

**METODOLOGÍA GENERAL PARA ELABORACIÓN DE
LOS ESTUDIOS HIDROGEOLÓGICOS PARA LOS
PLANES REGULADORES**

**FASE 1
DIAGNÓSTICO HIDROGEOLÓGICO**

INFORME

CANTÓN
SAN ISIDRO DE HEREDIA

AÑO 2017

Responsabilidad profesional

En cumplimiento del artículo 8 de la Ley Orgánica del Colegio de Geólogos sobre estudios hidrogeológicos la suscrita Tatiana Carmona Madrigal, cédula 4-0197-0934, Geóloga graduada de la Universidad de Costa Rica, incorporada al Colegio de Geólogos de Costa Rica código C.G.C.R. N°396, es responsable del contenido del Estudio: Diagnóstico de la Información Hidrogeológica, fase inicial de la Metodología General para la Elaboración de los Estudios Hidrogeológicos para planes reguladores, realizado a petición la Municipalidad de San Isidro de Heredia, cédula Jurídica: 3-014-042093, para su respectivo trámite ante la Secretaría Nacional de Riego y Avenamiento.

Lic. Tatiana Carmona Madrigal

CGCR N° 396

Cédula 4-0197-0934

Tabla de Contenido

Responsabilidad profesional.....	2
1. Diagnóstico Hidrogeológico.....	5
1.1 Introducción.....	6
1.2 Archivos de Pozos.....	8
1.3 Archivos de Nacientes.....	13
1.4 Parámetros de suelos.....	15
1.5 Pruebas de infiltración.....	16
1.6 Información meteorológica.....	18
1.7 Geología.....	22
1.8 Hidrogeología.....	33
1.9 Geofísica.....	36
2. Valoración de la información recopilada.....	38
3. Diagnóstico de la información.....	42
4. Propuesta de los estudios hidrogeológicos para elaboración del modelo hidrogeológico, vulnerabilidad y recarga acuífera.....	45
4.1 Delimitación de la zona de estudio.....	45
4.2 Definición de unidades hidrogeológicas, basado en criterios litológicos.....	45
4.3 Definición de la vulnerabilidad y riesgo.....	49
4.4 Zonas de protección de fuentes de agua.....	50
5. Referencias.....	53

Figuras

Figura 1. Mapa de distribución administrativa, principales ríos y carreteras del cantón de San Isidro de Heredia.....	7
Figura 2. Mapa de ubicación de pozos registrados en el cantón de San Isidro de Heredia.....	9
Figura 3. Mapa de ubicación de nacientes para el cantón de San Isidro de Heredia.	14
Figura 4. Mapa de distribución de sitios de muestreo de los suelos y pruebas de infiltración en el cantón de San Isidro de Heredia.	17
Figura 5. Mapa de ubicación de estaciones climáticas cerca del cantón de San Isidro de Heredia.....	21
Figura 6. Mapa Geológico Regional para el cantón de San Isidro de Heredia (Fuente: Echandi, 1981)....	28
Figura 7. Mapa Geológico Local para el cantón de San Isidro de Heredia.	32
Figura 8. Sección vertical de las unidades Hidrogeológicas.	34
Figura 9. Mapa Hidrogeológico regional para el cantón de San Isidro de Heredia.....	35
Figura 10. Mapa de ubicación de estudios geofísicos realizados en el cantón de San Isidro de Heredia.	37
Figura 11. Esquema de requerimientos técnicos utilizados en la elaboración de la propuesta hidrogeológica.	42
Figura 12. Mapa diagnóstico de la información para el cantón de San Isidro de Heredia.	43
Figura 13. Mapa de propuesta para realizar estudios hidrogeológicos para el cantón de San Isidro de Heredia.....	44
Figura 14. Esquema que ilustra la consecución de las diferentes actividades para la obtención del mapa de Recarga Potencial.....	48

Cuadros

Cuadro 1. Tabla de datos de pozos registrados en la base de datos del, AyA, MINAE y SENARA.....	10
Cuadro 2. Tabla de registro de nacientes para el cantón de San Isidro de Heredia.....	13
Cuadro 3. Características físicas principales de los suelos en el sitio de estudio.	15
Cuadro 4. Resultados de pruebas de infiltración realizadas por el método del infiltrómetro de doble anillo (muntz) en el cantón de San Isidro de Heredia.	16
Cuadro 5. Datos de la estación meteorológica Santa Lucía de Heredia, período 1982-2012.....	19
Cuadro 6. Datos de la estación meteorológica Santa Josecito de Heredia, período 1971-2009.....	19
Cuadro 7. Datos climáticos de precipitación de las estaciones meteorológicas Zurquí (período 1971 al 1995) y Monte de la Cruz (período 1967 al 2005).....	20
Cuadro 8. Síntesis de la volcano-estratigrafía para la región de estudio. (Fuente: Arredondo & Soto (2006) – Echandi (1981).....	23
Cuadro 9. Volcanoestratigrafía y su relación con las unidades hidrogeológicas para la parte norte de subcuenca Virilla. (Fuente: Modificado de Arredondo 1994).	33
Cuadro 10. Ubicación de los sondeos eléctricos verticales realizados en el cantón.	36
Cuadro 11. Análisis de la información recopilada para la fase de Diagnóstico Hidrogeológico.	39
Cuadro 12. Resultados a obtener en el desarrollo de las actividades del modelo hidrogeológico.	51

1. Diagnóstico Hidrogeológico

Cómo fase inicial del proceso de elaboración del Estudio Hidrogeológico para el plan regulador del cantón de San Isidro de Heredia es necesario realizar una investigación que recopile aquellos estudios de carácter geológico, hidrogeológico, hidrológico, y de suelos, que coadyuven a la elaboración del modelo hidrogeológico del cantón.

La modelación consiste en encontrar una descripción coherente de un medio (acuífero), que explica el funcionamiento de este medio. Para poder conocer los componentes y establecer un modelo hidrogeológico conceptual es necesario:

- El conocimiento a detalle de la Geología, dado que son las formaciones geológicas quienes contienen y almacenan el agua subterránea.
- Información y datos hidrogeológicos que permiten conocer la dinámica, distribución y comportamiento del flujo subterráneo.
- Conocimiento de la hidrología de superficie que permitirá obtener información de las acciones externas (recarga, interacción río-acuífero, etc.).
- Comprobación de la coherencia del modelo conceptual planteado con los datos obtenidos.

Ya establecido el modelo hidrogeológico, debemos reconocer la interacción entre el medio subterráneo y la superficie por medio de la vulnerabilidad a la contaminación, esto de acuerdo a las características intrínsecas de la zona no saturada, donde se verifica la probabilidad de que impactos negativos por causa de actividades antrópicas afecten las fuentes de abastecimiento.

A continuación, se describe la información existente en el cantón de San Isidro de Heredia como parte del diagnóstico hidrogeológico, toda la información viene tabulada en cuadros y posteriormente representada en mapas escala 1:30 000, se utiliza como referencia el sistema coordinado Lambert Norte y la base topográfica de la hoja Barva 1:50 000.

1.1 Introducción

San Isidro es el cantón número 6 de la provincia de Heredia su área es de 26,423 km². Administrativamente se subdivide en cuatro distritos: San Isidro, San Josecito, Concepción y San Francisco, los cuales se ubican en las coordenadas planas de la proyección Transversal de Mercator (CRTM-05) 491000E/1106000N y 499000E/1113000N, hoja topográfica Barva del Instituto Geográfico Nacional de Costa Rica (Figura 1).

Entre sus rasgos más representativos tenemos:

- El sistema fluvial que divide el cantón en 2 microcuencas, Pará hacia el este y Tibás hacia el oeste.
- El clima, el cual se ve influenciado por la depresión topográfica La Palma, ubicada hacia el NE del cantón. Constituye la principal entrada de vientos alisios y precipitaciones hacia el Valle Central Occidental, esto genera un microclima en las partes altas, confiriendo un carácter muy lluvioso a la zona (Herrera, 1985).
- Los cerros ubicados hacia el norte (Complejo Volcánico Zurquí) que constituyen el límite meridional del Parque Nacional Braulio Carrillo.
- La zona de conservación amparada por la ley número 65, conocida como Zona Inalienable de 1888 ubicada en la cima de los cerros Zurquí.
- Con respecto a la distribución del recurso hídrico para abastecimiento la Empresa de Servicios Públicos de Heredia (ESPH) es el ente de mayor cobertura y mayor cantidad de abonados (5789 abonados), seguido por la Asociación Acueducto Rural Puente Tierra de Concepción de San Isidro de Heredia (320 abonados) y la Asociación administradora del acueducto y alcantarillado del Residencial Zurquí de San Josecito de San Isidro de Heredia (250 abonados).

La figura 1 muestra la distribución administrativa, los principales ríos, quebradas y carreteras del cantón.

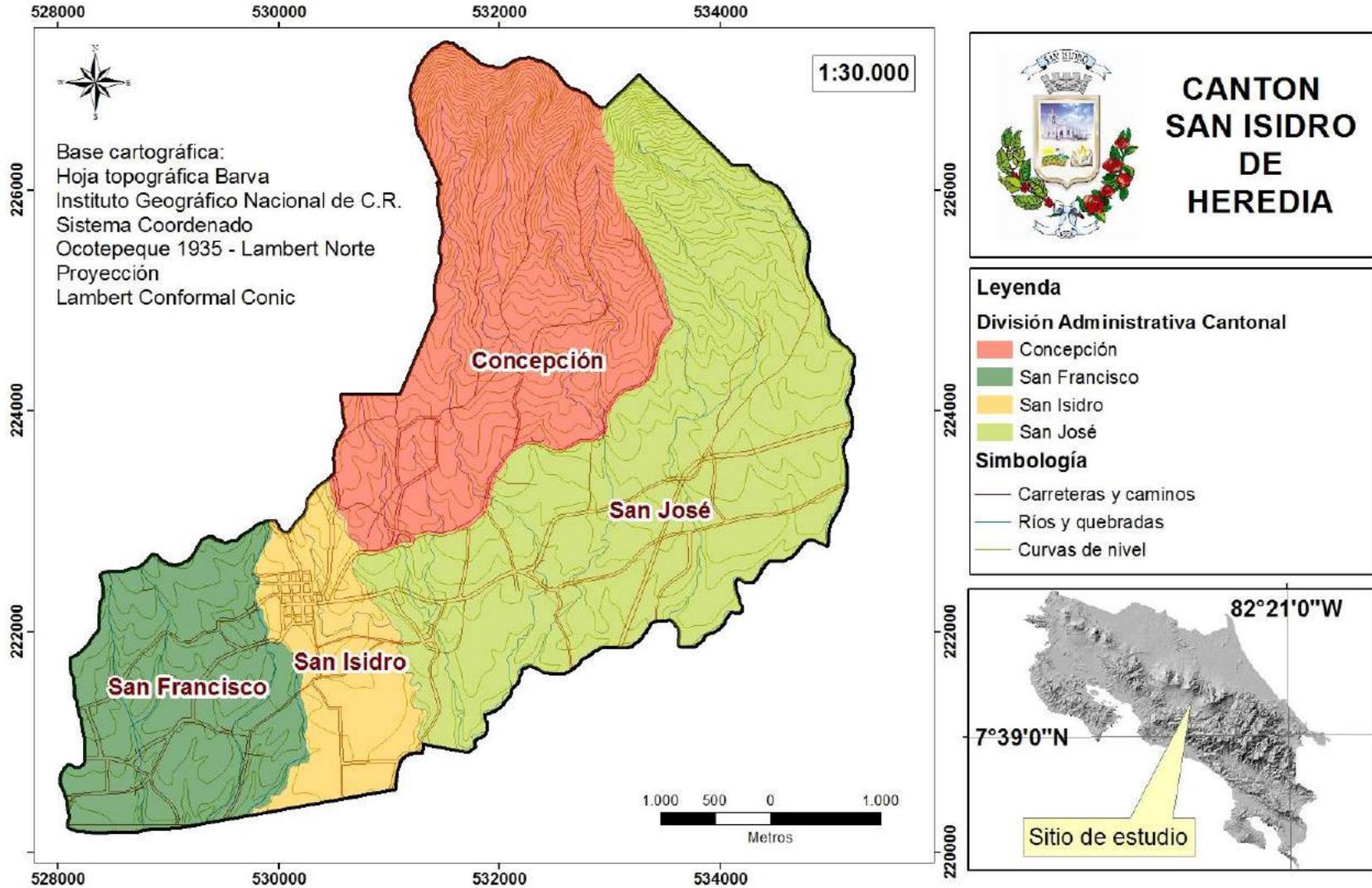


Figura 1. Mapa de distribución administrativa, principales ríos y carreteras del cantón de San Isidro de Heredia.

