. Tendencia de los valores semanales de la temperatura para el acuífero Colima Superior.

7.2 FLUCTUACIONES ESTACIONALES DEL ACUÍFERO COLIMA SUPERIOR E INFERIOR

Los pozos Burial, Joya 1, San Vicente, Malinches, Esperanza 1A y Real Santa María, captan el sistema de Colima, tanto Superior e Inferior. Se puede asociar las variaciones del nivel del agua subterránea con respecto a la precipitación en estos pozos (figura 57).

Al captar ambos acuíferos, la señal que se obtiene es una mezcla de ambos, la profundidad del nivel y quizás el grado de confinamiento del acuífero, no permiten observar con claridad las fluctuaciones de los niveles de agua subterránea.

Según Ayala , Carrera-Villacrés, & Tierra, (2018), (ver cuadro 2), los valores que se obtienen dentro del rango de $0 < r < 0,5$ se determina como una correlación positiva débil, los datos obtenidos se presentan dentro de este rango, se destaca que la correlación del pozo Malinches y Real Santamaría es superior a 0,50 lo cual lo clasifica como una correlación positiva entre ellos, figura 79, hacia el final de la gráfica, ambos pozos presentan una tendencia similar. Los datos de la correlación se presentan en el siguiente cuadro.

Cuadro 12. Matriz de Coeficiente de Correlación de Pearson, entre los pozos que captan el Acuífero Colima Superior e Inferior.

	Real Santamaría	Burial	Joya 1	San Vicente	Malinches	Esperanza 1A
Real Santamaría	-	0.24	0.29	0.48	0.87	0.26
Burial	0.24	-	0.10	0.53	0.50	0.11
Joya 1	0.29	0.10	-	0.69	0.64	0.06
San Vicente	0.48	0.53	0.69	-	0.56	0.13
Malinches	0.87	0.50	0.64	0.56	-	0.34
Esperanza 1A	0.26	0.11	0.06	0.13	0.34	-



Figura 79. Tendencias de los niveles del agua subterránea en pozos que captan los acuíferos Colima Superior e Inferior

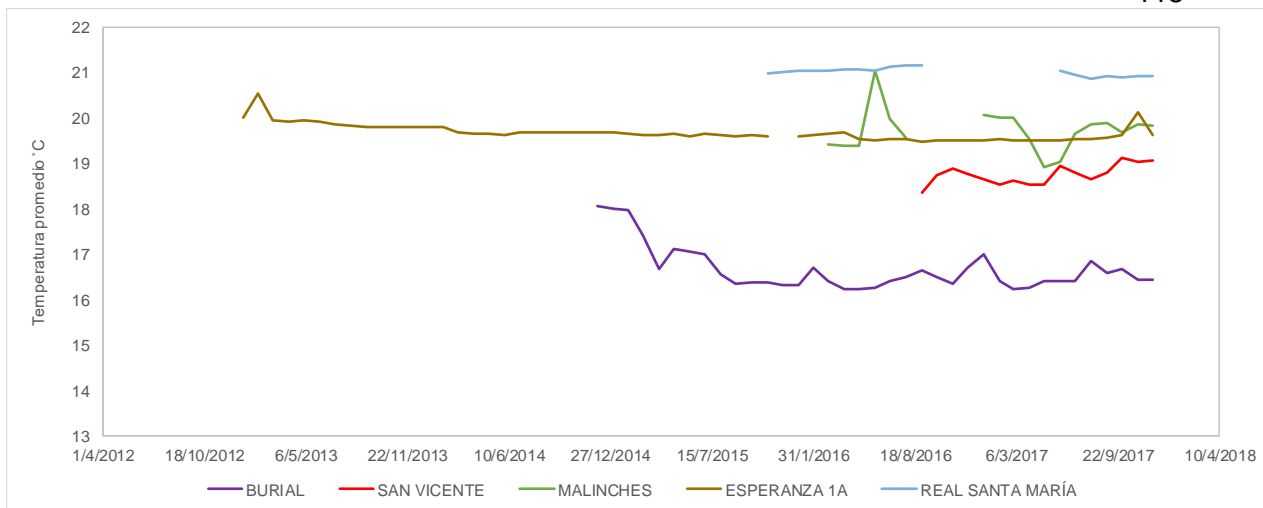


Figura 80. Tendencias valores semanales de la temperatura del agua subterránea para el Sistema Acuíferos Colima Superior e Inferior.

Estos pozos presentan valores mínimo y máximo de temperatura de 16,14 a 21,18°C respectivamente (ver cuadro 12); solamente el pozo Esperanza 2, presenta un comportamiento de temperatura constante, con valores promedio de 19,95°C. Aunque se observan algunas fluctuaciones del valor de la temperatura de estos pozos, no es evidente una asociación con una posible recarga acuífero o fluctuaciones regionales (figura 80).

Cuadro 13. Valores promedio, máximo y mínimo de temperatura, Acuífero Colima Superior e Inferior

	Acuífero Colima Superior e Inferior					
	Burial	Joya 1	San Vicente	Malinches	Esperanza 2	Real Santamaría
Valor máximo	18.06	19.80	19.18	20.18	20.32	21.18
Valor mínimo	16.17	19.52	18.34	18.48	19.72	20.82
Valor promedio	16.65	19.64	18.77	19.66	19.95	21.02

7.3 FLUCTUACIONES ESTACIONALES DEL ACUÍFERO COLIMA INFERIOR

El pozo Joya 2, es el único que capta el Sistema Colima Inferior, la profundidad del pozo es de 350 metros, el nivel dinámico se ubica a los 258 metros las rejillas se presentan desde los 214 hasta los 350 metros en diversos tramos.

El resultado obtenido, al graficar los valores de nivel del agua subterránea versus la precipitación, no permiten determinar las fluctuaciones estacionales o influencia de la precipitación hacia el acuífero.

El promedio del nivel de agua subterránea se presenta 260, 14 metros el valor máximo del nivel se reportó a los 279,86 metros y el nivel mínimo fue a los 251,58 metros de profundidad, presenta un rango de variación del nivel para dicho período de 19,19 metros.

El valor promedio de la temperatura es de 15,94°C, la máxima y mínima corresponden con valores de 19,78 y 12,13°C, cuyo rango es de 7,65°C, los datos de temperatura, presentan inconsistencias.

7.4 MECANISMOS DE RECARGA PARA ACUÍFEROS COLIMA SUPERIOR E INFERIOR

La figura 81, se extrae del documento (BGS & SENARA, 1988) donde presentan las zonas de recarga relativa para el sistema Colima. La comprensión de la recarga a los acuíferos de Colima requiere el conocimiento del régimen del agua subterránea en los acuíferos sobreyacentes, con excepción de aquellas áreas donde los acuíferos Colima esta sobreyacido solo por tobas y debe recibir alguna recarga por infiltración directa a través de ellas, la recarga de los acuíferos Colima se hace a través y por medio de un acuífero sobreyacente generalmente colgado, en la siguiente figura se observa las zonas de recarga que se determinaron, para el acuífero Colima, donde los factores que controlan la proporción de recarga a Colima Superior por infiltración vertical desde Barva o Tiribí son:

- Espesor y conductividad hidráulica de Tiribí.
- Diferencia entre los niveles de agua subterránea en el acuífero colgado y el nivel de la base de Tiribí (donde Colima Superior no está confinado) o la diferencia entre los niveles de agua subterránea del acuífero colgado y de Colima Superior donde si está confinado.

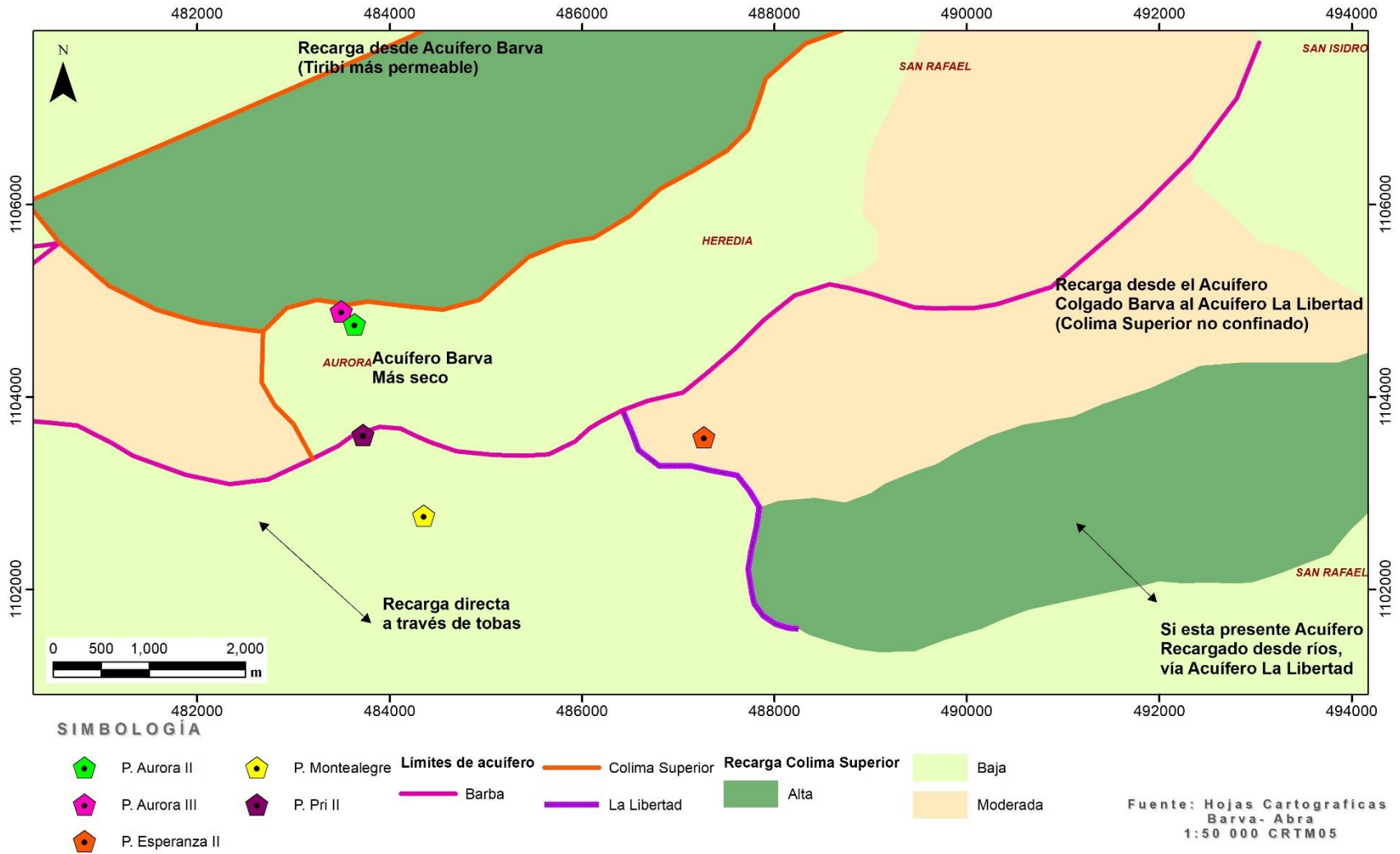


Figura 81. Mapa de recarga del acuífero Colima Superior (Modificado de BGS & SENARA, 1988)

La zonificación de las zonas de recarga hacia el acuífero Colima Superior (BGS & SENARA, 1988) y la ubicación de los pozos que captan únicamente este acuífero se muestra en la figura 81. Estos pozos se ubican en las zonas que se han delimitado con recarga directa a través de tobas (Pozos Aurora II, Aurora III, Montealegre y Pri II), o hay una ausencia del acuífero Barva (Pozo Esperanza II), por ello la recarga es directa hacia Colima Superior (figura 81).

Los pozos que captan los acuíferos Colima Superior e Inferior, presentan una mezcla de recarga directa y lateral desde los ríos, tales como Real Santamaría y Esperanza 1a.

Según Reynolds & Fraile (2013), parte de la recarga de Colima Superior se presenta en la parte noreste y sur de la zona de Heredia, donde este tiene un comportamiento semiconfinado, en esta zona existe una recarga directa que se manifiesta en la composición isotópica del manantial Puente de Mulas, que es similar a la precipitación local. En la figura 82, los autores mencionados anteriormente realizan la clasificación de la composición isotópica del agua subterránea la cual presenta desviaciones con respecto a línea meteórica de Costa Rica, donde se distinguen tres grupos isotópicos:

Grupo A, cumple con la relación elevación / empobrecimiento isotópico, son las fuentes ubicadas en la zona norte de Heredia. El grupo B, representa las aguas subterráneas de la zona central y la zona oeste las cuales presentan una altitud entre 500 y 1300 m s.n.m., se recargan localmente, ya que coinciden isotópicamente con la precipitación sobre la zona, en la mayor de parte de los casos, las aguas subterráneas se ubican bajo la línea meteórica, indicando que se trata de aguas más evaporadas, probablemente recargadas desde los ríos.

Finalmente, el grupo C, son más positivas que el resto de las aguas evaluadas, su valor isotópico es similar a la precipitación de la estación de Paso Llano.