1.2 Archivos de Pozos

El cantón de San Isidro de Heredia cuenta con la información de 60 registros de pozos existentes en la base de datos de MINAE. De estos 1 pertenece al Instituto de Acueductos y Alcantarillados, 1 a nombre de la Empresa de Servicios Públicos de Heredia, los restantes 58 son concesiones para aprovechamiento a nombre de personas físicas y jurídicas, la figura 2 muestra la distribución de los pozos perforados en el cantón de San Isidro de Heredia.

Los principales usos que se le dan al agua son el doméstico y el riego, donde los caudales de extracción no sobrepasan el litro por segundo, los pozos que reportan caudales importantes (> 5 l/s) son los utilizados para abastecimiento público (AyA, ESPH).

Del total de estos pozos el 64% son inferiores a los 100 m de profundidad y se ubican principalmente hacia el NE del cantón. El 19% corresponde con profundidades entre los 100 a 200 m y el 17% restante con profundidades superiores a los 200 m.

Existe vacíos de información que corresponden con áreas no perforadas o que no se encuentran inscritas en la base de datos de MINAE.

El cuadro 1 muestra la datos registrados en los informes de pozos, donde se detalla, ubicación, altura, propietario, profundidad reportada, si presentan descripción litológica, características de la columna de agua, nivel estático y dinámico, caudal de extracción, parámetros hidráulicos y armado del pozo.

Es importante indicar que muchos de los parámetros no se encuentran en los datos tabulados en el cuadro 1, esto debido a que sólo se incluye la información contenida en los informes de perforación de cada pozo.

Cuadro 1. Tabla de datos de pozos registrados en la base de datos del, AyA, MINAE y SENARA.

Pozo	Longitud	Latitud	Altura	Propietario	Profundidad	Litología	Nivel estático	Nivel dinámico	Armado	Caudal	Uso	Abatimiento Δ S (m)	Transmisividad (m ² /día)
BA0004	532545	221776	1307,2	IMPORT.TEXTIL ALBATROS S.A.	50	No	0	0		1	DOMESTICO		
BA0019	529900	222900	1382	ARTURO VILLALOBOS	9	No	1,6	0		0,5	DOMESTICO		
BA0020	530100	222500	1359,3	CARLOS VILLALOBOS GARCIA	7	No	2,1	0		0,2	DOMESTICO		
BA0021	530300	222400	1360	ARTURO VILLALOBOS	25	No	SECO	0		SECO	DOMESTICO		
BA0022	529900	222000	1320,5	JOAQUIN CHACON ARCE	9	No	1,1	0		0,5	DOMESTICO		
BA0023	530000	222000	1328,1	JOAQUIN CHACON ARCE	9	No	1,8	0		0,5	DOMESTICO		
BA0058	533700	225000	1514,3	GANADERA MONTE BUENO S.A.	64	Si	23	53		1	AGROINDUSTRIAL	30	0,97
BA0073	528300	220900	1269,3	AYA	181	Si	0	0		9,5	ABAST. PUBLICO		
BA0156	528750	222300	1378,6	DELFIN, S.A.	0	No	0	0		0,5	DOMESTICO		
BA0186	532800	223350	1387	MARIO JORGE CHAVEZ	0	No	0	0		0,5	DOMESTICO		
BA0196	530100	221200	1291,8	QUINTA LAS QUEBRADAS	70	No	SECO	0		SECO	ABAST. PUBLICO		
BA0232	530700	224050	1440,8	INVERSIONES OCHENTA, S.A.	50	No	0	0		0,5	DOMESTICO		
BA0270	533150	223450	1402,9	GEORGE PETTENGILL	45	Si	10,1	0		0,5	DOMESTICO	-	-
BA0337	532900	225800	1699,2	FILIOLA, S.A.	0	No	0	0		0	INDUSTRIAL		
BA0352	533775	223500	1406,9	TRANSPORTES ALVARADO	0	No	0	0		0,5	DOMESTICO		
BA0372	532500	226200	1767,4	LORENA CRUZ MONTEALEGRE	0	No	0	0		0,5	DOMESTICO		
BA0393	530500	222100	1340,3	DESARROLLOS ISIDREÑOS, S.A.	0	No	0	0		0,5	DOMESTICO		
BA0458	533350	223100	1388,3	VIVERO ZAMORANO S.A.	65	No	8,3	56		0,9	RIEGO	48	1,8
BA0485	532440	222040	1309,2	INVERSIONES GRUPO CINCO	40	No	1,4	29,9		0,6	DOMESTICO	29	2,1

BA0492	531500	222100	1320,9	HELECHOS SAN ISIDRO HDIA.	270	Si	200	0		0	URBANISTICO	-	-
BA0510	532500	221900	1319,3	SUMAG CENTROAMERICANA S.A.	43	Si	26,7	0		0,8	DOMESTICO	9	8,1
BA0514	532000	225025	1602,9	BALLESTA S.A.	60	Si	27,6	53,6	TUB. 0-36, 52-54, 57-60; REJ. 36-52, 54-57	0,2	DOMESTICO	26,08	0,2
BA0515	531935	224875	1577,5	GUANO S.A.	30	Si	13	0		0,1	DOMESTICO		
BA0516	531960	224769	1559,4	GUANO S.A.	30	Si	15,8	0		0,4	DOMESTICO		
BA0534	533700	225200	1548,3	WARD MELBY	30	Si	9	0		0,1	DOMESTICO		
BA0575	534850	223500	1417,2	SANTA MORALES GONZALEZ	40	Si	8,1	37,5		0,2	DOMESTICO	29,4	
BA0579	532500	223500	1384,3	ANANMA S.A.	0	No	0	0		0,5	DOMESTICO		
BA0580	534550	223600	1416,8	VILLA ILUSION DE SANTA ELENA	54	Si	2,8	45,8		1	DOMESTICO	43	1,2
BA0594	534950	223600	1419,1	SANTA MORALES GONZALEZ	45	Si	16	0	TUB. 0-12; 18-39; REJ. 12-18, 39-45	0,5	DOMESTICO		
BA0595	531576	222780	1366	ROY VARGAS VARGAS	45	Si	7	42		0,3	DOMESTICO	35	0,9
BA0599	531500	223400	1412,4	BETTI VIVIANA ROMERO SALAZAR	65	Si	0	0		0,5	DOMESTICO	-	-
BA0601	532635	223785	1431,4	ALFREDO Y ARMIN CAMPOS V.	0	No	0	0		0,5	DOMESTICO		
BA0602	531810	224450	1532	RODRIGO CORRALES SOTO	0	No	0	0		0,5	DOMESTICO		
BA0611	531000	221900	1309,4	E.S.P.H. SANTA CRUZ	243	Si	164,5	0	TUB 0,00-171,60; 210,00-216,00;227,00-235,00 REJ 171,60-210,00; 216,00-227,00	40	ABAST. PÚBLICO	-	-
BA0637	532625	223920	1451,3	ROGER HOPPER	79	No	61	0		0,5	DOMESTICO	-	-
BA0651	532150	224840	1568,5	SEPIC S.A.	50	Si	3,5	9	TUB. 0-20, 26-38; REJ. 20-26, 38-50	1	DOMESTICO	5,5	
BA0693	531750	224800	1579,4	AGRICOLA MONTE TURU S.A.	50	No	0	0		1	AGROINDUSTRIAL		
BA0694	534050	225150	1530	INVERSIONES WEPA S.A.	66	Si	18	0	TUB. 0-42, 63-66; REJ. 42-63	0,5	DOMESTICO	-	-
BA0701	531800	224920	1580,6	CENTRO INTERACCION CULTURAL	50	Si	39	47	TUB. 0-41; REJ. 41-50	0,5	DOMESTICO	8	
BA0739	534800	224400	1488,6	JULIO FERNANDEZ AMON	43	Si	9	0	TUB. 0-12; REJ. 12-39,27	1	DOMESTICO	-	-
BA0741	532240	222260	1308,8	GRANJA PORCINA GRETTEL, S.A.	150	No	0	0		2	INDUSTRIAL		

BA0742	531150	224100	1455,8	INVERSIONES STEWER, S.A.	407	Si	51	0	TUB. 0-73,6, 85,8-91,9; REJ. 73,6-85,8, 91,9-98	0,5	DOMESTICO	-	-
BA0744	532600	224330	1471,5	INVER.DOMINGUEÑAS S.A.	35	Si	9,8	27		0,3	DOMESTICO	17,2	5,1
BA0746	534590	223210	1383,6	LUIS ROJAS GOZALEZ	50	No	0	0		1	DOMESTICO		
BA0751	530785	223700	1420	LORENO ROCCHI & KATHLEEN O	70	No	0	0		2	DOMESTICO		
BA0753	534900	223500	1410,4	VICTOR EDUARDO DENGO BONILLA	40	Si	8,1	37,5		0,2	DOMESTICO	29,4	
BA0754	531630	223760	1440	CARISA MIA S.A.	30	Si	7,7	21,4	TUB. 0-13; REJ. 13-30	0,2	DOMESTICO	14	1,4
BA0756	531225	224250	1476,2	INVERSIONES STEWER, S.A.	125	Si	SECO	0		SECO	DOMESTICO	-	-
BA0770	533250	224500	1505,8	JORGE FALCONE AMADOR	80	No	0	0		1	RIEGO		
BA0771	533350	225150	1556,5	MANRESA INTERNACIONAL S.A.	80	No	0	0		1	RIEGO		
BA0772	531575	223150	1389,9	JORGE A. SANCHEZ VINDAS	50	Si	4	41	TUB. 0 -10; REJ. 10-50	0,8	RIEGO	37	2
BA0774	532600	224150	1469,4	LA GRUTA DE MARIA LTDA.	35	Si	11	18,1	TUB. 0-13; REJ. 13-35	0,3	DOMESTICO	7	4,3
BA0783	533250	224100	1452,6	RODILU S. A.	50	No	1	0		0,3	VARIOS	-	-
BA0819	532640	224440	1481,7	CIA.MAGNOLIA ESTRELLADA S.A.	35	Si	5	11	TUB. 0-12; REJ. 12-35	0,8	DOMESTICO	6	13,3
BA0830	530650	223900	1442,4	EL INTERNACIONAL S.A.	220	No	0	0		1	DOMEST-RIEGO		
BA0834	532760	223819	1429,3	MARIETA CASTILLO ROJAS	41	Si	3	38	TUB. 0-30; REJ. 30-41	0,4	DOMEST-RIEGO	35	1,4
BA0847	532600	224800	1541	BANCO IMPROSA S.A.	70	Si	0	0		0,5	DOMEST-RIEGO		
BA0863	533233	224275	1467,3	CRIADERO Y ADIESTRAMIENTO VI	65	Si	26	0	TUB. 0-49,4, 61,4-65; REJ. 49,4-61,4	0,5	DOMESTICO	-	-
BA0877	531704	223326	1395,4	PUERTO VIEJO DE AYER S.A.	48	Si	12	43	TUB. 0-12; REJ. 12-48	0,5	DOMEST-RIEGO	31	1,6
BA0905	531406	223750	1440	CARMELA AITA VAGLIO	70	No	0	0		1	URBANISTICO	-	-

1.3 Archivos de Nacientes

El cantón de San Isidro de Heredia se caracteriza por poseer manantiales con caudales inferiores al litro por segundo, estas surgencias se dan en zonas topográficamente bajas, donde existe contacto de materiales con diferentes propiedades hidráulicas. A continuación, se detalla un listado de las nacientes encontradas en el cantón de San Isidro en un inventario hecho por funcionarios de la Empresa de Servicios Públicos de Heredia. La figura 3 muestra la distribución a nivel cantonal.

Cuadro 2. Tabla de registro de nacientes para el cantón de San Isidro de Heredia.

Número	Longitud	Latitud	Propietario	Caudal (l/s)	USO
1-N	533500	224900	A.D.I. De concepción de San Isidro de Heredia	0,79	DOMESTICO
2-N	533300	224700	BAJO EL TOMASITO	< 1	
3-N	531550	225600	Corporación Agroindustrial del Caribe SA	0,15	TURISTICO
4-N	534300	224200	Flores y Plantas Centroamericanas S.A.	0,96	RIEGO
5-N	531400	222750	Ligia Flores Guevara	0,02	DOMESTICO
6-N	531400	222750	SIN NOMBRE	< 1	-
7-N	532800	224900	SIN NOMBRE	< 1	-
8-N	533300	224900	SIN NOMBRE	< 1	-
9-N	534300	224150	SIN NOMBRE	< 1	-
10-N	534300	224200	SIN NOMBRE	< 1	-
11-N	534525	224075	SIN NOMBRE	< 1	-
12-N	534600	223840	SIN NOMBRE	< 1	-
13-N	534650	223850	SIN NOMBRE	< 1	-
14-N	531450	222750	SIN NOMBRE	< 1	-
15-N	532305	222900	SIN NOMBRE	< 1	-
16-N	532350	222800	SIN NOMBRE	< 1	-
17-N	533705	223200	SIN NOMBRE	< 1	-
18-N	533800	222300	SIN NOMBRE	< 1	-
19-N	533800	223000	SIN NOMBRE	< 1	-
20-N	534655	223855	SIN NOMBRE	< 1	-
21-N	534705	223200	SIN NOMBRE	< 1	-

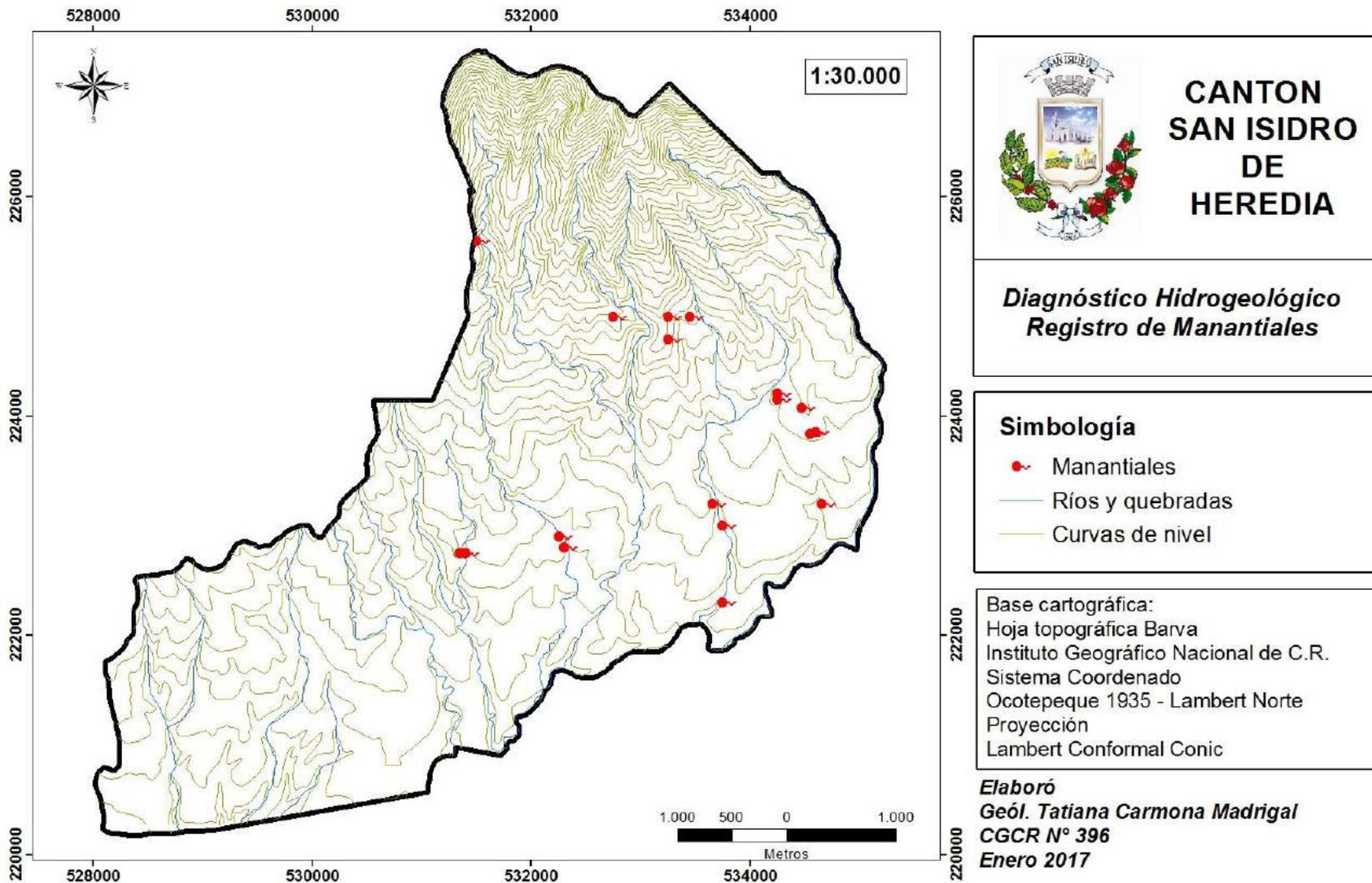


Figura 3. Mapa de ubicación de nacientes para el cantón de San Isidro de Heredia.

1.4 Parámetros de suelos

Se cuenta con un muestreo de 14 puntos en todo el cantón, los resultados de los análisis físicos se describen en el cuadro 3 y se muestra su distribución en el cantón en la figura 4 (Carmona, 2016).

Cuadro 3. Características físicas principales de los suelos en el sitio de estudio.

Muestra	Longitud	Latitud	Fecha	% Arena	% Limo	% Arcilla	Textura	0,33	15,0	Porosidad	D. aparente
S-1	497292	1110223	sep-14	52	26	22	F. arcilloso arenoso	24,81	17,56	48,88	1,14
S-2	497186	1110490	sep-14	52	28	20	F. arcilloso arenoso	23,09	16,14	48,44	1,16
S-3	494122	1106510	ene-15	46	28	26	F. arcilloso arenoso	37,46	21,33	48,69	0,98
S-4	497458	1108625	ene-15	34	32	34	F. arcilloso	38,04	22,09	46,56	1,01
S-5	496442	1107622	ene-15	32	32	36	F. arcilloso	37,85	21,97	49,48	0,97
S-6	492682	1106448	ene-15	32	32	36	F. arcilloso	35,69	21,45	47,98	1,03
S-7	494188	1108875	ene-15	44	32	24	Franco	32,88	20,35	47,78	1,06
S-8	495362	1109605	ene-15	30	24	46	Arcilla	40,65	22,87	47,59	0,98
S-9	495759	1109081	ene-15	32	24	44	Arcilla	41,39	22,64	47,76	1,05
S-10	495679	1111395	ene-15	54	12	34	F. arcilloso arenoso	34,72	21,39	49,48	0,98
S-11	495052	1106437	ene-15	30	34	36	F. arcilloso	37,44	22,08	48,73	1,01
S-12	499215	1108291	feb-15	32	34	34	F. arcilloso	39,21	21,75	48,58	1,09
S-13	496096	1105229	feb-15	28	20	52	Arcilla	42,96	21,89	49,33	1,14
S-14	493422	1107498	feb-15	30	34	36	F. arcilloso	31,53	20,01	53,03	0,93

1.5 Pruebas de infiltración

Se cuenta con un total de 24 valores de infiltración, 4 realizadas por González *et al.*, (2015), 7 por Ramos (2001) y 13 por Carmona (2016). La figura 4 muestra su distribución.

Cuadro 4. Resultados de pruebas de infiltración realizadas por el método del infiltrómetro de doble anillo (muntz) en el cantón de San Isidro de Heredia.