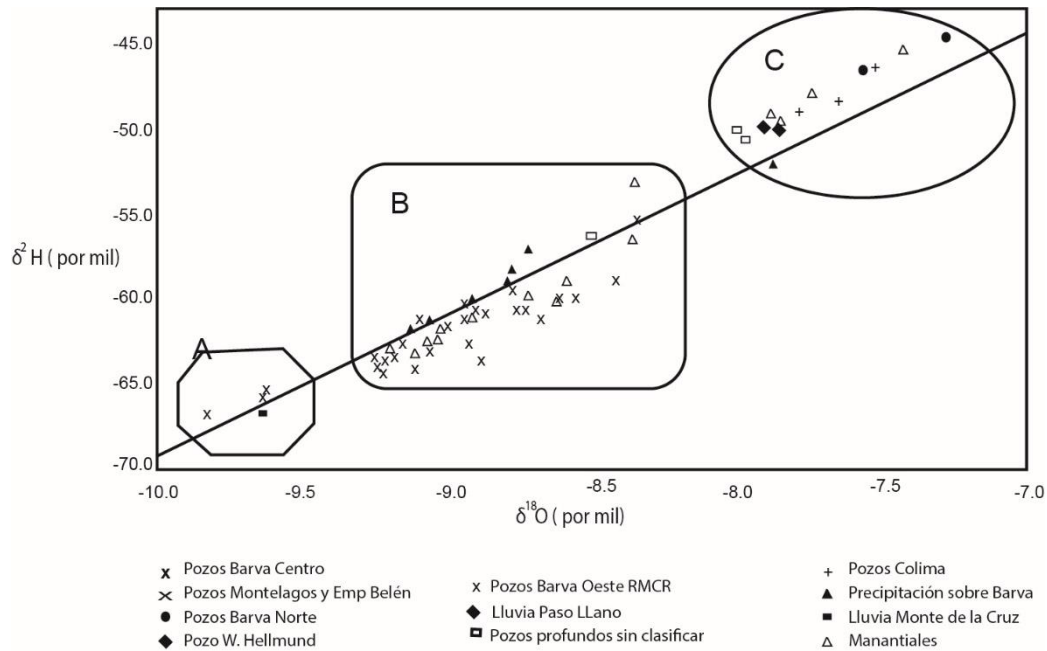
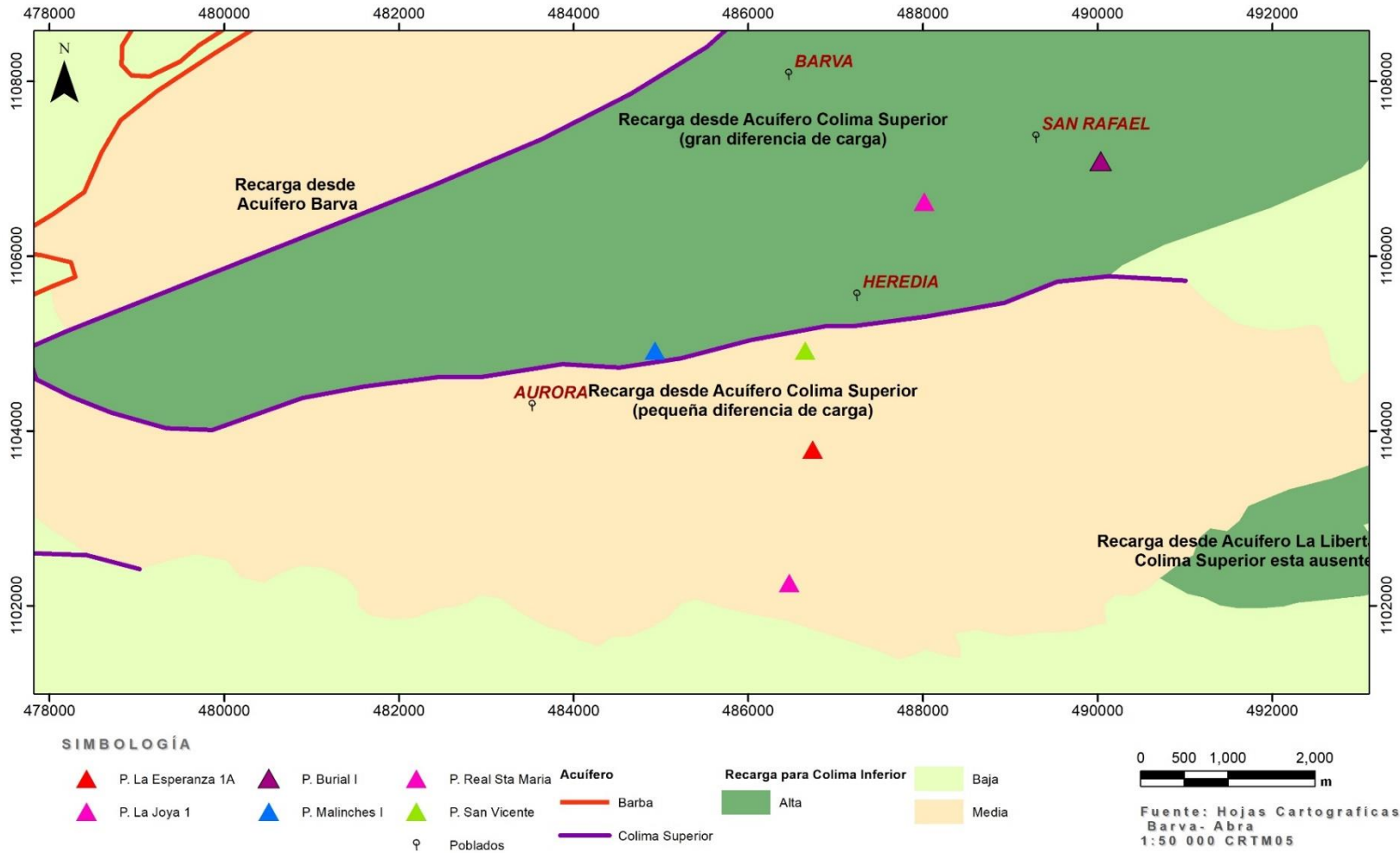


Figura 82. Variación isotópica de las aguas Modificado de (Reynolds & Fraile, 2013)

La ubicación de los pozos que captan el sistema Colima Superior e Inferior, en el caso de los pozos Burial, Joya 1 y Joya 2, se ubican en la zona norte de Heredia, la cual, se ha clasificado como el área que presenta la recarga más alta y presenta una diferencia de carga (figura 83).

Para los pozos San Vicente, Malinches, Esperanza 1A, Joya 1 y Real Santamaría se ubican en la zona de recarga desde Colima Superior, con una pequeña diferencia de carga.

La zona norte de Heredia presenta una recarga media, la clasificación de las aguas del acuífero Barva y de Colima, es bicarbonatada e indica que se debe a la composición similar de las rocas que albergan ambos acuíferos o a que el agua del acuífero Colima ha pasado por un proceso de mezcla con el agua del acuífero Barva, debido a la recarga vertical (Alvarado, 2018).



83. Mapa de recarga al acuífero Colima Inferior (BGS & SENARA, 1988)

Figura

8. CONCLUSIONES

- En la zona de estudio se presentan los acuíferos Barba, acuitardo Tiribí y el Sistema Acuífero Colima (Superior e Inferior). El acuífero Barba es el más somero, está conformado por los miembros Carbonal (tobas y cenizas), el espesor de este miembro va desde los 12 a 18 metros de espesor.
- El miembro Bermúdez, está conformado por paquetes de lavas andesíticas fracturadas con espesores desde los 70 hasta los 130 metros. El pozo BA-607, ubicado en la zona de estudio, reportó un valor de transmisividad de $148 \text{ m}^2/\text{d}$, obtenido de la prueba de bombeo.
- En el perfil AB, trazado en la zona de estudio, se determinó, el contacto con el acuitardo Tiribí, con un espesor de 25 metros y a partir del pozo Joya 1 y 2, se incrementa el doble de su espesor, se describe la presencia de tobas e ignimbritas gris.
- El contacto con la Formación Colima, se presenta a partir de los 150 a 170 metros de profundidad, dicha ubicación es variable espacialmente, se presenta con el Miembro Linda Vista o Colima Superior, con presencia de lavas andesíticas, cuyo espesor es variable desde 70 hasta los 162 metros Los pozos que capta el acuífero Colima Superior, son el Esperanza 2, Aurora 3 y Aurora 2, Montealegre y Pri II.
- Para el acuífero Colima Inferior, el pozo Burial presenta su rejilla y nivel dentro de este paquete de lavas asociado con el miembro Puente de Mulas, en el expediente del pozo indica que se estimó la transmisividad, donde se utilizó el valor de caudal específico, se obtiene un valor de $600 \text{ m}^2/\text{día}$.
- El pozo Claretiano II, reporta un valor de $1246 \text{ m}^2/\text{d}$, el Real Santamaría indica un valor de $600 \text{ m}^2/\text{d}$, el pozo San Vicente reporta una transmisividad de $5732.35 \text{ m}^2/\text{d}$ y la capacidad específica de 16.55 L/seg/m , estos pozos están captando los miembros Linda Vista, Puente de Mulas y Belén, miembros de Colima Superior e

Inferior, los valores de transmisividad se indican para el Sistema Colima sin determinar si es el Superior o Inferior.

- Se realizó el análisis de los datos del nivel del agua subterránea de doce pozos operados por la ESPH, de los cuales cinco pozos presentan un patrón definido donde se evidencian las fluctuaciones estacionales, estos corresponden con los pozos Aurora 2, Aurora 3, Pri II, Esperanza 2 y Montealegre, están captando el Acuífero Colima Superior.
- Las fluctuaciones del nivel del agua subterránea, son la respuesta al incremento de la precipitación en la zona, el arribo de la señal que evidencia un incremento del nivel del agua subterránea, tarda aproximadamente 70 días en presentarse (aproximadamente 2 meses). Considerando que el tiempo obtenido es relativamente corto, se debe prestar especial atención al uso del suelo y fuentes potenciales de contaminación en la zona para su prevención.
- La correlación que presentan estos cinco pozos es positiva intensa, con valores valor de $0.5 < r < 1$, ante ello se puede decir que presentan una buena aproximación, lo cual se evidencia en la tendencia de los niveles del agua subterránea.
- La temperatura mantiene un comportamiento similar a las variaciones del nivel del agua subterránea, los valores mínimo y máximo de temperatura de 16,14 a 21,18°C respectivamente, para los 5 pozos que captan el Sistema Colima Superior.
- Las fluctuaciones estacionales para el acuífero Colima Superior, no se ven alteradas por las variaciones de la producción de los pozos, a pesar de que los caudales han variado durante el periodo analizado, con incrementos y descensos de producción.
- Los pozos Burial, Joya 1, San Vicente, Malinches, Esperanza 1A y Real Santa María, captan el sistema de Colima, tanto Superior e Inferior. No se puede asociar las variaciones del nivel del agua subterránea con respecto a la precipitación en estos pozos, asociado a la mezcla de acuíferos, la profundidad del nivel, el grado de confinamiento del acuífero.

- La temperatura que reportan dichos pozos presenta valores mínimo y máximo de temperatura de 16,14 a 21,18°C respectivamente. Aunque se observan algunas fluctuaciones del valor de la temperatura de estos pozos, se comporta de igual forma que las variaciones del nivel del agua subterránea.
- El pozo Joya 2, es el único que capta el Sistema Colima Inferior, la profundidad del pozo es de 350 metros, el nivel dinámico se ubica a los 258 metros las rejillas se presentan desde los 214 hasta los 350 metros en diversos tramos. Al graficar los valores de nivel del agua subterránea versus la precipitación, no se pueden determinar las fluctuaciones estacionales o influencia de la precipitación hacia el acuífero. La temperatura promedio del pozo es de 15,94°C, la máxima y mínima corresponden con valores de 19,78 y 12,13°C.
- Como hipótesis se había planteado que, si las fluctuaciones del nivel del agua subterránea son debidas a las variaciones en la precipitación y extracción del recurso hídrico, se logró determinar que las fluctuaciones del nivel son la respuesta al incremento de las lluvias, este fenómeno se observa claramente para el Acuífero Colima Superior.
- El análisis comparativo de los niveles de agua subterránea con respecto a los caudales de extracción, evidencian que en diversos pozos se ha presentado una extracción de caudal de forma constante y a pesar de ello si hay fluctuaciones del nivel del agua subterránea.
- La recarga del acuífero Colima Superior, se hace de forma directa en los pozos Aurora 2 y 3 dada la ausencia del acuífero Barba en la zona superior. El pozo Esperanza 2, se ubica en una zona determinada como de moderada recarga y finalmente los pozos Pri II y Montealegre, la recarga se realiza de forma más lenta que los pozos mencionados anteriormente, por el tránsito que conlleva en las tobas que se ubican en la sección superior.

9. RECOMENDACIONES

- Implementar piezómetros de monitoreo con la implementación de sensores que permitan determinar a detalle los tiempos de recuperación y además de evaluar los parámetros hidrogeológicos en cada uno de los pozos, dada la mezcla de acuíferos con presencia de rejillas en el Sistema Colima (Superior e Inferior).
- Continuar con el monitoreo de los pozos de los niveles del agua subterránea en conjunto con análisis hidrogeoquímico, para determinar a detalle las condiciones de recarga para cada uno de los pozos de la red de abastecimiento.
- Definir los parámetros de la zona no saturada, porosidad, conductividad hidráulica, clasificación de los materiales.
- Estudiar la capacidad de atenuación natural de contaminantes en la zona no saturada.
- Estimar el riesgo a la contaminación del agua subterránea considerando el tiempo de tránsito de los contaminantes, con la implementación de trazadores.