Código	Longitud	Latitud	Fecha de realización	Infiltración (m/día)	Infiltración (m/s)	Clasificación de la permeabilidad
Carmona – N° 1	1110123,37	497487,32	Jun-14	0,84	9,81E-06	Baja
Carmona – N° 2	1110652,9	496975,86	Set - 14	0,21	2,49E-06	Baja
Carmona – N° 3	1106673,01	493911,76	Ene-15	3,76	4,36E-05	Media
Carmona – N° 4	1108787,61	497247,95	Ene-15	3,39	3,93E-05	Media
Carmona – N° 5	1107784,64	496231,92	Ene-15	0,52	6,02E-06	Baja
Carmona – N° 6	1106610,48	492471,69	Ene-15	3,08	3,57E-05	Media
Carmona – N° 7	1106600,06	494841,69	Ene-15	4,56	5,28E-05	Media
Carmona – N° 8	1108453,8	499004,62	Feb-15	5,43	6,29E-05	Media
Carmona – N° 9	1105391,98	495885,46	Feb-15	1,54	1,78E-05	Media
Carmona – N° 10	1107660,73	493211,77	Feb-15	3,01	3,49E-05	Media
Carmona – N° 11	1107447,53	490476,53	Nov-14	7,69	8,90E-05	Media
Carmona – N° 12	1109729,95	495940,91	Abr-15	0,95	1,10E-05	Baja
Carmona – N° 13	1108398,5	494419,53	May-16	3,23	3,73E-05	Media
Gonzáles N° 1	1107808,85	492119,91	Ene-15	4,39	5,09E-05	Media
Gonzáles N° 2	1109652,5	493454,81	Ene-15	0,74	8,61E-06	Baja
Gonzáles N° 3	1110990,36	494579,19	Ene-15	7,22	8,37E-05	Media
Gonzáles N° 4	1109969,31	499494,18	Abr-15	3,27	3,80E-05	Media
Ramos N° 1	1109214,59	495314,39	-	6,15	7,12E-05	Media
Ramos N° 2	1108690,06	499723,88	-	4,4	5,09E-05	Media
Ramos N° 3	1108212,43	497413,37	-	2,48	2,87E-05	Media
Ramos N° 4	1107242,54	497302,38	-	3,45	3,99E-05	Media
Ramos N° 5	1107254,8	495092,38	-	0,43	4,98E-06	Baja
Ramos N° 6	1105604,69	495190,69	-	0,53	6,13E-06	Baja
Ramos N° 7	1106479,81	499961,61	-	1,38	1,60E-05	Media

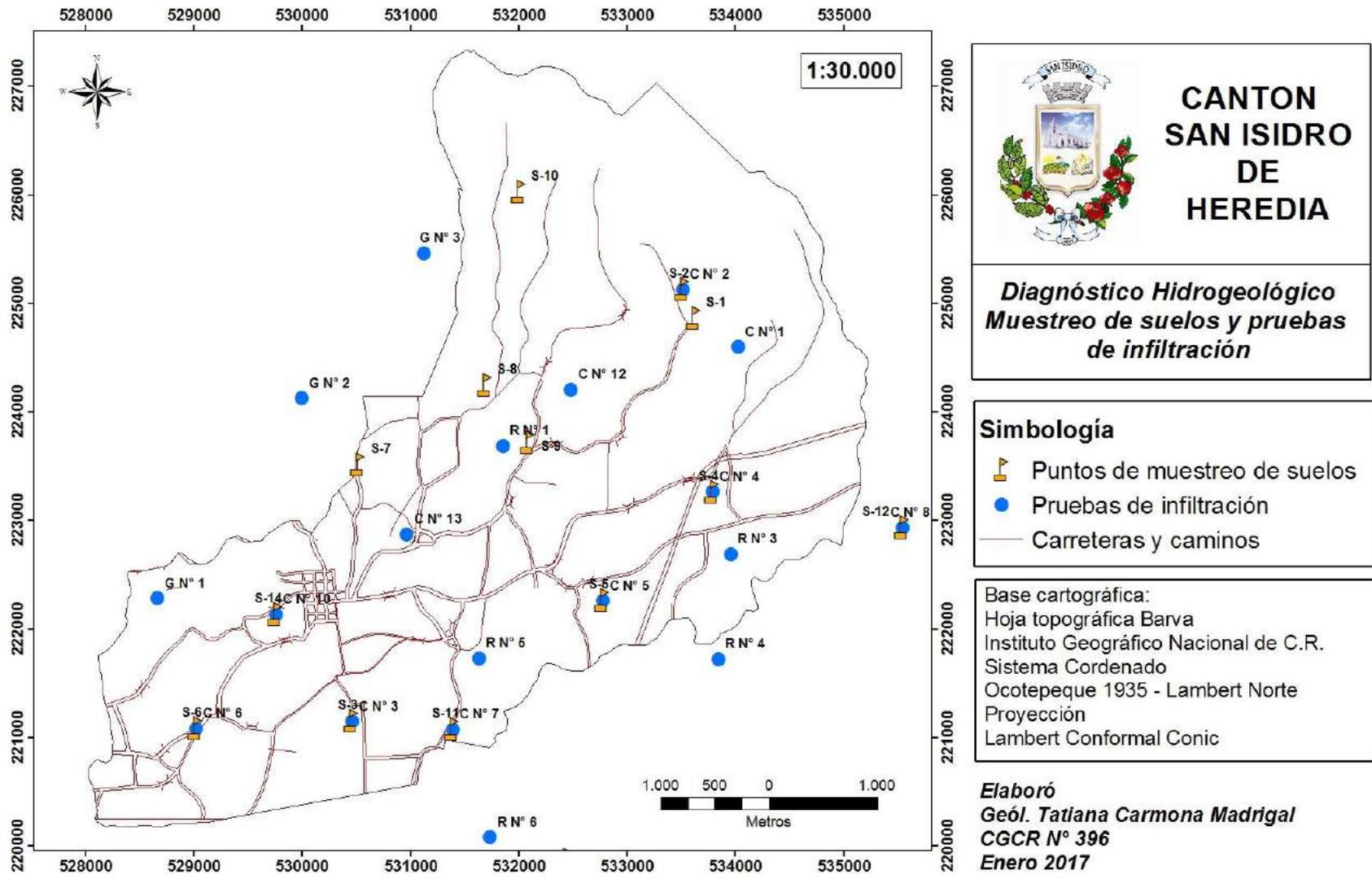


Figura 4. Mapa de distribución de sitios de muestreo de los suelos y pruebas de infiltración en el cantón de San Isidro de Heredia.

1.6 Información meteorológica

Se cuenta con el registro de 4 estaciones meteorológicas:

1. **San Josecito de Heredia:** número 84046, esta se ubicada en las coordenadas (Lat. 10° 01 / Long 84°01) a una altura de 1450 m.s.n.m. Su registro pluviométrico es de un lapso de 38 años desde 1971 al 2009, con un promedio de lluvia de 2494.9 mm anuales.
2. **Santa Lucía de Heredia:** número 84111, esta se ubicada en las coordenadas Lat. 10° 01 / Long 84°07, a una altura de 1200 m.s.n.m. Su registro pluviométrico es de un lapso de 30 años desde 1982 al 2012, con un promedio de lluvia de 2452,2 mm anuales.
3. **Zurquí:** se ubicada en las coordenadas Lat. 10° 02 / Long 84°01, a una altura de 1470 m.s.n.m. Su registro pluviométrico es de un lapso de 24 años desde 1971 al 1995, con un promedio de lluvia de 2721,6 mm anuales.
4. **Monte de la Cruz:** se ubicada en las coordenadas Lat. 10° 04 / Long 84°04, a una altura de 1200 m.s.n.m. Su registro pluviométrico es de un lapso de 38 años desde 1967 al 2005, con un promedio de lluvia de 3211,3 mm anuales.

Las estaciones Santa Lucía y San Josecito cuentan con datos de precipitación, temperatura y brillo solar, por el contrario, las estaciones Zurquí y Monte de la Cruz sólo cuentan con valores de precipitación.

Cuadro 5. Datos de la estación meteorológica Santa Lucía de Heredia, período 1982-2012.

Meses	Lluvia (Mm)	Días lluvia	Tem. Máx. (°C)	Tem. Min. (°C)	Tem. Med. (°C)	Humedad Relativa (%)	Brillo Solar (hr)
Enero	18,6	5	24,6	14,6	19,4	73	8,7
Febrero	23,7	4	25,2	14,6	19,9	72	8,8
Marzo	44,6	5	26,3	14,6	20,4	71	8,6
Abril	112,6	10	26,7	15,1	20,9	74	7,5
Mayo	340,7	22	25,8	15,7	20,7	82	4,9
Junio	336	23	25,2	15,6	20,4	84	4
Julio	216,4	20	25	15,7	20,3	81	4,2
Agosto	268,1	23	25,2	15,5	20,3	83	4,3
Septiembre	406,5	25	25	15,2	20,1	87	4,2
Octubre	442,7	26	24,6	15,3	19,9	86	4,4
Noviembre	187,9	19	24,4	15,6	20	81	5
Diciembre	54,4	9	24,1	15,4	19,8	76	7,2
Anual	2452,2	191	25,2	15,2	20,2	79	6

Cuadro 6. Datos de la estación meteorológica Santa Josecito de Heredia, período 1971-2009.

Meses	Lluvia (Mm)	Días lluvia	Tem. Máx. (°C)	Tem. Min. (°C)	Tem. Med. (°C)	Humedad Relativa (%)	Viento
Enero	130,3	19	20,8	14,3	17,6	85	22,2
Febrero	88,2	16	21,4	14,2	17,8	84	19,7
Marzo	71	15	22,3	14,5	18,4	83	19,7
Abril	94,7	16	23	15,1	19,1	84	17,2
Mayo	254,6	24	23,6	15,8	19,7	87	14,2
Junio	270,8	25	23,5	15,8	19,7	88	13,8
Julio	228,8	26	22,7	15,8	19,3	88	16,8
Agosto	263,8	26	23,1	15,7	19,4	88	15,8
Septiembre	324,1	26	23,7	15,2	19,5	88	12,1
Octubre	330,6	27	23,4	15,2	19,3	89	12,4
Noviembre	254,8	24	22,2	15,3	18,8	89	16,7
Diciembre	183,2	21	21,1	14,7	17,9	87	21,5
Anual	2494,9	265	22,6	15	18,9	87	16,8

Cuadro 7. Datos climáticos de precipitación de las estaciones meteorológicas Zurquí (período 1971 al 1995) y Monte de la Cruz (período 1967 al 2005).

Estación	Zurquí	Monte de la Cruz
Enero	151,2	83,7
Febrero	118,1	59,4
Marzo	92,7	71,4
Abril	109,3	135,5
Mayo	245,1	376
Junio	283,9	357,5
Julio	282,9	302,8
Agosto	308,3	334,7
Setiembre	315,3	477,6
Octubre	328,2	515,5
Noviembre	267,7	307,2
Diciembre	218,9	190
Promedio precipitación Anual (mm)	2721,6	3211,3

La figura 5 muestra la ubicación de las 4 estaciones con respecto al cantón de San Isidro de Heredia, se indica el promedio anual de precipitación para cada estación. Hacia la parte norte se registra mayores valores de precipitación.