10. REFERENCIAS

- Adhikary, P., & Jyotiprava, D. (2014). Comparison of deterministic and stochastic methods to predict spatial variation of groundwater depth. doi:10.1007/s13201-014-0249-8.
- Ahmadi, S., & Sedghamiz, A. (2007). Geostatistical Analysis of Spatial and Temporal Variations of Groundwater Level. *Environmental Monitoring and Assessment*, 277-294. doi:<https://doi.org/10.1007/s10661-006-9361-z>
- Alvarado, G.E. & Gans, P., 2012: Síntesis geocronológica del magmatismo, metamorfismo y metalogenia de Costa Rica, América Central. – *Rev. Geol. Amér. Central*, 46:7-122.
- Alvarado, M. (2018). Modelo hidrogeológico conceptual y caracterización hidrogeoquímica en la microcuenca de la Quebrada Seca y Río Bermúdez, Heredia, Costa Rica. Tesis inédita, Posgrado en Geología, SEP-UCR.
- Arredondo, S. (2011). Perforación de pozos horizontales para mejorar el abastecimiento y mitigar los racionamientos de agua potable en Heredia, Costa Rica. Tesis inédita, Posgrado en Geología, SEP-UCR.
- Arredondo, S., & Soto, G. (2006). Edad de las lavas del Miembro Los Bambinos y sumario cronoestratigráfico de la Formación Barva, Costa Rica. *Revista Geológica de América Central*, 59-71.
- AyA. (1995). FLUCTUACIONES DEL NIVEL DEL AGUA EN LOS ACUIFEROS LÁVICOS DEL VALLE CENTRAL, 1975-1994. Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, División de Estudios y Proyectos, Departamento de Estudios Básicos. Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados .
- Ayala, M., Carrera-Villacrés, D., & Tierra, A. (2018). Relación espacio-temporal entre estaciones utilizadas para el relleno de datos de precipitación. *Revista Geografica Venezolana*, 298-313. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/329282239_Spatial-temporal_relation_between_stations_used_for_filling_missing_rainfall_data_in_Chone_Ecuador/link/5c0886234585157ac1ab0928/download
- Barrantes, A. (2013). Obtenido de http://www.nacion.com/nacional/escasez_de_agua-agua_11_1349175074.html.
- BGS & SENARA. (1985). Mapa hidrogeológico del Valle Central de Costa Rica, Escala 1:50 000. Inglaterra: E.S.R Limited .
- BGS & SENARA. (1988). Informe hidrogeológico del Valle Central de Costa Rica, Inglaterra: E.S.R Limited

- Custodio , E., & Llamas, M. (1996). Hidrología Subterránea. Tomo 1. Barcelona: Ediciones Omega S.A.
- Darling, W., Parker, J., Rodríguez , H., & Lardher, A. (1989). Investigation of a volcanic aquifer system in Costa Rica using environmental isotopes. En: Estudios de Hidrología Isotópica en América Latina. Documento técnico, Organismo Internacional de Energía Atómica, Viena .
- Denyer , P., & Arias, O. (1991). Estratigrafía de la región central de Costa Rica. Rev. Geol. Amér. Central,, 1 - 59.
- Denyer, P., Aguilar, T. & Arias, O., 1994: Historia Geológica - en Denyer, P. & Kussmaul, S. (compiladores), 1994: Atlas Geológico de la Gran Área Metropolitana, Costa Rica - Edit. Tecnológica de Costa Rica: 98-108pp.
- Díaz, M. (2002). Geoestadística Aplicada. México. Obtenido de https://www.academia.edu/23486534/Geoestadistica_Aplicada
- Echandi , E. (1981). Unidades volcánicas de la vertiente norte de la cuenca del río Virilla. Tesis de Licenciatura -Universidad de Costa Rica, San José.
- Emery, X. (2013). Geoestadística.Universidad de Chile,Facultad Ciencias Físicas y Matemáticas-IngenieríadeMinas,ChileObtenidodehttps://www.ursos.cl/usuario/f697544fb48474f4153ef2aafbe4c963/mi_blog/r/Geoestadistica.pdf
- Environmental Systems Research Institute, I. (2016). ArcGIS Desktop. Recuperado el 07 de julio de 2019, de <http://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/how-natural-neighbor-works.htm>
- Estado de la nación. (2014). (Estado de la nación, Ed.) Obtenido de <http://www.estadonacion.or.cr/20/assets/cap-4-estado-nacion-20-2014-baja.pdf>.
- Fernández, M. (1969). Las unidades hidrogeológicas y los manantiales de la vertiente norte del río Virilla. SENAS .
- Gans , P., Alvarado, G., Pérez, W., & MacMillan, I. (2003). Neogene Evolution of the Southern Costa Rica Arc: New Geological and Geochronological Data. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/253431753_Neogene_Evolution_of_the_Southern_Costa_Rica_Arc_New_Geological_and_Geochronological_Data
- García, P., & Agudelo , C. (2014). MODELO HIDROGEOLOGICO CONCEPTUAL DEL SISTEMA ACUIFERO. Ciencia y Tecnología, 35-56.
- Geoestadística.com. (s.f.). Geoestadística.com. Recuperado el 07 de abril de 2016, de http://geoestadistica.com/variografia_modelamiento.htm

- Giraldo, R. (2002). Introducción a la geostatística. Universidad Nacional de Colombia , Bogotá. Obtenido de https://geoinnova.org/blog-territorio/wp-content/uploads/2015/05/LIBRO_-DE-_GEOESTADISTICA-R-Giraldo.pdf
- INEI. (2006). www.inei.gob.pe. Recuperado el 2019, de https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib0900/Libro.pdf
- Instituto Costarricense de Acueductos, y. (2014). Informe de Rendición de Cuentas –agosto 2011 –mayo 2014.
- Llosilla , M. (1977). Aguas subterráneas de la cuenca del Río Virrilla y zonas propuestas para su explotación, Costa Rica.
- Losilla, M, Rodríguez, H, Schosinsky, G, Stimson, J, & Bethune, D. (2001). Los acuíferos volcánicos y el desarrollo sostenible en América Central. Editorial de la Universidad de Costa Rica. 205 p. 2001.
- Manzione, R., Tanikawa, D., & Wendland, E. (2012). Stochastic simulation of time-series models combined with geostatistics to predict water-table scenarios in a Guarani Aquifer System outcrop area, Brazil. *Hydrogeology Journal*, 1239-1249. doi:10.1007/s10040-012-0885-8.
- Mejía, O., Betancur, T., & Londoño, L. (2007). Aplicación de técnicas geoestadísticas en la hidrogeología del Bajo Cauca antioqueño. *Revista DYNA*, 137-149. Obtenido de https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=Aplicaci%C3%B3n+de+t%C3%A9cnicas+geoestad%C3%ADsticas+en+la+hidrogeolog%C3%ADa+del+Bajo+Cauca+antioque%C3%B1o&author=MEJIA+O.&author=BETANCUR+T.&author=LONDO%C3%91O+L&publication_year=2007&journal=Revista+DY
- Pérez, W. (2000). Vulcanología y petroquímica del evento ignimbrítico del Pleistoceno medio (0,33 Ma) del valle central de Costa Rica.
- Programa de las Naciones Unidas para el desarrollo. (2015). desarrollohumano.or.cr. Obtenido de <http://desarrollohumano.or.cr/mapa-cantonal/index.php/ranking-idh#ranking-por-idh>
- Protti, R., & Alfaro, M. (2002). Mapa de Vulnerabilidad Hidrogeológica de una parte del Valle Central de Costa Rica . *Revista Geológica de America Central* , 53-60.
- Ramírez, R. (2007). Recarga potencial del acuífero Colima y Barva, Valle Central Costa Rica. SENARA.

- Ramírez, R. (2007). Recarga Potencial del Acuífero Colima y Barva, Valle Central, Costa Rica. - 41 págs. SENARA.
- Ramírez, R., & Alfaro, A. (2002). Mapa de Vulnerabilidad Hidrogeológica de una parte del Valle Central de Costa Rica. *Revista Geológica de América Central*, 53-60.
- Reynolds, J., & Fraile, J. (2013). Utilización de isótopos estables en la precipitación para determinar zonas de recarga del acuífero Barva, Costa Rica. *Recurso hídrico en la zona norte de Heredia: La experiencia de la UNA*, 39-58.
- Rojas Jiménez, L. D. (2019). ESPH.
- Romanes, J., 1912: Geology of part of Costa Rica. – *The Quarterly Journal of the Geological Society*. London, 68: 103 - 139.
- Solinst Canada Ltd. (2019). www.solinst.com. Recuperado el 2014, de [/www.solinst.com/espanol/productos/registradores-automaticos/3001-serie-levelogger/levelogger-edge/ficha-tecnica/](http://www.solinst.com/espanol/productos/registradores-automaticos/3001-serie-levelogger/levelogger-edge/ficha-tecnica/)
- Soto, M. (2014). Costa Rica ya lidia con los efectos del cambio climático. *La Nación*. Obtenido de http://www.nacion.com/vivir/ambiente/Costa-Rica-efectos-cambio-climatico_0_1405859430.html
- Thiele, K., & Vargas, A. (2017). Actualización volcanoestratigráfica del piso del Valle Central, de Costa Rica, específicamente la denominada Formación Colima y sus miembros. San José.
- Valenzuela, A. (2012). <http://www.tesis.uchile.cl>. Obtenido de http://www.tesis.uchile.cl/tesis/uchile/2012/cf-valenzuela_ad/html/index.html.
- Vásquez, M. (2010). Estudio hidrogeológico para determinar sitios factibles de explotación de pozos profundos en la zona de influencia y operación de la e.s.p.h. concurso secundario 04-2010 unidad de investigación y desarrollo. ESPH. Heredia.
- Von Asmuth, J. (2012). Groundwater System Identification through Time Series Analysis. *Water Management, Civil Engineering and Geosciences*. Obtenido de <http://resolver.tudelft.nl/uuid:b6ccd472-9b9d-4810-aa19-3a0b046017e0>
- Webster, R., & Oliver, M. (2007). *Geostatistics for Environmental Scientists*. John Wiley & Sons, Ltd.

ANEXO 1

LISTA DE POZOS PERFORADOS PARA EL CANTÓN DE HEREDIA (FUENTE: BASE DE DATOS
EN LÍNEA SENARA, 2016).

# Pozo	Latitud	Longitud	Propietario	Prof. Solicitado.	Caudal Solicitado	Uso
AB-1026	216900	521210	AYA	185.00	9.50	ABAST. PUBLICO
AB-1025	220050	520300	AYA	160.00	9.50	ABAST. PUBLICO
AB-1035	218800	521630	AyA	200.00	9.50	ABAST. PUBLICO
AB-1089	218223	520059	ESPH	165.00	72.45	ABAST. PUBLICO
AB-1132	219545	521265	ESPH	245.00	9.50	ABAST. PUBLICO
AB-1152	216700	521150	AyA	180.00	20.00	ABAST. PUBLICO
AB-1206	218550	519975	PASADENA, S.A.		0.50	DOMESTICO
AB-1212	218750	518606	ALMACEN FISCAL DEL ESTE	76.00	5.00	RIEGO
AB-1318	217480	519450	FERNANDO CASTRO JIMENEZ	75.00	10.00	DOMESTICO
AB-1375	219750	522250	INVERS.CASA MADRE, S.A.		0.50	DOMESTICO
AB-1400	217670	519325	CREYPA S.A.	120.00	5.00	COMERCIAL
AB-1442	217950	520700	EMBOTELL. CENTROAMERICANA	188.00	15.00	INDUSTRIAL
AB-1443	217950	520875	EMBOTELL. CENTROAMERICANA	192.00	15.00	INDUSTRIAL
AB-1476	219900	521300	YAMILETH RODRIGUEZ ZAMORA		0.50	DOMESTICO
AB-1546	218207	523603	ESPH	134.00	9.50	ABAST. PUBLICO
AB-1570	218800	518500	AGRICOLA BANI S.A.			AGROINDUSTRIAL
AB-1648	219885	521390	LIDMAN S.A.		0.50	DOMESTICO
AB-1670	216883	522808	ESPH			URBANISTICO
AB-1690	217450	519750	LORENA SOTO RODRIGUEZ	34.00	2.00	TURISTICO
AB-1731	219188	520003	ESPH	137.00	12.50	URBANISTICO
AB-1792	219610	522180	ANTONIO HSU HSIANG TE		0.50	DOMESTICO
AB-1816	220000	522840	C.C.S.S.HOSPITAL DE HEREDIA	105.00	9.45	VARIOS
AB-1875	219545	522983	ESPH	244.00	72.50	ABAST. PUBLICO
AB-2043	218480	520425	REMECINC S.A.	152.36	3.00	ABAST. PUBLICO
AB-2044	218500	518695	C.C.S.S.	110.00	5.00	INDUSTRIAL
AB-2098	219875	522240	INMOBILIARIA MAS POR MENOS	130.00	5.00	RIEGO
AB-2124	218250	520660	TRIMPOT ELECTRONICA SA	132.00	6.00	INDUSTRIAL
AB-2206	217400	519850	UNLIMITED DEVELOPMENT,S.A.	53.00	2.40	DOMESTICO
AB-2237	219900	519850	S.U.A LOS PINARES	120.80	2.70	DOMESTICO
AB-2276	219250	522910	C.C.S.S.HOSPITAL DE HEREDIA	181.00	5.00	INDUSTRIAL
AB-2282	217500	519900	VISTA DEL LAGO S.A.	84.60	1.82	URBANISTICO
AB-2333	218900	523800	AYA	162.00	45.00	ABAST. PUBLICO
AB-2393	219830	522520	SALVADOR BONILLA ROSALES	120.00	1.50	DOMESTICO
AB-2520	220487	520616	Law Network Servicios Fiduciarios S.a.	100	3	Riego
AB-283	218650	518650	TUERCAS Y TORNILLOS	30.48	0.50	DOMESTICO
AB-284	218420	518750	C.C.S.S. Laboratorio	107.00	10.00	INDUSTRIAL
AB-286	218320	519180	SR.FRANCISCO PACHECO		0.50	DOMESTICO
AB-287	218180	519340	F. PACHECO.		0.50	DOMESTICO
AB-337	217930	520050	ROHRMOSER		0.50	DOMESTICO
AB-338	217450	521100	ROHRMOSER		0.50	DOMESTICO
AB-371	217570	520410	ROHRMOSER		0.50	DOMESTICO
AB-44	218850	520300	CAFETALERA SANCHEZ B.			RIEGO

# Pozo	Latitud	Longitud	Propietario	Prof. Solicitado.	Caudal Solicitado	Uso
AB-470	217700	521300	CIA. CAFET. TOURNON	67.06		INDUSTRIAL
AB-471	216050	523950	AyA		9.50	ABAST. PUBLICO
AB-478	218412	523069	ESPH	143.26	0.50	DOMESTICO
AB-485	216800	521400	C. CASTELLA		0.50	DOMESTICO
AB-520	217387	520689	ESPH	159.41	0.50	DOMESTICO
AB-555	216500	523950	AYA	155.00	9.50	ABAST. PUBLICO
AB-574	216700	523600	AYA	140.00	9.50	ABAST. PUBLICO
AB-601	219500	519950	LA AURORA	106.68	0.50	DOMESTICO
AB-658	217530	522940	AYA	86.82	9.50	ABAST. PUBLICO
AB-679	219375	519971	ESPH	153.00	0.50	DOMESTICO
AB-761	219600	522900	LICEO ING. MANUEL BENAVIDEZ	162.20	0.50	DOMESTICO
AB-777	218600	518600	RAYMUNDO GOMEZ	67.00	0.50	DOMESTICO
AB-832	219512	519830	ESPH	100.00	0.50	DOMESTICO
AB-853	219720	520000	INMALFA	79.00	0.50	DOMESTICO
AB-993	217800	523750	AYA	170.00	9.50	ABAST. PUBLICO
BA-107	221200	521800	COLEGIO CLARETIANO	103.40	0.50	DOMESTICO
BA-216	220320	522750	AyA		9.50	ABAST. PUBLICO
BA-247	221100	522580	ERNESTO GONZALEZ Y SUCES.	206.00	13.00	DOMESTICO
BA-282	220300	522850	MUNIC. HEREDIA	162.00	9.50	ABAST. PUBLICO
BA-419	220100	520350	OSCAR ARIAS M.	60.00	1.29	DOMESTICO
BA-420	220050	520400	Álvaro Rosabal Oller		0000.00	Seleccione el Uso
BA-506	221224	522296	ESPH	200.00	17.00	URBANISTICO
BA-587	221222	522274	ESPH (AYA)	350.00	50.44	ABAST. PUBLICO
BA-612	221320	522995	GRUPO CAFE BRITT S.A.			INDUSTRIAL
BA-618	221489	522933	ESPH	350.00	66.20	ABAST. PUBLICO
BA-710	220400	520500	INVERSIONES KAPRIOL S.A.	85.00	2.50	DOMESTICO
BA-923	221957	522273	ESPH	300	50	Abastecimiento Público
BA-933	221037	523694	Empresa De Servicios Públicos De Heredia, S.a.	225	50	Abastecimiento Público
INV-345	220050	520400	Álvaro Rosabal Oller			

LISTA DE POZOS PERFORADOS PARA EL CANTÓN DE SAN RAFAEL (FUENTE: BASE DE DATOS EN LÍNEA SENARA, 2016).

# Pozo	Latitud	Longitud	Propietario	Prof. Solicitado	Caudal Solicitado	Uso
BA-139	222700	526600	FERNANDO FOURNIER FACIO	21.00	0.50	DOMESTICO
BA-14	225200	528800	JUAN ACUNA VALERIO	14.80	0.50	DOMESTICO
BA-15	224900	528900	ARCELIA VALERIO	12.70	0.50	DOMESTICO
BA-16	224800	529000	FERNANDO CARVAJAL	8.40	0.50	DOMESTICO
BA-161	222800	526650	SENARA	220.45	0.50	DOMESTICO
BA-166	226150	527950	SENARA	220.00	0.50	DOMESTICO
BA-167	223200	530050	AyA	140.00	9.50	ABAST. PUBLICO

# Pozo	Latitud	Longitud	Propietario	Prof. Solicitado	Caudal Solicitado	Uso
BA-211	225800	528000	CLAUS	120.00	0.50	DOMESTICO
BA-226	224345	528265	YATCO, S.A.			INDUSTRIAL
BA-234	223800	530500	SERGIO ARAYA MONGE		0.50	DOMESTICO
BA-272	222150	524600	BENEFICIADORA RIO TURALES	130.00		INDUSTRIAL
BA-286	228708	526650	HOTEL EL TIROL	47.00		TURISTICO
BA-318	228250	527350	BARBIZON, S.A.			INDUSTRIAL
BA-327	225050	527450	RANCHO DE SALUD PURA VIDA			INDUSTRIAL
BA-338	223340	528020	WILLIAM KEILLOR SASSO		0.50	DOMESTICO
BA-339	222081	524318	ESPH	139.00	15.00	INDUSTRIAL
BA-344	222805	525621	ESPH	135.00	11.00	ABAST. PUBLICO
BA-345	222470	524744	ESPH (MUNIC.SAN RAFAEL)	130.00	9.15	ABAST. PUBLICO
BA-360	222200	526600	BENEFICIO TIERRA MADRE			INDUSTRIAL
BA-369	227000	526000	TOM STERNE		0.50	DOMESTICO
BA-421	222750	525600	José García Zúñiga		0000.00	Seleccione el Uso
BA-428	223840	529380	FERNANDO Y ELENA VINDAS	64.00	0.35	DOMESTICO
BA-444	225425	526770	TIERRAS A. MONTE BELLO	230.00		RIEGO
BA-445	222100	526300	INVERSIONES MARINA S.A.	154.00	0.50	DOMESTICO
BA-460	228700	526574	JULIO PUJOL ARNAU	50.00	1.90	DOMESTICO
BA-465	228600	526400	SEBASTIAN TENNA PUJOL	58.00	1.00	DOMESTICO
BA-467	225650	528050	TEMPLE WANAMAKER	60.00	5.00	DOMESTICO
BA-473	221488	524999	ESPH	200.00	5.70	ABAST. PUBLICO
BA-474	221253	524347	ESPH	200.00	7.00	ABAST. PUBLICO
BA-477	223550	530150	ASOC.CALASANCIA ESC.PIA	230.00	0.50	DOMESTICO
BA-497	226850	527150	CLUB CAMP. EL CASTILLO	40.00		TURISTICO
BA-500	222803	525624	ESPH	180.00	10.00	ABAST. PUBLICO
BA-507	228600	526750	JOHN MORETTI D.	45.00	1.90	DOMESTICO
BA-508	222800	526500	INVERSIONES MARCO S.A.			VARIOS
BA-517	226300	528600	RIANXO S.A.RES.EL CASTLL.	75.00	3.00	DOMESTICO
BA-520	225810	528280	ALTO MONTE S.A.	85.00	3.00	VARIOS
BA-529	226950	527350	LA CONDESA HOTEL S.A.	147.00	3.00	TURISTICO
BA-567	221251	524371	ESPH (AYA)	350.00	9.50	ABAST. PUBLICO
BA-572	223107	530058	ESPH (POZO SECO)	100.00	0.50	DOMESTICO
BA-607	220950	524800	INVERSIONES BLARO S.A.	80.00	3.50	URBANISTICO
BA-609	223500	524950	ISAIAS GOMEZ VIQUEZ	90.00	2.00	DOMESTICO
BA-630	225100	526220	FUENTES DEL PEDREGAL DE BARBA	70.00	0.50	DOMESTICO
BA-634	227030	527440	LA CONDESA HOTEL S.A.	115.50	6.60	INDUSTRIAL
BA-640	228860	527790	ENRIQUE CARBALLO VEGA			RIEGO
BA-683	226550	527300	CASTILLO COUNTRY CLUB S.A.	104.00	8.00	ABAST. PUBLICO

# Pozo	Latitud	Longitud	Propietario	Prof. Solicitado	Caudal Solicitado	Uso
BA-689	220850	525900	AYA		9.50	ABAST. PUBLICO
BA-706	221075	523550	SANTIAGOMILLAS S.A.	170.00		INDUSTRIAL
BA-725	223800	528950	ORLIBI G, S.A.	100.00	0.75	DOMESTICO
BA-729	222801	525624	ESPH	350.00	60.00	ABAST. PUBLICO
BA-730	225200	528350	BOGANTES E HIDALGO BB S.A.	110.00	2.00	DOMESTICO
BA-736	224866	527000	MARINEROS DEL PACIFICO	15.00	2.00	DOMESTICO
BA-775	223560	528960	ORLEVI,G,S.A.	50.00	1.00	DOMESTICO
BA-798	226285	525620	BLUE MONTAIN ASSOCIATES JT,S,A	145.00	1.50	DOMESTICO
BA-81	220900	525700	CAFETALERA IND. LA MESETA	270.66		INDUSTRIAL
BA-821	224370	529140	ECOLOGIA PE?AS BLANCAS S.A.	50.00	0.30	DOMESTICO
BA-829	224710	530500	INMOB.TOPUS URANUS S.A.	100.00	0.50	URBANISTICO
BA-841	225090	527870	RANCHO DE SALUD PURA VIDA S.A.	96.00	1.50	DOMESTICO
BA-843	227480	527775	HIGHLAND RANCH S.A.	160.00	2.50	DOMEST-RIEGO
BA-861	224180	529123	CARLOS E. MEJIA IGLESIAS	75.00	1.00	DOMEST-RIEGO
BA-862	224461	529368	REBECA RAMIREZ SANCHEZ	75.00	2.00	DOMEST-RIEGO
BA-868	223420	526920	CAFETALERA LUSIROL S.A.	140.00	3.00	DOMEST-RIEGO
BA-878	225494	526820	INSTAMEC S.A.	92.00	1.50	DOMESTICO
BA-879	225578	528786	MYRIAM SAGOT RUIZ	60.00	1.00	DOMESTICO
BA-880	228757	527873	ECOSISTEMAS DEL NORTE S.A	100.00	1.25	DOMESTICO
BA-89	228200	527700	DULIO CANOSA	70.00	0.50	DOMESTICO
BA-891	224498	529188	SUSURRO LOS CIPRESES S.A.	107.00	0.50	DOMESTICO
BA-897	221716	526369	ESPH	300.00	30.00	DOMESTICO
BA-900	228251	528303	MADERAS COMERCIALES DEL MONTE S.A	200.00	2.00	ABAST. PUBLICO
BA-904	225804	528429	INMOBILIARIA LA ESPERANZA	180.00	2.00	DOMEST-RIEGO
BA-91	225700	528050	WANAMARKER		0.50	DOMESTICO
BA-925	221040	523705	Empresa De Servicios Públicos De Heredia	275	0000.00	Otros Usos
BA-926	223110	530060	Empresa De Servicios Públicos De Heredia, S.a.	300	0000.00	Piezómetro
ILG-208	222700	527200	LA ILUSION S.A.		0.20	DOMESTICO
ILG-483	225100	528200	INVERSIONES PRIBO S.A		1.00	DOMEST-RIEGO
INV-346	222750	525600	José García Zúñiga		0000.00	Seleccione el Uso