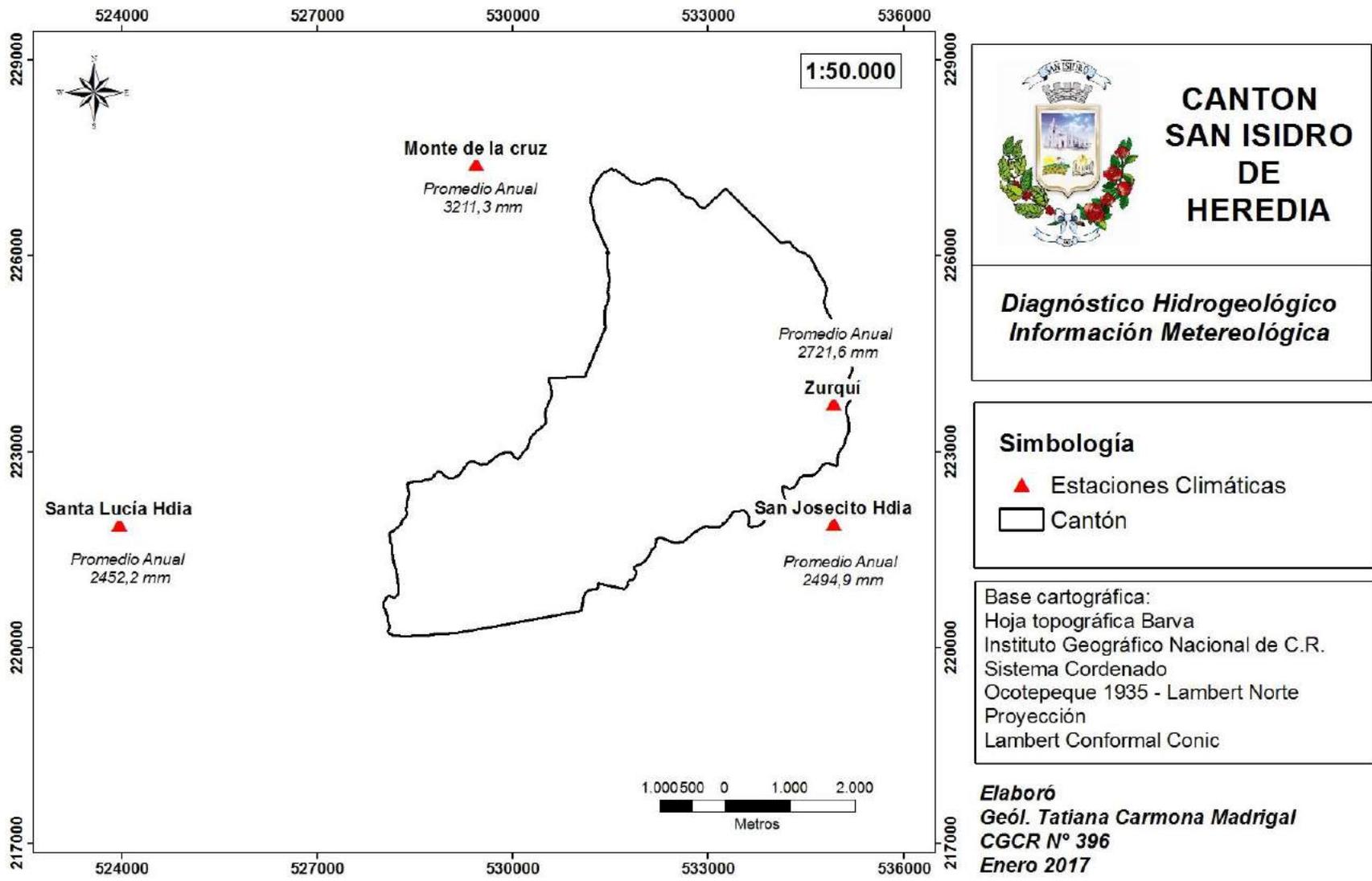


Figura 5. Mapa de ubicación de estaciones climáticas cerca del cantón de San Isidro de Heredia.

1.7 Geología

Entre los principales autores de carácter regional que han reconocido la geología e hidrogeología en la que se encuentra enmarcada el cantón de San Isidro de Heredia encontramos a Fernández (1968), quien realiza un levantamiento de los principales manantiales del norte del Valle Central, diferenciando los depósitos geológicos en los que estos se originan de acuerdo a sus características hidráulicas y su potencial acuífero. Por otra parte, Echandi (1981) describe formalmente estos depósitos, su funcionamiento y potencial como unidades acuíferas. En la misma década en el marco cooperación BGS-SENARA (1985) generan el *Mapa Hidrogeológico del Valle Central* que promueve inicialmente el reconocimiento de la vulnerabilidad a la contaminación de los acuíferos del área norte del Valle Central incluido el cantón de San Isidro de Heredia.

De manera más local podemos encontrar estudios Hidrogeológicos realizados por estudiantes de la Universidad de Costa Rica. Como Castro (1999) quien caracteriza la hidrogeología para definir el manejo de los recursos hídricos en la microcuenca del río Lajas afluente del río Tibás. Ramos (2001) analiza la vulnerabilidad a la contaminación de los acuíferos subyacentes en una parte de la microcuenca río Pará utilizando el método DRASTIC y por último Vargas (2006) trabaja en la microcuenca del río Pará, donde realiza una evaluación de la disponibilidad del recurso hídrico para el cantón de Santo Domingo de Heredia.

De acuerdo a la síntesis realizada con la información geológica de la región se reconoce formalmente las siguientes unidades geológicas en el cantón de San Isidro de Heredia.

1.7.1. Geología Regional

La zona de estudio se ubica en la Cordillera Volcánica Central, propiamente en las faldas de los cerros Zurquí. Según la volcanoestratigrafía (Cuadro 8) los paquetes lávicos producto de la actividad volcánica de esta región transcurren en un período de 0,750 Ma., en donde transcurren importantes eventos ignimbríticos y períodos prolongados de calma volcánica.

Cuadro 8. Síntesis de la volcano-estratigrafía para la región de estudio. (Fuente: Arredondo & Soto (2006) – Echandi (1981).

Edad (Ma.)	Volcanoestratigrafía		Origen	Composición
0,27 – 0	NEO-CORDILLERA	Barva Superior (Miembro Los Ángeles y Bambinos)	Originada en el macizo del Barva	Lavas Andesíticas a andesítico basálticas
		Miembro Porrosatí y Carbonal		Arenas volcánicas gruesas y tobas arcillosas meteorizadas
		Barva Inferior (Miembro Bermúdez)		Lavas andesíticas fracturadas
0,32	PALEO-CORDILLERA	Ignimbritas Tiribí	Originada en la caldera del Barva	Depósitos de nube ardiente (flujos de ceniza, Pómez, lapilli y bloques).
0,33		Colima Superior	Vulcanismo distal/media de la Paleo- Cordillera. Origen fisural.	Capas lávicas de composición andesítica, de estructura brechosa o masiva fracturada separados por una capa de toba meteorizada.
0,5 -0,43		Ignimbritas Puente de Mulas	Se desconoce su origen	Tobas e ignimbritas con estructuras columnares.
0,75-0,59		Colima Inferior	Vulcanismo distal/media de la Paleo- Cordillera. Origen fisural.	Coladas de lava andesíticas, separadas por mantos de toba lítica.

Esta historia eruptiva puede ser diferenciada en 2 etapas denominadas:

- Fase de Paleo-Cordillera (0,570 – 0,400 Ma.), conformada por: la ignimbrita inter-lávica Puente de Mulas, el miembro superior de la formación Colima, y la ignimbrita Tiribí.
- La actual cordillera (Neo-Cordillera) inicia su desarrollo a partir de 0,270 Ma., y corresponde con todos los depósitos posteriores a la formación Tiribí incluidos dentro de la formación Barva (Alvarado & Gans, 2012).

A continuación, se describen las unidades geológicas reconocidas formalmente para la zona de estudio (Figura 5) de acuerdo a la síntesis volcanoestratigráfica mostrada en el cuadro 8.

1.7.1.1 Formación Zurquí

El edificio volcánico Zurquí se encuentra ubicado en el sector noreste del Valle Central, es característico su alto grado de erosión por lo que este ha prácticamente desaparecido, Protti (1986) considera a esta estructura como anterior a los volcanes Poás y Barva.

Las rocas son de composición andesítica, andesítica basáltica y basáltica, con textura porfirítica (Alvarado, 1989). Las coladas presentan un espesor regular, entre los 2 a los 12 m. Según (Protti, 1986) en algunos sitios se encuentran estos flujos superpuestos entre sí, separados por brechas y piroclastos.

Rodríguez (1980) lo denomina Complejo Volcánico Zurquí y lo describe como una serie de productos volcánicos entre los que se encuentran coladas de lava, cenizas, tobas e ignimbritas. Alvarado y Gans (2012) lo asocian a crecimiento de nuevos focos efusivos (Paleo-Barva) post-Puente de Mulas y pre Tiribí.

1.7.1.2 Formación Colima (Lavas Intracañón).

Es importante indicar que la formación Lavas Intracañón (Colima) no aflora en el cantón de San Isidro, pero de acuerdo a la volcanoestratigrafía y a su relevancia en el contexto geológico de la zona es incluida en esta descripción.

Williams (1952) las denominó Lavas Intracañón, Fernández (1969) las redefine bajo el nombre de formación Colima. Así se denominan a las lavas emitidas por los volcanes Barba y Poás, su dirección preferencial de flujo es NE-SW hasta E-W, paralelas al frente de cordillera (Arredondo & Soto, 2006).

Fernández (1969) indica que cronológicamente son las primeras lavas provenientes de la Cordillera Central las cuales se extendieron por los fondos topográficos existentes. Echandi (1981) indica que representan el inicio de una nueva fase de vulcanismo de la Cordillera Central, y su extensión es en forma de mantos en todo el Valle Central. En su mayoría se encuentran aflorando en los cauces profundos de los ríos Tibás, Virilla y Torres (Williams, 1952).

Presentan lentes y capas de ceniza, aunque su principal interrupción es un manto de ignimbritas (Puente de Mulas) de espesor considerable. Por sus características hidrogeológicas Echandi (1981) las subdivide en tres miembros:

Lavas Inferiores (Miembro Belén)

Se describen como las lavas más antiguas que se depositaron sobre depósitos sedimentarios terciarios. Con una edad Plio-Pleistocénica. Se clasifican como lavas andesíticas piroxénicas en algunas secciones transicionales a basalto. Se encuentran separadas por capas y lentes de tobas y cenizas en algunos sitios arcillificadas. Su espesor es variable a través del Valle Central.

Intermedio (Miembro Ignimbritas Puente de Mulas)

Corresponde con una ignimbrita de color gris oscuro a café, compuesta por abundantes fragmentos de lapilli, vidrio colapsado y fragmentos mayores de escorias negras en una matriz tobácea soldada y en algunas partes algo meteorizada. Su estructura columnar es bien desarrollada. Al parecer esta ignimbrita se derramó siguiendo cierto encauzamiento, donde muestra mejor sus características. Hacia sus extremos la avalancha depositó fragmentos líticos de todo tamaño, lapilli y cenizas negras vidriosas.

Lavas Superiores (Miembro Linda Vista)

Corresponde con las lavas que se depositaron sobre el miembro Puente de Mulas como el miembro Linda Vista antes de los depósitos de tobas de la formación Tiribí.

Las coladas más superficiales tienden a ser brechosas y se tornan densas hacia la base. Su composición es andesítico basáltica, porfirítica con augita y olivino.

Se extiende ampliamente hacia el este del Valle Central y sus afloramientos se observan en los cauces de los ríos Virilla y Tibás (Echandi, 1981).

1.7.1.3 Formación Tiribí (Depósitos de Avalancha Ardiente).

Posterior a los depósitos lávicos de la formación de Lavas Intracañon con tiempo suficiente para generar desarrollo de suelos, el Valle Central experimentó una actividad bastante intensa con el depósito de materiales piroclásticos, avalanchas ardientes y otros flujos de fragmentos (Echandi, 1981).

Fernández, (1969) reconoce que por su naturaleza presenta un carácter fragmentario con una variación litológica extrema en poca distancia. Con base a esto las subdivide en dos miembros; miembro La Caja y miembro Nuestro Amo.

Donde en el primero quedan incluidos todos aquellos depósitos de ignimbritas poco soldadas o poco compactas, de carácter masivo, matriz ceniciento-arenosa, rica en componentes porosos. El miembro Nuestro Amo diferencia las masas de avalanchas frías o tobas Caóticas, se caracteriza por ser una toba con fragmentos (lavas, escorias negras) de tamaño variado, incluidos en una matriz tufácea, lapillica, densa y masiva.

Se extienden por todo el Valle Central, (Fernández, 1969, Williams, 1950) sugieren que estos depósitos se expandieron entre 160 – 200 Km², con espesores variables, entre 6 a 100 metros.

Pérez (2000) establece la posibilidad que el origen de esta secuencia sea en una caldera en la cima del volcán Barba.

1.7.1.4 Formación Barva (Lavas Post Avalancha).

Con este nombre se reconoce a los materiales pertenecientes a las últimas actividades lávicas provenientes del macizo del Barva, llamados por Williams (1952) como lavas post-avalancha. Se extienden hacia el sur y suroeste, hasta alcanzar los cerros Turrúcares y el valle del río Grande.

Petrográficamente William (1952) clasifica las lavas hacia el suroeste del Valle Central (Ciruelas, Cebadilla, La Guácima, Turrúcares) como andesíticas, mientras que las lavas que se encuentran al norte y al este del Valle (Barva, Los Ángeles y San Rafael) como de composición basáltica o basáltico andesítica, con piroxenos y olivino.

Echandi (1981) indica que los centros de emisión de estas coladas a parte del macizo Barva se localizan hacia el sureste del cráter principal. Su distribución geográfica se extiende desde San Isidro de Heredia (este) hasta la ciudad de Alajuela (oeste).

1.7.1.5 Lahares

Son flujos de arcilla, limos y arenas con una distribución caótica, provenientes de las laderas del Norte y Este (faldas del cerro Zurquí). Estos depósitos hacia el oeste y noroeste del Valle Central presentan un predominio de fragmentos andesítico, por el contrario, hacia el este los fragmentos son polimícticos, con la presencia de alteración hidrotermal en sus componentes. Su espesor puede variar de unos pocos metros hasta 75 metros (Echandi, 1980).

Estos flujos presentan varios períodos de ocurrencia, por lo general no son contemporáneos. Los afloramientos de esta unidad hacia el noreste se encuentran limitados inferiormente por un substrato de ignimbritas arcillificadas y mantos antiguos de cenizas, hacia su parte superior (Fernández, 1969). Según Hidalgo *et. al* (2004) la edad de estos depósitos se sitúa entre 150 ka - 250 ka (Pleistoceno Medio).

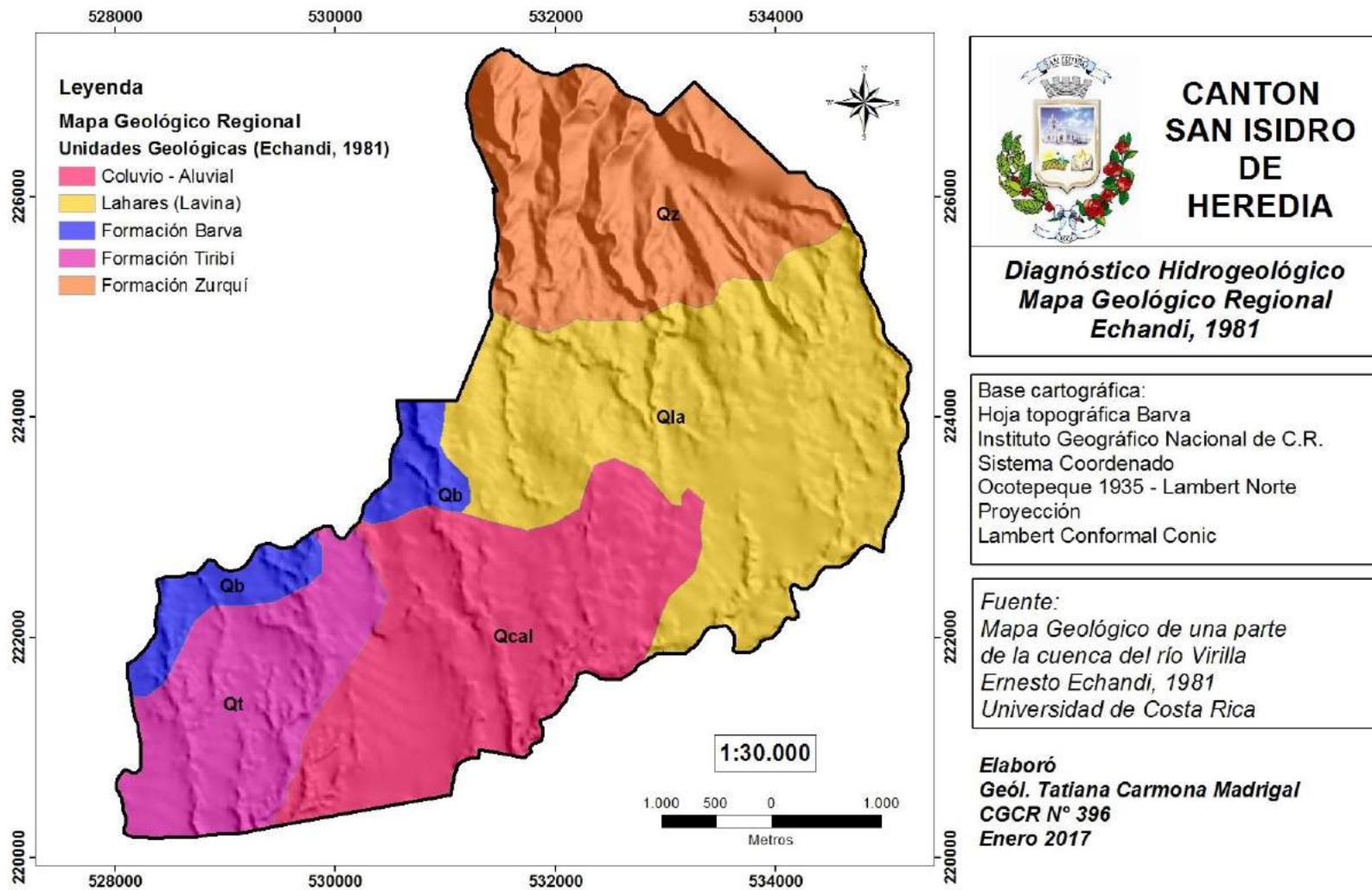


Figura 6. Mapa Geológico Regional para el cantón de San Isidro de Heredia (Fuente: Echandi, 1981).

1.7.2. Geología Local

A continuación, se describen unidades litológicas informales producto de un levantamiento geológico local hecho en el cantón de San Isidro de Heredia (Carmona, 2016). En su mayoría corresponde con depósitos volcánicos asociados a una actividad efusiva proveniente del paleo-Barva. El proceso de meteorización que ha afectado los cerros ha provocado un desarrollo de suelo y coluvio con espesores de hasta 10 m, los cuales cubren y se interdigitan con las diversas unidades litológicas (Figura 7).

1.7.2.1 Unidad de lavas Zurquí

Se reconocen en esta unidad aquellos flujos lávicos provenientes del antiguo macizo volcánico Zurquí. En descripciones de pozo se refieren a esta unidad como fragmentos de lava de composición andesítico basáltica muy meteorizada, donde los clastos se encuentran inmersos en matrices de textura generalmente arcillosa hasta arenosa. Su grado de fracturación junto con el desarrollo de suelo le confiere un grado de permeabilidad regular a esta unidad.

1.7.2.2 Unidad de depósitos de Avalancha Ardiente

Se distribuye hacia el SW del cantón, aflorando en las quebradas Tierra Blanca y río Tures.

Es una toba color café grisácea oscura, de matriz cinerítica la cual contiene fragmentos piroclásticos como escoria, líticos, y pómez, no soldada pero muy compacta. En su nivel superior presenta un alto contenido de arcilla, volviéndose más sana hacia su base. Los espesores máximos visibles en afloramiento van desde los 1,5 a 3,0 metros. La distribución del depósito parece haber rellenado antigua paleo topografía, los espesores máximos son de 30 a 40 metros.

Es subyacida por la formación Colima, donde su contacto lo constituye un horizonte de pómez color blanco grisáceo, deleznable, constituido por fragmentos pumíceos unidos por material de la misma composición.

En algunas perforaciones esta unidad se encuentra cubierta por un suelo arcillo-limoso de coloración café. Las perforaciones realizadas hacia el NE del cantón indican que la unidad se encuentra sobre depósitos de lahar y coluvio.

Su origen se asocia a la formación de una caldera en la cima del volcán Barva (Pérez, 2000).

1.7.2.3 Unidad de lahares Zurquí

Comprende todos los depósitos de ubicados en las márgenes del cerro Zurquí que han sufrido procesos de erosión y meteorización.

Según la información de pozos comprende gravas y bloques lávicos de composición generalmente andesítica a andesítica basáltica inmersos en una matriz limo-areno arcillosa. Se encuentran cubiertos generalmente por suelos de entre 1 y 3 metros de espesor con presencia de bloques ocasionales (0,5 a 2 m). Estos depósitos son producto de la alteración del macizo volcánico Zurquí y su posterior transporte por acción de la gravedad.

Por otra parte, la distribución de los lahares puede ser reconocida por la geomorfología, es posible que al momento del emplazamiento estos depósitos rellenaran depresiones topográficas preexistentes.

Presentan tamaños de grano variable, con secciones de arenas, gravas, cantos y bloques de lava inmersos en una matriz generalmente arcillosa hasta arenosa de coloración café-amarillento.

1.7.2.4 Unidad coluvios Zurquí

Es posible que se encuentren interdigitados con los depósitos de pie de monte del macizo Zurquí los cuales se han formado por procesos de remoción de las laderas. Ambos depósitos la unidad de lahares como la unidad de coluvios presentan características texturales y granulométricas muy semejantes. Corresponden con fragmentos de lava principalmente andesítica de tamaño de grano variable (arenas, gravas, cantos y bloques) inmersos en una matriz por lo general arcillosa hasta arenosa.

Se encuentran aflorando en cortes de carretera, los bloques máximos visibles alcanzan los 5 metros de diámetro, flotando en suelos arcillosos hasta cenicientos.

1.7.2.5 Unidad de aluvión

Aflorando en el cauce del río Tibás cerca del centro cantonal en su cruce con la ruta 112 y en el poblado de Santa Cruz 200 NE Colegio Villaseca.

Corresponde con bloques redondeados a semi-redondeados inmersos en una matriz generalmente arenosa. Los clastos muestran contacto puntual en un 60% con respecto a la matriz. Los afloramientos no superan los 2 metros de espesor visible y por lo general se encuentran cubiertos por capas de suelos cenicientos.