ANEXO 2

INFORMACION DE LAS ESTACIONES METEREOLÓGICAS DEL INSTITUTO
METEREOLÓGICO NACIONAL

ESTACION 84193

Año	Me s	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7	Día 8	Día 9	Día 10	Día 11	Día 12	Día 13	Día 14	Día 15	Día 16	Día 17	Día 18	Día 19	Día 20	Día 21	Día 22	Día 23	Día 24	Día 25	Día 26	Día 27	Día 28	Día 29	Día 30	Día 31
2016	1	20.8	19.2	18.1	18.1	19.8	19.9	18.8	19.6	18.2	18.6	17.3	18.3	18.4	19.1	17.3	16.5	17	19.1	18.8	18.1	19.3	17.5	18.8	17	17.9	19.2	18.6	18.2	18.6	18.8	19.1
2016	2	17.3	14.8	18.3	19.3	18.2	18	17.3	17.6	19	18.4	18.4	18.9	18.6	18.9	19.1	19.4	19.6	20.6	19.2	19.2	19	19.3	19.4	16.1	19.8	18.8	18.9	19	18		
2016	3	18.9	19	19.2	19.5	19.2	19.4	19.3	19.7	18.8	18.8	20.2	20.5	20	16.7	18.8	19.2	19.7	19.4	20	18.1	20.9	20	20	19.9	19.9	20.3	20.5	21.1	20.6	18	18.1
2016	4	20	18.9	21	20	20	19.1	19	19.5	19.6	19.3	18.4	17.8	19	18.7	19.7	20	20.2	20.4	20.5	19.7	19.9	20.6	21.7	19.4	19.7	20.7	20.7	19.5	18.8	19	
2016	5	18.5	17.5	19.5	18.8	20.4	17.6	18.2	19.1	18.6	19.1	17.5	20.4	20.9	20.9	21.6	21	19.2	20.6	20.7	19.7	20.9	21	21.5	20.8	21.1	19.4	18.2	19.6	19.1	19.1	19.1
2016	6	19.3	17.2	18.3	17.2	19.9	17.5	18.6	17.8	16.3	18.2	18.4	18.4	19	19.4	17.8	16.4	20.1	16.7	19	19.7	19.2	16.7	20.2	19.7	19.3	20.2	19.8	20.8	21.3	20.8	
2016	7	19.6	19.3	18.8	20.6	20.2	19.6	20.4	20.7	20	20.9	19.1	17.9	17.5	20	18.8	19.3	19.1	18.2	18	18.8	19.2	19.7	18.4	17.3	17.9	18.9	19.8	20.7	19.2	18.3	19.7
2016	8	19.7	20.1	18.8	18.4	17.3	19.9	18.5	20.3	19.1	19.5	19.7	18.7	18.6	18.8	18.1	17.7	20.6	21.1	20.6	20	20	19.8	19.4	19.1	19.1	16.4	19.2	18.8	17.7	18.6	17.5
2016	9	17.3	16.7	19.3	19.3	17.5	19.4	19.8	19	18.6	19.7	18.6	18.3	17.9	19.1	19.3	17.5	16.9	20.4	20	19.2	17.3	18.1	16	18.8	17.7	18.1	19.1	18.2	19.9	20.3	
2016	10	19.1	15.6	15.9	16.6	17.5	18.6	18.3	16.9	18.8	18.8	19.9	18.9	18.5	18.2	18.8	19.4	19.1	18.2	18.8	17.9	16.1	19.4	19.4	20.3	16.4	17.2	16.6	19.1	18.9	18	17.4
2016	11	18.8	18.7	16.3	18.6	18.3	19.2	19.2	17.5	17.5	19.5	20.2	18.7	17.2	19.1	16.6	18.6	19.4	16.7	19	18.1	17.2	17.3	17.7	18.6	17.9	16.6	19.9	19.4	20	19.2	
2016	12	19.8	19.1	17.2	19.2	17.9	15.1	18.1	18.6	19.3	18.8	19	18.6	17.9	19.4	20	19	18.9	18.1	19.3	19.4	17.7	18.4	18.1	18.6	18.6	19.3	19.9	18.6	18.4	18	18.6
2017	1	19.3	19.8	18.4	17.3	18.4	18.2	17.7	19.1	17.9	18.5	19	18.8	18.4	17.2	16.7	17.2	16.9	17.8	16.5	17.2	15.7	16.4	13	15.7	17	17.2	18.9	18.8	18.3	18.9	18.4
2017	2	18.5	18.3	18.6	18.1	19.2	19.2	19	18.6	20	19.5	18	16.8	17.7	17	15.6	16.1	16.1	15.9	15.5	18	18	16.5	16.7	16.5	16.3	18.4	17.1	18.3			
2017	3	18.9	17.9	18	19.1	17.3	18.6	19.1	18.5	19	19.2	18.1	18.9	17.9	18.9	19.6	18.4	18.4	19.1	18.8	18.6	19	18.8	18.8	17.5	17.5	18.6	18.1	17.4	18.2	16.8	17.2
2017	4	15.6	19.9	18.5	20	20.2	20.2	19.6	19.4	17.5	18	18.4	18	19	19.4	19.1	20	20	19.1	19.7	17.9	16.8	18.3	19	19.9	19.8	17.8	18.4	19.7	19.7	20	
2017	5	17.6	19.7	18.6	20.2	18.2	17.6	18.3	18.5	18.4	17.2	18.7	19.1	19.4	19.3	20.2	20	19.6	17.2	18.4	18.6	19.6	18.8	18.7	19.9	20.4	20.3	20.9	19.2	18.9	19.3	18.3
2017	6	18.8	18.1	19.9	20.1	20.5	18.8	19	19	17.9	19.2	18.8	19.4	18.3	17.7	18.7	18.9	18.6	18.1	18.4	18.8	18.4	19	18.5	20.3	18.7	19.2	18.6	19.6	19.3	19.8	
2017	7	18.5	20.2	18.3	18.1	18.5		18.4	19.1	20.1	19	19.2	18.1	18	18.8	20	16.7	19.4	18.3	17.3	20.6	17.9	19.4	19.8	19.3	20.2	19.9	19.6	19.5	19.9	19	17.7
2017	8	17.7	19.3	19.7	18.1	16.9	17.5	18.8	19.9	18.9	17.4	17.6	18.9	18.2	17.7	20	20.4	19.7	19.1	18.6	17.3	17.5	16.2	19.1	18.2	18.2	18.9	19.2	17.7	18	18	18.5
2017	9	19.6	20	19.5	19.1	18.9	17.9	17.7	18	16.9	16.2	18.1	17.2	18.7	20.3	18	18.7	16.4	17.6	18.2	17.6	18.6	18.7	17.7	19.1	16.4	18.9	16.5	17.5	17.2	16.8	
2017	10	18	18	18.7	18.6	17.5	17.2	15.9	18.6	17.7	16.5	16.1	17.5	18.9	20.6	20.6	19.4	20	19.6	19.5	20.1	18.2	18.4	20.2	19.3	19.1	17.7	17.9	17.6	16.4	17.4	18.8
2017	11	19.1	20.1	20.2	19.1	17.1	19	18.3	19.5	19.2	17.8	18.6	16.9	19.2	19.4	18.6	17	17.8	16.8	17.3	18.5	18.9	18.4	18.8	19.4	18.6	20	19.5	18.3	19.5	18.9	
2017	12	18.8	17.8	18.4	18.8	19.4	19.5	18.1	19.3	18.6	18.2	15.8	15.9	16.1	16.6	17.7	18.4	18.2	18.2	19.3	19.6	18.5	18.1	18.8	17.3	18.6	17.8	18.1	18.3	18	19.4	19.3

Me s	Año	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10	D11	D12	D13	D14	D15	D16	D17	D18	D19	D20	D21	D22	D23	D24	D25	D26	D27	D28	D29	D30	D31
1	2016	1.5	0	0	0	0	0.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Año	Me s	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7	Día 8	Día 9	Día 10	Día 11	Día 12	Día 13	Día 14	Día 15	Día 16	Día 17	Día 18	Día 19	Día 20	Día 21	Día 22	Día 23	Día 24	Día 25	Día 26	Día 27	Día 28	Día 29	Día 30	Día 31
2016	1	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
2016	2	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	4.4	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-	-	
2016	3	0.0	0.0	0.8	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	25.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
2016	4	9.5	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	24.0	0.1	0.0	1.7	0.6	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	8.8	0.0	0.0	15.8	14.5	16.2	25.0	2.4	-	
2016	5	20.6	1.6	0.9	17.4	12.0	24.2	0.0	0.0	3.1	0.0	0.4	0.0	0.0	0.0	7.4	0.0	0.3	1.1	0.1	0.0	0.0	0.1	0.6	2.1	5.2	14.1	29.0	4.0	15.4	21.0	
2016	6	8.3	66.3	18.4	4.3	8.7	0.5	0.0	50.5	19.3	7.2	2.6	0.1	0.0	2.8	7.1	7.4	0.0	31.3	1.8	7.0	39.6	10.5	6.0	0.5	0.1	0.3	14.2	0.0	0.0	1.0	-
2016	7	1.1	7.5	0.0	0.0	0.0	0.6	2.2	2.1	0.0	2.6	8.8	5.7	0.1	0.0	0.0	3.0	0.1	15.5	37.6	2.5	0.0	2.8	12.3	0.1	0.0	3.6	0.0	0.0	4.0	0.0	0.0
2016	8	0.0	0.1	7.5	21.3	0.1	6.6	0.1	0.0	6.9	0.4	0.4	42.9	20.8	1.5	0.3	0.1	0.0	0.0	2.5	0.0	0.1	3.8	2.0	0.0	0.0	0.0	4.4	42.8	19.8	19.0	37.8
2016	9	27.7	4.7	0.1	4.7	0.2	8.1	0.3	23.5	4.6	11.2	29.0	29.6	17.5	19.2	9.2	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	3.2	43.1	0.2	0.6	0.2	1.5	0.0	0.0	0.0	1.9	-
2016	10	26.2	5.2	0.9	4.4	50.4	81.1	30.9	3.9	59.7	0.5	3.4	43.0	12.2	5.6	1.8	11.2	29.8	11.1	19.5	0.2	10.8	2.0	1.6	0.2	0.6	7.6	3.7	0.2	1.9	8.9	4.7
2016	11	2.1	0.0	2.6	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	1.7	0.0	9.0	5.0	11.1	0.0	30.9	29.2	0.2	4.2	37.6	4.7	0.0	0.0	13.0	17.5	4.2	2.4	5.1	2.0	0.0	0.8	-
2016	12	6.2	0.0	17.2	28.3	5.1	0.2	0.0	6.3	18.9	0.1	24.4	7.5	0.4	0.0	0.9	0.0	0.0	0.0	1.0	2.0	1.5	0.2	0.0	0.0	0.0	7.3	0.0	0.0	0.0	0.4	0.0
2017	1	0.0	0.0	0.0	0.2	0.2	0.0	0.3	27.2	12.0	2.4	0.4	0.0	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2017	2	0.0	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	12.9	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-	-	-
2017	3	0.0	0.4	0.0	0.3	0.0	0.0	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2017	4	0.0	40.8	14.2	0.4	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	0.0	0.0	0.3	3.7	26.6	1.0	0.2	0.1	0.6	6.6	44.3	11.6	2.4	21.5	0.0	8.5	-	
2017	5	12.3	0.4	0.8	19.2	36.6	45.6	40.8	42.3	42.9	28.7	5.9	4.0	10.1	0.0	7.9	18.6	10.3	14.7	48.9	11.6	24.3	5.7	19.4	5.2	0.2	11.0	0.0	25.4	59.0	8.6	33.8
2017	6	9.5	0.7	0.1	0.0	36.0	0.4	10.2	42.6	45.0	28.4	0.2	0.8	0.1	1.5	28.5	0.7	12.4	25.7	4.4	5.6	0.2	20.1	0.1	2.2	0.0	2.0	0.6	39.7	0.1	0.0	-
2017	7	0.0	0.0	12.3	32.2	1.9	8.9	1.0	0.0	0.0	0.0	0.6	6.4	12.0	0.0	0.0	2.0	27.7	0.1	0.3	0.2	11.7	2.5	2.0	0.6	11.0	0.0	0.0	4.8	7.9	80.1	29.5
2017	8	1.2	0.0	0.0	3.1	12.2	13.0	32.2	0.0	49.1	0.0	0.0	1.4	22.2	0.3	0.3	0.0	0.1	12.6	5.5	6.7	24.8	0.6	0.6	8.3	21.2	0.0	4.9	4.8	55.0	18.7	0.5
2017	9	1.0	1.1	0.6	16.6	0.0	28.5	0.1	39.6	43.4	2.5	4.3	4.4	0.1	5.8	0.8	17.9	34.0	0.2	33.4	59.6	0.8	40.2	13.4	22.3	3.4	50.5	23.2	10.8	49.9	64.0	-
2017	10	9.3	22.2	44.9	95.3	84.8	0.4	0.1	13.3	5.3	5.6	1.6	0.2	1.4	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	12.1	1.7	52.9	0.3	13.4	23.3	18.3	4.1	1.1	0.1	8.9
2017	11	0.1	0.4	0.5	12.4	0.0	16.1	1.8	0.4	22.8	1.7	1.1	0.1	22.1	7.3	0.6	5.7	0.0	0.0	1.1	7.6	22.7	1.7	1.0	1.0	0.0	0.0	0.0	2.2	3.0	0.0	-
2017	12	0.0	0.0	0.5	0.3	1.0	0.1	4.7	4.6	3.4	2.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.2	0.2	0.0	0.1	0.0	1.7	1.7	0.0	