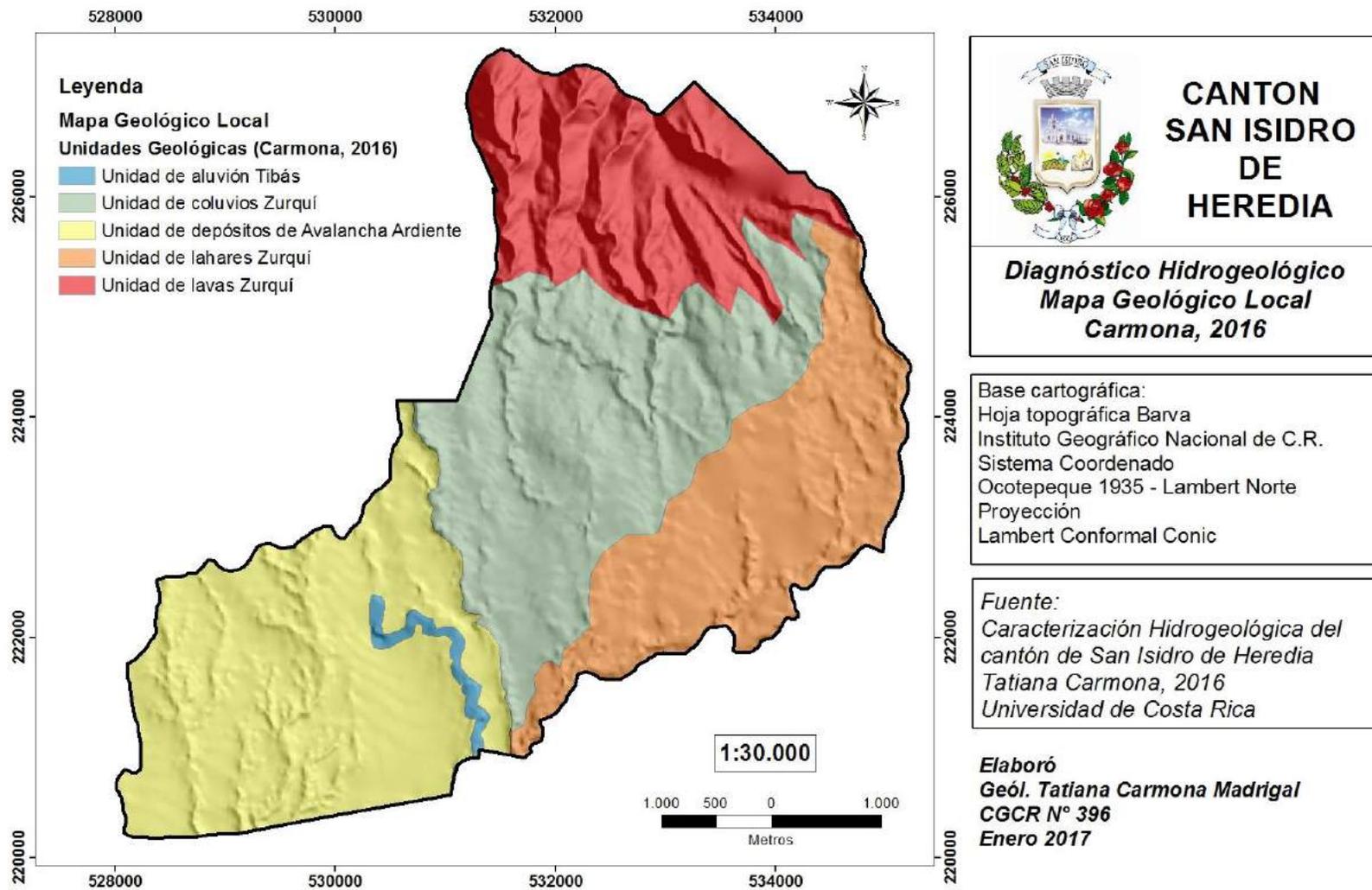


Figura 7. Mapa Geológico Local para el cantón de San Isidro de Heredia.

1.8 Hidrogeología

Las características hidrogeológicas del cantón muestran una confluencia de materiales con propiedades hidráulicas muy variadas (coladas de lava, materiales vulcanoclásticos) los cuales presentan diversos grados de alteración y composición. El cuadro 9 muestra una síntesis de la volcanoestratigrafía y su relación con las unidades hidrogeológicas de la región (Figura 9).

Cuadro 9. Volcanoestratigrafía y su relación con las unidades hidrogeológicas para la parte norte de subcuenca Virilla. (Fuente: Modificado de Arredondo 1994).

Volcanoestratigrafía	Composición	Unidad Hidroestratigráfica	Comportamiento Hidrogeológico	Recarga
Barva Superior (Miembro Los Ángeles y Bambinos)	Lavas Andesíticas a andesítico basálticas	Acuífero	Permeable	Recarga directa por infiltración
Miembro Porrosatí y Carbonal	Arenas volcánicas gruesas y tobas arcillosas meteorizadas	Acuitardo	Baja permeabilidad	Recarga directa por infiltración
Barva Inferior (Miembro Bermúdez)	Lavas andesíticas fracturadas	Acuífero	Permeable	Percolación vertical y recarga directa por infiltración
Ignimbritas Tiribí	Depósitos de nube ardiente (flujos de ceniza, Pómez, lapilli y bloques).	Acuífugo	Baja permeabilidad	Recarga directa por infiltración
Colima Superior	Capas lávicas de composición andesítica, de estructura brechosa o masiva fracturada separados por un capa de toba meteorizada.	Acuífero	Permeable	Percolación vertical y recarga directa por infiltración

Los acuíferos reconocidos son La Libertad y Colima Superior (ubicados en el miembro Linda Vista), donde el flujo del agua se da en fisuras y partes brechosas de las coladas. Sus producciones tanto de extracción subterránea (pozos) como manantiales alcanzan caudales de hasta 100 l/s (BGS-SENARA).

Los depósitos de tobas y flujos piroclásticos que cubren la formación Colima (formación Tiribí) por lo general presentan una baja permeabilidad, por lo que actúan como acuitardos en las secciones donde subyacen a la formación Barva.

Los depósitos lávicos más recientes del Barva hidrogeológicamente son subdivididos en Barva Inferior y Barva Superior. Son separados por piroclastos no consolidados y piroclastos gruesos (Miembro Carbonal y Miembro Porrosatí), esto les imprime una baja permeabilidad y un comportamiento de acuitardo (BGS-SENARA)

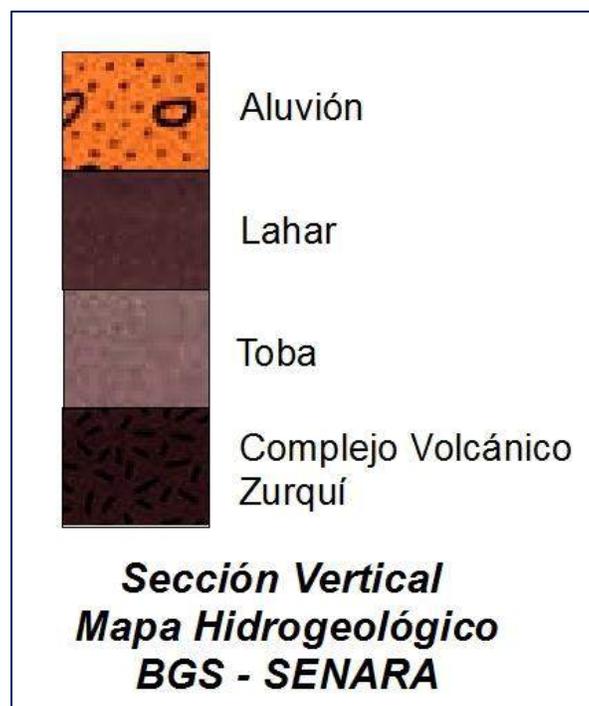


Figura 8. Sección vertical de las unidades Hidrogeológicas.

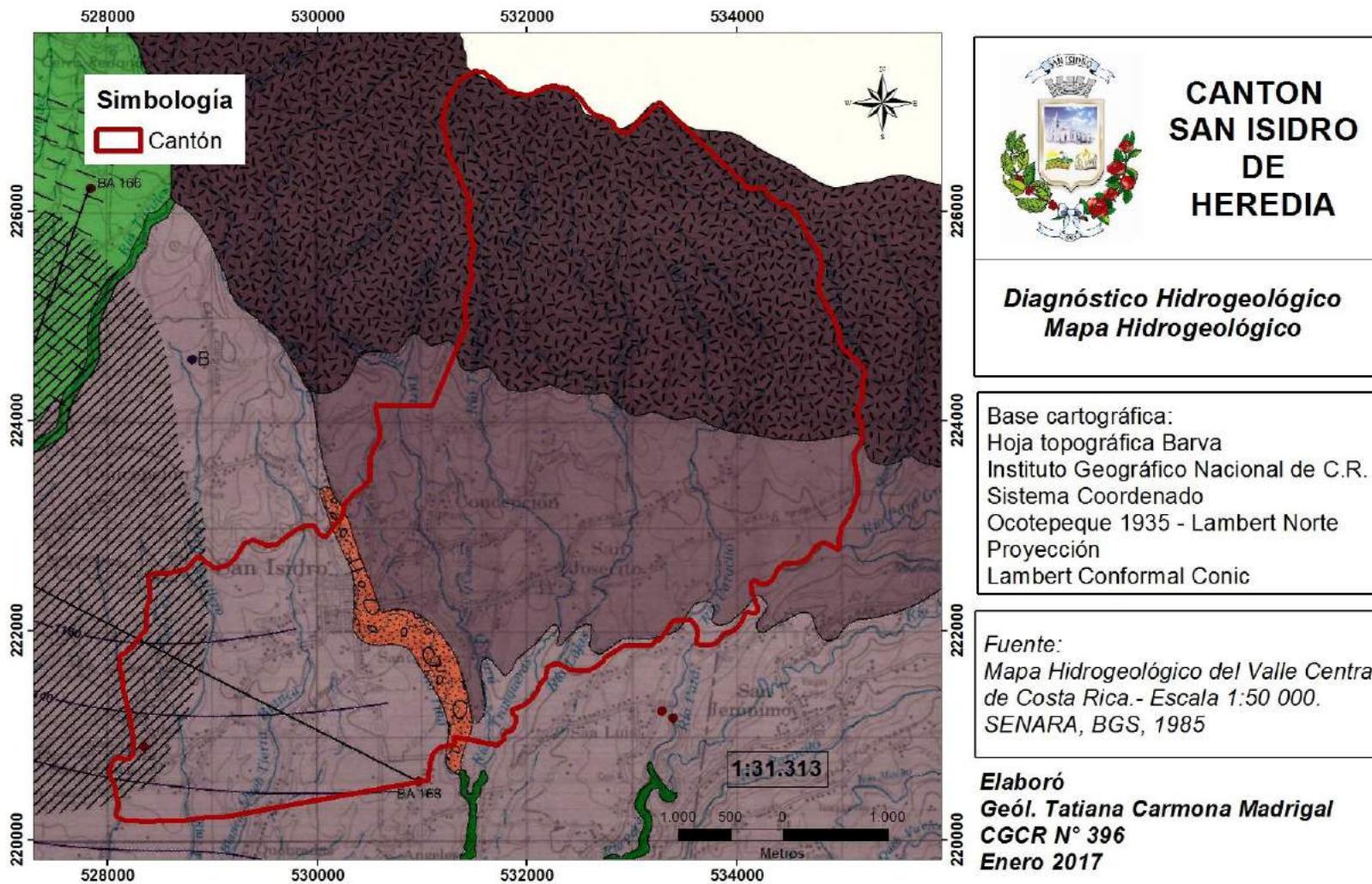


Figura 9. Mapa Hidrogeológico regional para el cantón de San Isidro de Heredia.

1.9 Geofísica

La Empresa de Servicios Públicos de Heredia realizó en el cantón de San Isidro una campaña de sondeos eléctricos verticales (Figura 10).

Este estudio tenía como objetivo definir de manera más local la estratigrafía con esto reconocer zonas factibles para la perforación de pozos y solventar los problemas de abastecimiento de la región (Sáenz, 2015).

Cuadro 10. Ubicación de los sondeos eléctricos verticales realizados en el cantón.

SONDEO	ALTITUD	LONGITUD	LATITUD
Pozo Santa Cruz	1315	496854,7	1108183,8
SEV 01	1377	496774,7	1107962,3
SEV 02	1360	496709,4	1107800,3
SEV 03	1353	496646,2	1107621,4
SEV 04	1345	496577,0	1107442,5
SEV 05	1340	494256,1	1107337,8
SEV 06	1330	494026,1	1106125,8
SEV 07	1330	493753,0	1106046,3
SEV 08	1260	494424,8	1107154,0
SEV 09	1330	494171,0	1107023,8
SEV 10	1330	492714,1	1106063,3

La figura 10 muestra la ubicación de las prospecciones realizadas y en los anexos se adjunta la información completa del estudio geofísico.