Año	Me s	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7	Día 8	Día 9	Día 10	Día 11	Día 12	Día 13	Día 14	Día 15	Día 16	Día 17	Día 18	Día 19	Día 20	Día 21	Día 22	Día 23	Día 24	Día 25	Día 26	Día 27	Día 28	Día 29	Día 30	Día 31	
2012	3																																
2012	4																																
2012	5										34.1	0.0	0.0	1.5	13.7	33.3	1.3	4.3	0.0	12.4	5.3	26.8	7.1	0.0	0.5	49.3	0.8	0.0	6.4	4.8	23.9	8.6	
2012	6	2.5	5.1	1.0	14.5	8.1	42.4	0.0	0.0	0.0	1.5	22.1	1.3	2.8	17.0	0.3	0.0	2.0	1.3	1.5	0.0	0.0	3.3	57.7	0.0	2.3	46.5	0.3	3.0	8.1	29.6	-	
2012	7	0.0	0.0	0.0	2.0	0.3	0.0	11.4	0.0	0.0	10.9	0.0	22.6	0.0	9.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.5	0.0	0.0	0.0	5.1	0.0	0.0	27.1	43.9	3.8	0.0	0.0	
2012	8	22.1	0.0	0.0	0.0	0.0	19.7	2.5	13.7	2.0	11.2	8.6	0.0	0.5	29.7	65.3	0.0	1.5	5.1	17.8	11.2	0.3	0.3	30.8	3.6	27.7	0.0	19.6	0.0	5.3	8.9	11.9	
2012	9	8.1	4.3	0.5	29.0	6.4	0.0	0.0	1.8	7.6	0.3	0.8	0.0	15.5	4.6	1.8	0.0	0.0	0.0	28.7	7.1	1.3	0.3	0.8	1.8	1.8	27.2	17.0	4.1	1.0	1.3	-	
2012	10	1.8	0.0	0.0	11.9	1.8	0.0	2.0	30.0	3.6	0.3	0.0	5.6	11.9	2.5	0.8	14.5	65.6	25.4	0.8	1.0	17.3	12.2	48.7	12.2	33.5	0.0	3.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
2012	11	0.0	20.3	0.0	0.0	0.0	31.3	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	6.6	0.0	2.0	0.0	0.3	0.5	0.3	0.5	2.3	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	2.8	0.0	0.0	-	
2012	12	0.0	0.0	0.0	33.8	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.5	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
2013	1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
2013	2	0.0	0.0	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	14.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.4	0.0	0.0	-	-	-	
2013	3	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	41.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
2013	4	4.1	0.0	0.0	9.1	2.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	16.0	0.0	0.0	0.0	17.8	0.0	0.0	1.0	35.6	0.0	25.9	12.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-	
2013	5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.3	0.0	0.0	18.5	14.0	13.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	4.1	21.8	18.5	0.0	15.7	0.0	1.0	0.0	15.2	43.6	15.7	0.5	
2013	6	3.8	0.0	0.3	22.9	6.6	78.5	0.0	0.0	0.0	2.5	0.0	0.3	2.5	0.0	0.0	0.0	4.1	35.9	6.4	7.9	1.0	0.0	1.0	0.8	2.8	0.5	0.0	0.0	27.4	1.3	-	
2013	7	1.0	24.9	0.0	7.4	0.0	22.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.0	0.0	0.5	0.0	0.0	27.9	2.0	0.0	0.0	15.5	0.0	0.0	1.0	0.0	6.4	8.6	0.0	0.0	3.8		
2013	8	0.0	2.0	27.9	0.3	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	3.3	0.0	0.0	1.5	15.7	1.3	5.1	2.5	5.1	0.0	0.0	0.0	39.4	8.9	22.9	0.0	2.3	37.1	0.0	0.3	1.8	17.0	
2013	9	2.8	13.7	11.4	4.3	57.7	79.2	2.0	0.0	7.6	22.9	0.0	0.5	16.8	34.3	13.7	18.0	1.0	44.7	0.0	0.0	10.2	6.1	0.0	4.8	0.0	44.9	0.0	15.2	5.1	33.0	-	
2013	10	34.1	32.8	3.8	8.4	51.6	20.1	12.2	0.0	0.0	0.3	28.2	21.8	0.0	2.3	3.3	17.3	3.0	30.0	11.2	56.9	31.5	13.0	50.3	5.6	4.1	16.3	0.8	68.0	2.8	0.5	2.5	
2013	11	15.7	0.0	0.5	33.0	2.8	3.6	15.2	3.6	25.7	0.3	0.0	0.0	0.0	21.1	6.4	0.0	0.0	0.0	0.0	4.1	0.0	0.0	0.0	0.2	9.5	10.0	18.0	5.6	0.0	0.0	-	
2013	12	0.0	6.1	0.0	1.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.8	0.0	0.0	4.3	0.8	0.0	0.3	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
2014	1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.3	0.8	0.0	0.3	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
2014	2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-	-	-	
2014	3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.6	0.0	10.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
2014	4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.4	12.7	0.0	58.2	53.1	4.6	-	
2014	5	0.3	7.6	0.0	0.8	0.0	36.6	31.0	50.8	21.3	53.6	53.1	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8	0.0	0.0	0.0	25.1	30.5	0.0	0.0	0.3	0.5	0.0	2.5	2.8	38.9	20.6

Año	Me s	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7	Día 8	Día 9	Día 10	Día 11	Día 12	Día 13	Día 14	Día 15	Día 16	Día 17	Día 18	Día 19	Día 20	Día 21	Día 22	Día 23	Día 24	Día 25	Día 26	Día 27	Día 28	Día 29	Día 30	Día 31
2014	6	0.0	0.0	71.1	28.4	35.6	57.4	1.8	3.6	0.5	1.3	0.0	3.8	0.0	0.0	1.8	0.8	14.5	2.0	9.4	0.8	0.0	0.5	0.8	0.5	28.7	0.8	16.8	0.0	0.0	0.0	-
2014	7	0.0	4.1	0.0	0.0	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	7.6	0.0	3.8	3.3	0.5	0.0	5.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.3	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.3	
2014	8	1.3	0.0	0.8	17.0	0.0	0.0	1.5	11.9	0.0	10.7	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.3	1.8	18.5	0.0	0.5	3.3	43.9	31.5	3.6	12.4	6.4	0.0	8.9	0.0
2014	9	0.0	4.6	31.2	0.8	48.0	13.0	12.2	0.0	0.0	26.9	43.4	29.2	14.5	7.1	1.0	7.6	21.3	53.3	54.6	5.6	7.1	34.1	27.7	8.4	19.8	19.3	0.0	0.0	13.5	26.4	-
2014	10	4.1	0.0	6.1	0.0	1.0	0.0	25.4	6.4	0.8	5.1	0.0	6.9	23.9	5.1	5.3	10.7	44.5	16.3	5.1	19.6	1.8	1.0	0.0	3.3	29.0	7.9	2.5	0.3	0.0	20.6	42.9
2014	11	20.1	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.8	0.0	0.0	5.6	0.0	5.3	1.5	0.0	0.0	2.3	0.0	0.0	0.0	4.1	1.5	4.9	0.0	0.0	0.0	0.0	-
2014	12	0.0	0.0	0.0	3.8	1.5	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.8	7.4	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2015	1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2015	2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	67.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	2.0	0.0	0.0	-	-	-
2015	3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2015	4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.6	12.4	0.0	0.0	-
2015	5	1.0	0.0	1.5	0.0	0.0	0.5	19.6	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	17.0	8.9	0.0	1.8	3.6	0.0	0.0	2.0	15.7	0.5	7.6	0.0	0.0	0.3	16.8	6.9
2015	6	0.3	1.3	14.0	25.0	35.6	13.2	6.9	0.0	13.7	14.0	0.5	4.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.5	0.0	5.6	5.1	2.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.8	0.0	-
2015	7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	19.1	9.4	8.9	4.6	31.2	7.1	18.5	1.3	0.0	0.0	0.0	1.5	58.4	23.1	0.0	0.0	0.0	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.3	0.0	0.0
2015	8	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.2	0.0	27.7	6.1	0.0	0.0	7.6	0.8	0.3	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	10.2	1.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	28.7	0.0
2015	9	0.0	6.6	1.0	0.5	0.0	1.8	0.0	0.3	19.6	1.0	20.6	1.5	1.8	0.0	0.0	0.0	20.6	0.0	20.3	0.3	10.7	3.6	15.5	4.1	3.8	8.1	18.0	25.9	1.0	8.9	-
2015	10	4.3	0.0	57.2	26.4	0.0	1.5	0.2	0.0	0.0	0.0	47.2	6.4	14.5	7.9	1.0	14.2	33.8	7.9	6.1	22.1	9.4	21.6	31.3	4.1	42.9	10.2	22.6	11.7	0.0	1.3	0.0
2015	11	0.0	5.6	0.0	40.2	27.9	14.5	0.0	31.8	0.0	35.1	10.7	2.5	2.8	29.0	33.5	30.0	0.5	40.9	6.9	2.8	3.3	11.4	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-
2015	12	0.0	0.0	0.0	0.8	0.0	2.0	0.0	13.5	21.8	9.4	0.0	0.0	0.0	22.4	4.8	0.0	0.0	0.0	1.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.3
2016	1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2016	2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-	-
2016	3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.9
2016	4	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.2	0.0	0.0	0.0	4.8	0.0	0.0	0.0	2.0	0.0	1.3	2.0	0.0	8.1	10.2	50.0	4.1	3.0	-
2016	5	4.3	4.6	2.3	0.0	13.2	39.4	0.0	0.0	10.7	0.0	22.6	0.0	0.0	0.0	5.1	16.0	16.8	0.3	0.0	0.0	13.0	0.0	0.0	2.0	9.4	8.4	3.8	21.1	38.9	13.0	46.0
2016	6	5.6	50.8	2.0	0.8	5.8	11.9	0.0	29.0	31.0	13.2	6.6	0.0	0.0	9.7	0.3	6.9	0.0	44.7	2.0	5.8	47.5	5.3	8.9	0.0	0.0	0.3	4.6	0.0	0.0	0.0	-
2016	7	1.0	4.6	0.0	0.0	0.0	0.0	13.7	0.0	0.5	9.7	0.0	1.5	0.0	0.0	0.0	2.0	0.0	6.9	0.0	24.4	0.0	1.0	48.5	0.0	0.0	3.0	0.0	0.0	1.3	0.0	0.0
2016	8	0.0	11.4	6.1	16.5	3.3	5.3	0.0	7.6	6.6	0.0	0.0	7.6	15.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.8	0.8	5.6	0.0	0.3	1.3	0.0	4.6	12.7	46.5	15.2	38.6

Año	Me s	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7	Día 8	Día 9	Día 10	Día 11	Día 12	Día 13	Día 14	Día 15	Día 16	Día 17	Día 18	Día 19	Día 20	Día 21	Día 22	Día 23	Día 24	Día 25	Día 26	Día 27	Día 28	Día 29	Día 30	Día 31
2016	9	27.7	16.5	0.0	5.6	0.3	1.0	0.0	27.9	0.5	1.0	6.1	31.5	0.0	11.2	12.7	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	3.3	25.7	23.6	0.0	4.6	0.0	2.5	0.0	3.6	-	
2016	10	23.6	18.8	0.3	4.8	33.3	47.2	33.5	8.9	58.8	3.8	3.6	25.9	24.9	19.6	0.5	18.5	20.3	17.5	15.2	0.0	8.6	0.0	1.0	0.0	7.9	16.3	0.0	0.0	13.7	12.7	11.2
2016	11	5.1	0.8	9.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.8	3.6	10.7	0.0	1.8	0.5	1.3	16.3	23.4	2.8	0.0	0.0	16.8	6.6	1.0	5.1	8.4	0.5	2.0	8.1	-
2016	12	0.0	0.0	2.8	20.6	5.3	0.0	0.0	12.7	19.3	2.0	20.1	2.8	0.0	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.8
2017	1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2017	2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	21.8	0.0	0.0	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-	-	-
2017	3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2017	4	0.0	32.5	1.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	4.8	40.6	0.0	0.0	0.0	0.0	61.3	0.0	0.3	10.4	6.6	25.4	12.7	-
2017	5	9.9	0.0	0.8	4.8	14.5	34.3	13.5	32.0	22.4	14.0	4.1	7.9	10.2	0.0	2.5	6.4	4.6	19.1	107. 2	10.9	38.2	3.0	2.5	3.0	0.0	3.6	10.7	30.0	14.5	10.7	42.7
2017	6	39.9	0.0	0.0	0.0	21.1	1.3	2.3	40.6	13.0	20.8	0.0	4.1	0.0	1.0	31.0	0.5	27.4	9.1	4.3	24.6	18.0	0.0	1.0	0.0	1.3	0.3	3.0	49.0	0.0	1.3	-
2017	7	0.0	0.0	2.5	39.7	1.5	0.3	8.4	0.0	0.0	0.0	4.6	7.4	16.3	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	3.8	2.0	8.1	2.8	0.0	5.1	0.0	0.0	1.5	1.8	2.0	74.4	34.1
2017	8	0.8	0.0	0.0	0.0	42.4	20.8	6.4	0.0	26.7	0.5	1.0	0.0	23.4	0.0	0.0	0.0	0.3	32.5	4.1	17.8	20.3	0.0	19.1	8.9	27.8	0.0	0.0	15.5	38.4	23.1	0.5
2017	9	0.0	0.0	5.8	10.9	0.0	27.7	0.5	36.1	13.0	0.5	2.8	0.0	0.0	38.4	0.8	6.9	47.7	0.0	27.2	37.1	8.1	26.4	8.6	13.7	3.0	14.0	18.8	3.0	26.7	47.0	-
2017	10	23.1	8.4	18.8	115. 1	54.1	0.0	0.0	29.5	4.8	11.7	1.8	23.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.1	0.5	1.8	12.2	12.7	10.2	30.5	19.6	0.0	0.0	0.0	19.8
2017	11	0.0	0.0	0.3	28.4	0.0	5.3	0.8	0.0	0.0	0.0	6.6	0.0	35.1	0.3	0.0	3.6	0.0	0.0	0.0	3.0	13.2	5.6	0.3	0.8	0.0	0.0	0.0	3.8	1.3	0.0	-
2017	12	0.0	0.0	0.0	1.0	2.3	2.5	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0

ESTACION 84111

Me s	Año	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10	D11	D12	D13	D14	D15	D16	D17	D18	D19	D20	D21	D22	D23	D24	D25	D26	D27	D28	D29	D30	D31	
1	2010	0	0	0	0	0.5	2.3	0	0	0	0.4	0	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	
2	2010	0	0	0	0	0	0	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4.4	0	0	0	0	0	0	0	10.7	1	2.6	0	-	-	-	
3	2010	0	0.8	0	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0.4	0	0	0	0	0	0	0	2.5	14.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
4	2010	0	14.8	0	0	0	0.5	7.2	4.2	0	0	0.2	0	0	0	20.8	13.2	3.3	0	13.7	5.3	1.2	0	1.6	1.5	0.6	6.2	6.6	7.6	9.2	65.7	-	
5	2010	3.4	23.8	9.4	0	19.2	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0	26.1	0	3.4	14.7	2.5	0	2.7	41.9	7.6	9.1	13.7	2.4	1	0	6.1	0.2		
6	2010	7.1	9.4	10.6	0	0.7	8.1	0.4	13.9	1.2	8	24.5	52.6	4.5	49	50.7	1.1	0	47.1	2.8	33.5	6.2	20.5	35.6	6	32.6	11.4	9	3	8.4	0	-	
7	2010	0	24.6	0.5	2.8	4.6	9.5	6.8	1.6	0	48	44.6	4.8	2.8	0	1.4	2.3	1.5	3.3	8.6	93.6	31.5	9.8	6.8	0	12.8	11.5	9.5	0.3	12.8	2.2	7.7	
8	2010	29.5	0.2	0	0.1	32	9	8.6	19.6	80.7	34.6	5	4.8	2.9	1.8	10.9	0.2	24.8	1.2	9.3	58.3	1.7	17.5	11.5	19.9	46.4	69.3	50.4	51.8	42	0	31.2	
9	2010	15.8	3.8	42.3	32	14.9	4.9	5.2	8	6.7	25.2	6.1	95.5	44.7	4.7	0.7	0.8	3.9	13.6	4.7	55.4	13.3	28.6	4.7	4.2	5.1	9.5	37.5	12.9	46.1	7.6	-	
10	2010	18.8	70.3	15	0	0	0	0	0	0	1	34.5	0.9	1.2	0	4.1	0	0	0	0	6	60.1	0	21.3	32.5	7.1	16.6	0	0	0	0.7	10	
11	2010	15	69	103.8	10.1	33.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7.6	0.1	4.8	0	5.4	0	6.8	1.1	2.4	0.6	2.1	0.1	0	0	3.2	29.6	-	
12	2010	26.1	0	0	0	0	0.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12.2	1.8	0	0	0	0	0	1.7	1	0	0	0	15.7	1	
1	2011	3.6	8.4	0	0	0	2.6	0	0	0	0	3.1	1	1.7	0.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0	0	0	
2	2011	0	0	0	0	0	0	15.9	0	20.2	0	0	11.7	0	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.8	7.6	0.2	0	5.8	-	-	-	
3	2011	3.2	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	18.6	3.6	0	0	0	0	
4	2011	12.2	0	0	3.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	24.6	10.2	0.4	0	0	22.2	-	
5	2011	26.4	0	0	0.3	9.7	0	0.2	2	0	0	0	17.2	3.4	27.8	0	28.4	0	6.5	10.3	6.5	1.9	9.3	25.5	22.3	13.5	17.5	0.8	3.4	0	0.6	30.2	
6	2011	5.1	9.9	0.3	39	32.8	6.5	0	0	0.6	0	0.6	0	0	6.1	118.1	7.2	18.3	57.4	0.4	3	24.3	0	2.1	18.3	1.5	0	5.6	5.3	0.7	62.7	-	
7	2011	20.6	30.2	40.2	22.7	0.1	0.8	0	0	0	0	27.5	3.1	2.4	10.5	29.5	4.1	36.7	0	0	0.2	0	0.3	0	0	0	0	11.6	9.1	12	7.5	6.1	
8	2011	15	2.5	0	1.2	0	0	2.4	0.5	0	0	1.5	1.6	38.6	7.6	17.9	9.4	0	22.5	55.6	0.5	7.8	0.4	1.1	8.4	13.2	3.2	2.4	3	1.6	8	0	
9	2011	0	10.1	2.3	1.8	18.7	13.7	3.3	1.5	0.1	7.6	3.2	1.2	20.9	0.2	3.2	23.8	10.5	11.1	10.5	23.4	0.7	0.1	5.7	12.3	9.1	0	15.6	51.4	0	0	-	
10	2011	87.4	31.4	15.8	0.5	25.3	1.9	5.6	18.2	10.8	41.4	37.8	82.5	87.6	100.4	25	26.1	6.1	17.4	32.1	10.2	25.9	47.8	11.8	15.1	2	9.3	68.7	72.3	0	11.3	41.7	
11	2011	18.5	2.2	0.3	0.1	0	0.4	3.2	0	19.2	0	0	24.4	0.3	0	46.8	11	0	0	1.8	0	2.8	0	4	8.3	10.2	18	0.3	1	0.8	0	-	
12	2011	0	0	0	0	0	0.2	0	0	0	0.3	14.4	24.2	17.8	1.2	0.3	0	1.4	0	0	0	0	0	3.5	0	0	0	0	0	0	0	0	
1	2012	0	0	0	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	2012	0	0	0	1	3.9	0	0	2.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0	-	-	

Me s	Año	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10	D11	D12	D13	D14	D15	D16	D17	D18	D19	D20	D21	D22	D23	D24	D25	D26	D27	D28	D29	D30	D31	
3	2012	0	0	0	3.6	3.4	0	0	0	0	0	1.5	5.5	0	0	0	0	0	0	0	3.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
4	2012	0	14.3	18	0	7	25.8	5.3	0	0	0	1.5	5.5	0	0	0	15.8	33.2	0	3.7	0	46.8	24.7	0	0	0	0	4.2	0.2	15.8	1.4	-	
5	2012	41.1	0	15.6	15.3	40.2	0.8	19.3	0.3	0	11.2	0	0.6	3.4	1.8	19.4	0	9.9	0	85.8	11	9	9.2	0	4.1	6.7	1.8	0.3	58.2	12	13.2	17.2	
6	2012	34.1	9.5	10.5	0.4	28.9	32.3	0	0	9.2	2.1	17.4	1.9	13.6	35.6	0	1.3	3.2	0	0	0	0	3.8	5.8	0	28.6	13.5	1.4	0			-	
7	2012	0	0	0	2.9	0	0.2	0.8	0	0	1.3	0	12.5	0	18	0	0	0	0	0.2	1.5	0.2	0.6	0	12.4	0	0.1	31	46.5	3.1	0	0	
8	2012	9.9	0	0	-	4.7	26	11.7	0	14.6	32.4	0.6	0	1.3	4.7	84.3	1.1	1.2	0.7	9.7	10.4	0.3	0.4	3.2	36	27.7	0.1	0.2	0	6	7.2	0	
9	2012	2.2	0.2	0.4	2.2	31	37.2	0.3	3.3	16.2	0.6	2	0	1.5	3.8	16.8	0	0	3.1	7.4	1.6	0.3	0.5	1.6	1.7	1.8	6.2	55.6	0.3	7.9	0.4	-	
10	2012	0.5	0	0.5	8.6	0	32.8	4.2	39.4	2.8	0	0	3.4	40.4	40.7	6.1	7	18.2	51.4	0.6	20	7.5	17.7	59.5	15.6	35.7	2.8	0	0	0	0	0	
11	2012	0	37.3	0.8	0	0	41.6	0.4	3	2.9	0	0	2.3	0.3	0.7	0	0.8	2	0	0.2	3.7	2.1	0	0	0	2.3	0.6	0	3.1	6	0	-	
12	2012	1.2	0	0	14	9.1	0	0	0	0	0	0	0.2	0	2.7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2	8.4	0	0	1	0.5	3.4	0	
1	2013	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	2013	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	24.7	0	0	0	1.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	-	-	
3	2013	0.7	0	0.3	0	0	1.8	1.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.4	0	0	0	43.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	2013	0	-	0	18.5	2.1	0	0	0	0	0	23.2	0	0	0	19.6	0	0	16.8	1.3	0	13.2	34.8	0	0	0	0	0	0.2	13	3.3	-	
5	2013	0	0	11.7	0	0	0	0	0	17.8	2.4	1.7	1.1	0	0	0	0	0	0	0	1.3	21.6	15.2	0	7.8	4.2	0.8	0	0	29.2	55.3	8.3	
6	2013	3.2	0	17.6	47.2	40.1	45	0	0	0	1	0	2.2	1.6	0.3	0	2.6	9.2	69.1	1	0	3.4	0	0.3	1	0.3	2.5	0	8.4	28.2	2.6	-	
7	2013	4.8	27.8	0	0.9	0	4.4	0	0.3	0	1.8	0.2	27.8	0	0	0.2	0	21	2.5	0.4	0	9	1.1	0	3.7	4.9	0	9.1	20.9	0.6	1.8	2.6	
8	2013	0	1.5	7.5	0	0	0	0	1.4	0.9	0.5	2	36.5	0.6	6.4	7.2	5.7	2.5	1.1	0.1	1.1	0	31.4	10	68.5	0	0	31.4	0	0	0	14.2	
9	2013	7	1.7	2.1	3.8	20.6	5.6	60.4	0	13.2	50.5	3.6	7	60	29.5	37.4	43.8	12	69.4	0	0	0	18.9	0	0.8	1.8	28.8	1.6	55.1	7.3	72.8	-	
10	2013	18.8	41.7	0	7.6	101	8.5	15.3	0	2.9	0.4	10.8	5.6	0	12.4	3.7	13.3	0.5	8.1	39.3	43.1	12.1	56.3	27.3	0.9	7.1	10.8	0.4	39.8	5.3	0	0	
11	2013	44.3	0.6	9.4	18.3	1.3	1.2	4.9	26	68.8	0	0	0	0.3	11.6	1.6	0	0	0	0	4.4	0	0	0	0	0.2	3.7	15.8	5.1	4.3	1.6	-	
12	2013	44.3	24.3	1.6	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0.3	0	0.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	2014	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	2014	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	31.8	-	-	-
3	2014	0	0	0	0	0	11.8	0	4.4	0.2	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	2014	0	0	0	0	0	0	37	0	2	0	0	0	0	21.7	6.7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7.6	9.7	0	10.2	32.8	2.5	-	
5	2014	0.7	2.2	0.4	22.5	0	7.6	15.6	4.9	0.8	55	4.9	10.2	0	0	0	10.8	0	0.3	0	11.5	26.8	22.7	0	1.7	3.6	0	0	1.2	8	100.9	82.8	
6	2014	0	1.5	4.7	73.2	33.7	49.1	0	5.5	0.7	25.8	0	1.4	3.8	0	4.2	0.1	48	1.6	3.4	0	0	1	1.8	1.3	25.8	0.5	29.4	0	0	0	-	

ESTACION 84205

Me s	Año	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D1 0	D1 1	D1 2	D1 3	D1 4	D1 5	D1 6	D1 7	D1 8	D1 9	D2 0	D2 1	D2 2	D2 3	D2 4	D2 5	D2 6	D2 7	D28	D2 9	D30	D3 1		
1	2010	0.1	2.9	0	0	0.9	3.4	1.3	0	0	0.9	0.6	0	0.5	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
2	2010	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.6	0.7	9.2	1.1	0	0	0	0	0.1	10.5	1.8	0.9	0.3	-	-	-			
3	2010	0	0.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0	0	0	0	2.3	19.6	2	0	0.2	0	0	0	0	0			
4	2010	0	18.8	0	0	0	2.2	12.8	6.2	0	0	0.8	0	0	0	26.1	8.4	2.9	0	6.6	2.2	2.7	0	3.1	0	2.1	11.9	16.6	5.3	14.6	58.7	-		
5	2010	6.3	1	0	0	6.7	0	0	0	0	0.1	0.1	0	0	0.1	0	23.1	1.4	0.5	25.2	3.3	0	2.4	24.4	15.4	3.8	20.3	1.8	0	0.1	11	0.1		
6	2010	6.9	12.6	11.2	0	0.1	6.1	0.2	6.8	1	11.4	36.6	46.8	4.3	47.7	60.8	1.1	0	32.7	3.2	30.8	7.3	26.2	15.4	9.6	53.4	12.3	1.8	2.4	9.3	0.1	-		
7	2010	0	19.4	0.8	2.6	3.3	10.5	10.6	1	0	38.6	50.8	7.9	3.1	0.1	1.4	1.9	0.9	2.8	29.8	90.8	39	6.5	1.8	0	4	16.9	13.8	0.4	5.8	0.6	6.5		
8	2010	7.9	0.1	0	0.1	71.7	11.3	8.3	1.5	52.1	46.5	8.4	6.5	2.1	2.5	12.9	0.6	44.5	2.2	8.8	52.8	0.4	12.5	19.1	14.7	38	31.4	37.6	28.5	55.3	0	23.8		
9	2010	15.1	5	41.9	29.1	20.5	5.6	2.1	8.8	4.5	10.6	4.2	59.9	58.6	4.2	0.6	0.8	2.1	18.9	6.3	51.3	13.8	50.6	4.7	2.7	4.3	11.2	23.8	104.2	55.4	13.1	-		
10	2010	11.6	75.6	8.1	0.5	0	0	0	0	0.2	2.3	31.1	0.2	2.2	0	4.5	0.8	0.6	0.2	0	5.8	41.6	8.3	31.5	27.9	3.8	16.6	0	0.1	0	0.7	25.9		
11	2010	18.7	30.5	107.6	18.1	35.9	0	0	0	0	0.2	0	0	0	0	3.4	0.2	6.2	0	2.7	2.8	5.9	0.9	2.7	0.5	1	0.6	0	0	0	8.2	-		
12	2010	49.7	1.5	0	0	0	0.7	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15	0	0	0	0	0	0	0	1	2.2	0.3	0.5	14.3	0.6		
1	2011	0.7	15.4	4.5	0	0.6	2.6	0	0	0	0.3	8	3.5	5.4	2.7	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.3	3.6	0	0		
2	2011	0.1	0	0	0	0	0	6.8	0	18.4	0.1	0	12.3	6.2	0.6	0.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0.7	4.9	0.1	0	2.3	-	-	-		
3	2011	8.9	0	0	0	0	0	0	0	6.1	0.5	0	0	0	0	0	0	1	1.1	0	0	0	0	0	0	0	23.8	0.4	0	0	0	0		
4	2011	21.7	0	0.2	2.1	0	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	6.5	0.1	0.4	0	0	0	0	2.3	0.1	0.4	10.9	2.4	0.1	0	0	0	-		
5	2011	0.1	0	0	0.1	0	0	0.1	0	0	0.1	0	0	0	0.1	0	0.1	0	0	0.1	0	0.1	0	0.1	0.1	0.5	0.4	0.2	0.1	0.1	0.2	0.1		
6	2011	0.1	0.1	38.3	36	31	6	0.1	0	2.8	0.3	0	0.2	0	7.9	83.6	7.5	14.5	25.5	0.1	1.6	17.8	0	3.4	12.5	7.9	0.2	4.3	2.1	0.5	27.6	-		
7	2011	35.6	32.1	38.7	44.5	0.1	3.2	0	0.1	0	0	25	7.5	2.9	14.8	25.6	5.2	44.9	0.5	0	2.3	0.7	0.4	0	0	0	0	4.7	9.4	13.8	7.4	6		
8	2011	12.7	0.9	0	0	1.2	0.1	5	0.4	0	0.2	1.6	2.2	16.2	5.7	16	6.4	0.1	16.2	26.1	1.5	5.4	0.8	1.5	5.7	4.2	6.7	0.5	3.3	2.5	7.8	0		
9	2011	0.2	9.2	2.1	1.7	31	8.3	2.8	1	0	2.1	4.8	1.1	11.1	0.1	5	21	10.9	14.5	5.8	20.7	0.5	0	8.3	20.9	5.3	0	7.8	16.1	0	0	-		
10	2011																																	
11	2011																																	
12	2011																																	
1	2012																																	
2	2012	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.7	0	0	0	0	1.5	0.8	0	-	-		

7	2014	0	3.9	0	0	0	5.8	0	0.5	1.2	1.7	8.6	9	13.7	0	1.5	0	5.1	0.1	0	0	5.8	1.9	0.1	0	0.9	1.7	0.7	9.1	0.1	4.9	1
8	2014	4.5	0.1	1.1	8.8	0.1	0.2	0	15.6	1.5	0	0.8	0	0	0	0.3	0	1.3	1.5	10.3	16.6	0	0.4	4	50.6	0	0.3	28.2	5.2	0	20.8	0
9	2014	0	0.9	13.6	0.8	105.3	6.3	0.4	0	0.1	6.5	54.1	48.5	30.6	28.1	0.4	2.9	12.8	55.8	0												
2	2015																															
3	2015	0.3	0	0	0	0	0	0.4	0	0	0	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0.5	2.2	0	0	0	0	0	0	0
4	2015	0	0	0.6	0	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0	2.8	5	0.7	0	3.1	4.2	0	1	6.3	0.4	0.1	-	
5	2015	0.2	0.2	0.8	0	0	0	15.9	0	0	0	0	0.1	0	2.5	0	1.2	0	2.3	0.1	20.1	8.3	1.5	1	11	16.3	3.1	0.5	0	0	0	0

ANEXO 3
INFORMACION LITOLÓGICA DE POZOS

POZO	X	Y	PROFUNDIDAD	CAUDAL	NIVEL ESTÁTICO	NIVEL DINÁMICO	REJILLA	DESCRIPCION LITOLÓGICA
AB-1089	520059.	218223	165.00	72.45	72.20	96.20	86.4 - 103.6	0-22 m toba 22-59 m lava 59-111 m brecha lávica 111-139 m ignimbrita 139 -169.3 m lava y brecha lávica
AB-1132	521265	219545	245.00	9.50	150.00		200 - 245	0-12 m tobas 12-120 m Lavas de la Formación Barva 120 -136 m Tobas de la Formación Tiribí 136-180 m Lavas de la Formación Colima Superior 180 - 190 m Tobas -ignimbrita del Miembro Puente de Mulas 190-245 m lavas de la Formación Colima Inferior
AB-1670	522808	216883	245.00	NI	78.00		125-158 -235	0-26 m Capa de suelo vegetal -limoso/arcilloso 26-55 m Arenisca de grano medio a fino, semejante a un lahar, permeabilidad nula 55-218 m lavas fracturada , densa , buena permeabilidad 218 - 240 m paleosuelo arcilloso con tobas y depósitos piroclásticos 240 -245 m lavas fracturadas poco meteorizadas , niveles arcillosos , permeabilidad media.
AB-1875	522983	219545	244.00	72.50	154.83	158.86		0-18 m lavas 18- 60 m lavas y brechas 60-88 m lavas 88 -116 m lavas 116-124 m toba color rojizo poco permeable 124-130 m toba color amarillo poco permeable 130 -142 m toba color amarillo poco permeable 142- 152 m lavas color gris.

POZO	X	Y	PROFUNDIDAD	CAUDAL	NIVEL ESTÁTICO	NIVEL DINÁMICO	REJILLA	DESCRIPCION LITOLÓGICA
AB-2276	522910.	219250	181.00	5.00	154.59		161-164 166-169	<p>0-16 m Suelos arcillas y bloques semi meteorizados</p> <p>16-29 m Flujos lávicos, lavas andesíticas-basálticas. El núcleo de flujo se encuentra entre los 23 y 26 m, compacto y de alta dureza. Formación Barva</p> <p>29-32 m zona arcillificada , rojizas, Paleosuelo</p> <p>32-37 m Flujos lávicos andesíticos-basálticos</p> <p>31-41 m Piroclastos rojos , brechas volcánicas.</p> <p>41-45 m lavas blocosas, difícil de perforar.</p> <p>45-47 m Piroclastos rojizos</p> <p>47-87 m Lavas blocosas</p> <p>87-97 m Tobas arenosas . Estables, poco permeables</p> <p>97-104 m lavas andesíticas fracturadas buena permeabilidad</p> <p>104-114 m materiales piroclásticos tobas</p> <p>114-120 m lavas andesíticas, fracturadas, buena a muy buena permeabilidad zona estable , no hay agua .</p> <p>120-168 m Ignimbritas o tobas soldadas , gris a rojizas.</p> <p>168-172 m arenas y gravas sueltas, puede corresponder a productos de paleo canales , aparenta muy buena permeabilidad , bajo contenido de arcillas</p> <p>172-177 m lavas muy blocosas y sueltas</p> <p>177 -180 Lavas basálticas-andesíticas muy fracturadas.</p>
AB-478	523069	218412.	142.00	0.50	97.00	102.00		<p>0-21 Ceniza</p> <p>21-26 Toba</p> <p>26-40 Lava</p> <p>40-44 Toba</p> <p>44-62 Lava</p> <p>62-76 Lava</p> <p>76-80 Ignimbrita</p> <p>80-90 Lava</p>

POZO	X	Y	PROFUNDIDAD	CAUDAL	NIVEL ESTÁTICO	NIVEL DINÁMICO	REJILLA	DESCRIPCION LITOLÓGICA
AB-520	520689.	217387.	76.00	0.50	43.59	51.00	12-adelante	0-26 ignimbrita 26-46 Brecha Lava 46-62 Toba
AB-647	519800.	218750.	99.00	0.50	83.82		94-99	0-7 Ceniza 7-15 Toba 15-25 Ignimbrita 25-36 Toba 36-65 Toba 65-77 Toba 77-99 lava
AB-832	519830.	219512.	128.00	0.50	105.58		103 a 127 m	0-16 Arcilla 16-26 Lava 26-41 Toba 41-70 Toba 70-82 Toba caótica 82-109.7 Ignimbrita 109.7-127 Lava

POZO	X	Y	PROFUNDIDAD	CAUDAL	NIVEL ESTÁTICO	NIVEL DINÁMICO	REJILLA	DESCRIPCION LITOLÓGICA
AB-951	519750.	218590.		NI	86.19			<p>0-13 Toba Lítica de color café 13-43 Lava Sana 43-48.5 m Toba marrón 48.5-58 m Lava brechosas 58-77 m Ignimbrita-toba lítica 77-121 Lava negra vesicular variando de densa a fracturada 121-143 Toba lítica de color café 143-182 Lava 182-203 m Ignimbrita 203-208 m Lava densa</p>
BA-474	524347	221253	200.00	7.00	148.00		155-185	<p>0-17 m suelos orgánicos 17-25 m flujos lávicos 25-30 m lavas duras y fracturadas 30-51 m lavas escoréacea 51-74 m lavas brechosas y en parte masivas 74-91 m tobas de coloración clara 91-100 m lavas muy fracturadas y escoréacea 100-108 m lavas muy fracturadas y escoréacea , inestables 108-122 m lavas fracturadas zona inestable , 122-132 m lavas fracturadas 132 -147 m material suave tobas e ignimbritas 147-197 lavas andesíticas , fracturas 197-200 m lavas brechosas .</p>

POZO	X	Y	PROFUNDIDAD	CAUDAL	NIVEL ESTÁTICO	NIVEL DINÁMICO	REJILLA	DESCRIPCION LITOLÓGICA
BA-500	525624	222803	180.00	10.00	138.00		90-100 137-157	<p>0-16 m suelos orgánicos y lahares 16-23 m lavas meteorizadas 23-29 m lavas compactas , color gris sanas 29-38 m lavas escoréacea y brechosas 38-42 m paleosuelo arcilla gris 42-67 m lavas brechosas fracturadas , 67-77 m lavas compactadas color gris sanas 77-86 m lavas y brechosas aporte de agua 68-91 m lavas compactas color gris sanas 91-102 m lavas y brechosas 105-120 tobas e escoréas volcánicas 120 -132 m zona arcillificada poco consistente 132 - 144 m tobas e ignimbritas con escoréas volcánicas 144-157 m lavas muy fracturadas , aporte de agua 157-162 m lavas compactadas sanas algo fracturadas 162-173 m tobas e ignimbritas suaves al corte 173-180 m lavas fracturadas</p>

POZO	X	Y	PROFUNDIDAD	CAUDAL	NIVEL ESTÁTICO	NIVEL DINÁMICO	REJILLA	DESCRIPCION LITOLOGICA
BA-506	522296	221224	200.00	17.00	172.00		95-193	<p>0-14 m suelo orgánico a rocas meteorizadas arcillas 14-27 m flujos lávicas partes brechosas 27-32 m zona arcillificada color rojizo , paleosuelos 32-51 m tobas - arenosas 51-68 m lavas andesíticas fracturadas , masivas 68 -74 m lavas base de flujos lávicos andesíticos 74-77 m zona arcillosa rojiza paleosuelos 77-101 m flujos piroclásticos gris 101-106 m lavas 106-133m tobas 133-137 m zona arcillificada 137-143 m tobas e ignimbritas 143-151 m ignimbritas a tobas 151-159 m tobas lapilli y arenosas 159-182 m lavas andesíticas , brechosas y fracturadas 182-200 m brechas lávicas color rojizo .</p>

POZO	X	Y	PROFUNDIDAD	CAUDAL	NIVEL ESTÁTICO	NIVEL DINÁMICO	REJILLA	DESCRIPCION LITOLÓGICA
BA-587	522274.	221222.	350.00	50.44	171.80	179.15	207-232.94 237.99-263.1 269.1-294.04 300.04- 325.15 331.15- 343.69	0-12 m tobas arcillosas de color amarillo 12-16 m lava meteorizada 16-20 m lava rojiza 20-48 m lava color gris , densa 48-100 m lava color gris un poco dura 100-130 m toba lítica , color café claro 130-154 m lgnimbrita , color gris poco permeable 154-157 m lava color gris 157-199 m lava color gris 199-204 m lava 204-210 m material rojizo tipo tobas con partes calcinadas 210-238 m lavas 238 -240 m toba arcillosa 240-298 m lavas porosas permeables 298 -316 m lavas porosas 316 - 326 m tobas arcillosas poco permeables 326-336 m lavas porosas 336-344 m tobas 344-350 lavas
BA-607	524800.	220950.	80.00	3.50	56.00	58.40	58-80	0-15 m arcilla de color café claro , posiblemente meteorización de Fm Barba 15-80 m lavas masivas, dureza, de color gris, tramos fracturados, la permeabilidad es aparente es alta, Colima , Miembro Linda Vista

POZO	X	Y	PROFUNDIDAD	CAUDAL	NIVEL ESTÁTICO	NIVEL DINÁMICO	REJILLA	DESCRIPCION LITOLÓGICA
BA-710	5205000	220400	85.00		58.00	65.00	50-85	0-15 Arcillas 15-60m volcánicos, gruesos, con tobas , piroclastos meteorizados 60-85 m Lavas , de color rojizo a gris, dureza media, permeabilidad aparente alta .
BA-897	526369	221716	284.00	40.00	258.50	Abatimiento de 1,2 m	186-192 223 -272 277-283	0-18 m cenizas arcillosas con fragmentos de lavas 18- 31 m lavas duras 31- 81 m lavas gris 81-92 m tobas rojizas 92- 123 m lavas gris con capas delgadas arcillosas 123-149 m lava gris fracturada 149 - 157 m toba rojiza 157- 167 lavas gris fracturada 167- 174 m tobas e ignimbritas 174 - 250 m lavas andesíticas fracturadas 250 - 263 m ignimbritas 263 - 274 lavas compactas con fracturadas 274 . - 277 m tobas e ignimbritas 277-284 m lavas andesíticas fracturadas

POZO	X	Y	PROFUNDIDAD	CAUDAL	NIVEL ESTÁTICO	NIVEL DINÁMICO	REJILLA	DESCRIPCION LITOLÓGICA
BA-925	523705	221040	215.00		122.00		175-187	<p>0-9 m arcillas</p> <p>9- 44 lavas con secciones brechosas en los extremos y densas en parte media , son de color gris ,</p> <p>44- 48 zona de falla en las lavas , con arcillas espejos de falla , arcillas de color rojizo y de roca dura.</p> <p>48- 55 m lavas andesíticas de color gris fracturada</p> <p>55 - 58 arcillas de color café , paleosuelo, plástica y cohesiva, posible toba muy meteorizada ,</p> <p>58-116 lavas andesíticas de color azul</p> <p>116-120 arcilla color café oscuro</p> <p>120 - 124 colada de lava andesítica basáltica</p> <p>124 - 130 toba lítica de color café claro</p> <p>130 -163 m lavas andesíticas basálticas , color gris azulado, permeabilidad aparente buena</p> <p>163- 168 toba color café y oscuro ,</p> <p>168 -181 m ignimbrita de color negro ,</p> <p>181-199 lavas andesíticas color gris , permeabilidad aparente disminuye</p> <p>199-215 ignimbrita color gris oscura , escorias volcánicas, con fragmentos de lavas andesíticas basálticas</p>