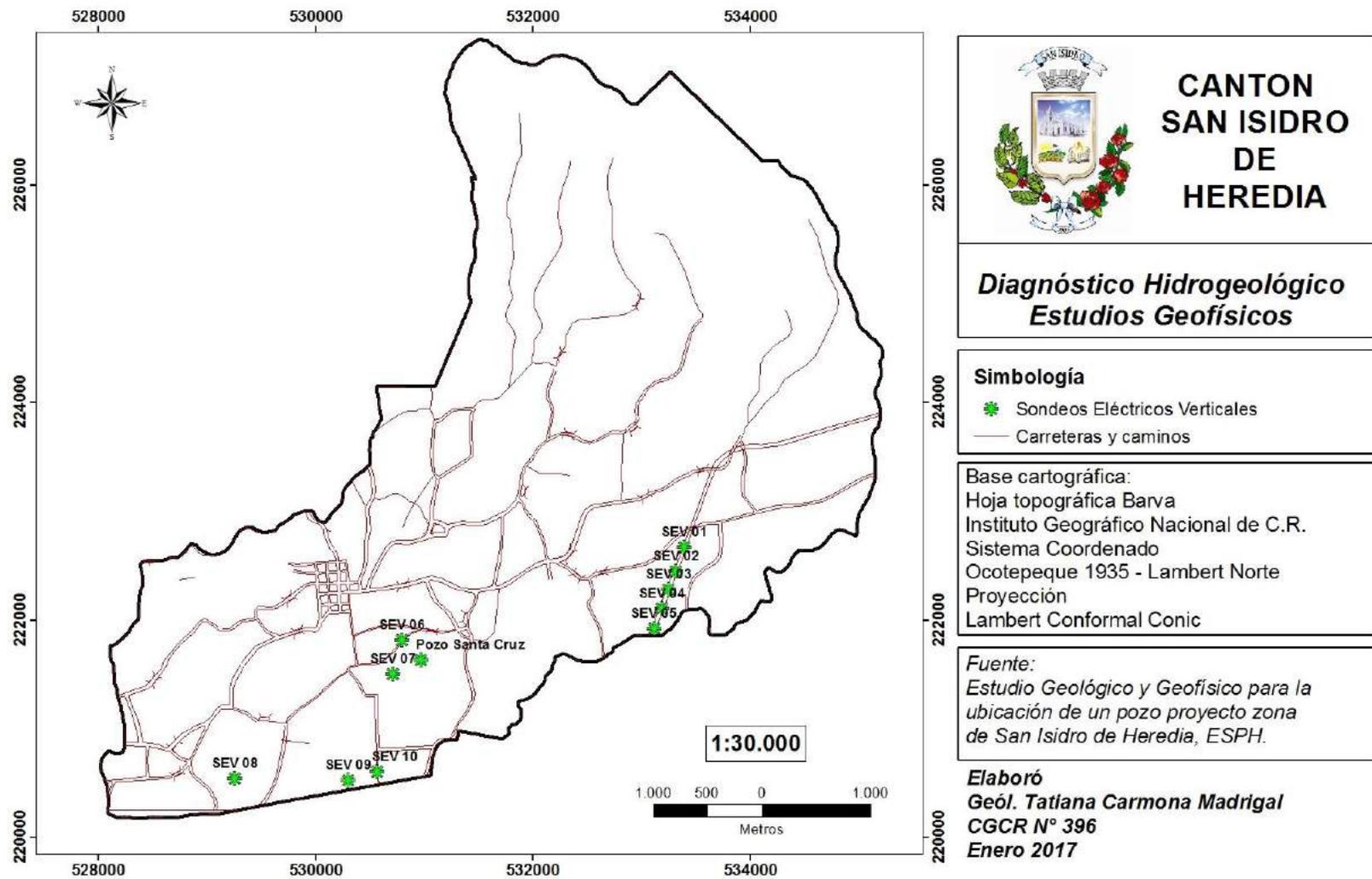


Figura 10. Mapa de ubicación de estudios geofísicos realizados en el cantón de San Isidro de Heredia.

2. Valoración de la información recopilada

- Se cuenta con buena información de pozos para la parte central y noreste del cantón, con algunos vacíos hacia la parte sur y suroeste.
- Existe muy pocos manantiales inscritos en los registros del MINAE, posiblemente por los caudales bajos que reportan.
- Se cuenta con muy buena información con respecto al muestreo de suelos en el cantón (Carmona, 2016), ya que cumplen con las especificaciones necesarias para la realización del balance hídrico de suelos, aparte de esta información no se encontraron otras referencias de mapas de suelos o muestreos realizados en la zona.
- Existe una buena distribución de pruebas de infiltración, todas son realizadas por el método del doble anillo o método de Müntz.
- De las 4 estaciones climáticas, sólo dos cuentan con la suficiente información (San Josecito-Santa Lucía) para la adecuada valoración del balance hídrico de suelos.
- La geología en la mayor parte de la zona se encuentra bien definida, a excepción de la parte norte donde se ubica el Parque Nacional Braulio Carrillo, el cual presenta limitaciones con respecto al acceso por la vegetación.
- Para la valoración de la hidrogeología se reconoce toda la volcanoestratigrafía de la región y su comportamiento hidrogeológico (BGS-SENARA). La calidad de la información es buena pero muy generalizada, el cantón refleja la confluencia de materiales con comportamientos hidrogeológicos diferentes los cuales son de carácter muy local.
- Las prospecciones realizadas por la Empresa de Servicios Públicos de Heredia es una herramienta idónea para la caracterización de la estratigrafía, ya que en las zonas donde se realizó existe vacíos de información por faltante de perforaciones.

Cuadro 11. Análisis de la información recopilada para la fase de Diagnóstico Hidrogeológico.

ITEM	TRABAJOS REALIZADOS EN EL DIAGNOSTICO	CALIDAD DE LA INFORMACIÓN	CANTIDAD DE INFORMACIÓN	TRABAJOS QUE SE DEBEN REALIZAR
<p>1. Revisión de la información geológica, uso de suelo, climatológica e hidrogeológica existente en el área del cantón a analizar, como la siguiente:</p>				
<ul style="list-style-type: none"> - Archivos de pozos y nacientes registrados en las bases de datos del MINAE (Dirección de Aguas y SINAC), AyA y SENARA, Municipalidad y acueductos de la zona de estudio o del cantón (ASADAS), así como de concesiones para aprovechamiento de aguas de la Dirección de Aguas. 	<ul style="list-style-type: none"> - Se recopiló información de archivos de pozos, donde se indica: número de pozo, coordenadas, altura, propietario, profundidad, si presenta descripción litológica, los niveles estáticos y dinámicos, el armado del pozo, caudal, el uso que se le da al agua y los valores Transmisividad. - Se detalla la ubicación de 21 nacientes 	<ul style="list-style-type: none"> - Existe una buena distribución de pozos. - La calidad de información de nacientes es mala. 	<ul style="list-style-type: none"> - 60 pozos - 21 Nacientes 	<ul style="list-style-type: none"> - No todos los pozos cuentan con la información necesaria, por lo que se debe realizar un filtro para su análisis. - Es necesario verificar <i>in situ</i> la información de nacientes.

<ul style="list-style-type: none"> - Estudios y mapas geológicos, geofísicos, hidrogeológicos y de tipos de suelos, para sistematizar la información en mapas básicos de geología y suelos. 	<ul style="list-style-type: none"> - Se realizó una valoración de la información geológica a nivel regional y local. - Se valoró la hidrogeología a nivel regional. 	<p>El mapa geológico regional se encuentra bien fundamentado.</p> <p>El mapa geológico local se encuentra apoyado en un trabajo de campo realizado a nivel cantonal.</p> <p>El mapa hidrogeológico regional debe ser utilizado sólo como parámetro guía, ya que su enfoque es muy regional.</p>	<p>2 mapas geológicos 1 mapa hidrogeológico</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Es importante el complementar la información con estudios geofísicos en aquellas zonas donde existan contactos geológicos o poca información de pozos.
<ul style="list-style-type: none"> - Información de mapas de suelo, pruebas de infiltración 	<ul style="list-style-type: none"> - Se incluye mapa con un muestreo de suelos en todo el cantón. - Se incluye mapa de pruebas de infiltración. 		<ul style="list-style-type: none"> - 14 puntos de muestreo de suelos. - 24 puntos donde se realizó pruebas de infiltración. 	<ul style="list-style-type: none"> - Realizar más mediciones para que se obtenga datos más certeros de infiltración y características físicas de los suelos.
<ul style="list-style-type: none"> - Información meteorológica: ubicación de estaciones climáticas, tipo de estación, cantidad de series, datos recolectados (precipitación, temperatura, brillo solar). 	<ul style="list-style-type: none"> - Se recopila información meteorológica de 4 estaciones climáticas cercanas al cantón de San Isidro. 	<p>Dos estaciones sólo presentan valores de precipitación por lo que su información es insuficiente.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - 4 estaciones climáticas. 	<ul style="list-style-type: none"> - Es necesario filtrar información de las estaciones para que los datos utilizados reflejen las condiciones climáticas verdaderas del cantón.

<p>- Mapas e informes hidrogeológicos, delimitación de los acuíferos, zonas de protección y de captura de fuentes, vulnerabilidad intrínseca a la contaminación, amenaza, riesgo de contaminación y recarga acuífera, tanto los realizados por las municipalidades, ASADAS, instituciones públicas, centros universitarios y científicos, como los realizados por SENARA. Se debe indicar si cuentan con la respectiva oficialización por parte de la Dirección de Investigación y Gestión Hídrica del SENARA.</p>	<p>- Existe un estudio de tesis de grado que caracteriza la hidrogeología del cantón (Carmona, 2006), pero este no se encuentra oficializado.</p> <p>- Existe un análisis de la hidrogeología para definir el manejo de los recursos hídricos en la microcuenca del río Lajas afluente del río Tibás (Castro, 1999)</p>	<p>El estudio de Carmona (2006) abarca todo el cantón, pero no cuenta con mediciones directas de los parámetros hidráulicos de los acuíferos.</p> <p>El estudio de Castro (1999) sólo refleja el análisis de una pequeña parte del cantón.</p>	<p>2 estudios hidrogeológicos realizados en el cantón.</p>	
--	---	--	--	--

3. Diagnóstico de la información

De acuerdo a la integración de la información existente se muestra a continuación el mapa de zonas con suficiente información geológica e hidrogeológica en comparación con las zonas carentes de suficiente información para realizar la valoración del modelo hidrogeológico, la vulnerabilidad, las zonas de protección y las zonas de recarga para la incorporación del componente hidrogeológico en el plan regulador del cantón de San Isidro de Heredia (Figura 12).

Al superponer las capas de crecimiento urbano proyectado en el plan regulador de San Isidro de Heredia (Anexo 1) con las zonas con suficiente y sin suficiente información hidrogeológica se define el área en la cual se recomienda la realización del modelo hidrogeológico.

La figura 11 muestra todos los requerimientos técnicos utilizados para la elaboración de la propuesta hidrogeológica.



Figura 11. Esquema de requerimientos técnicos utilizados en la elaboración de la propuesta hidrogeológica.

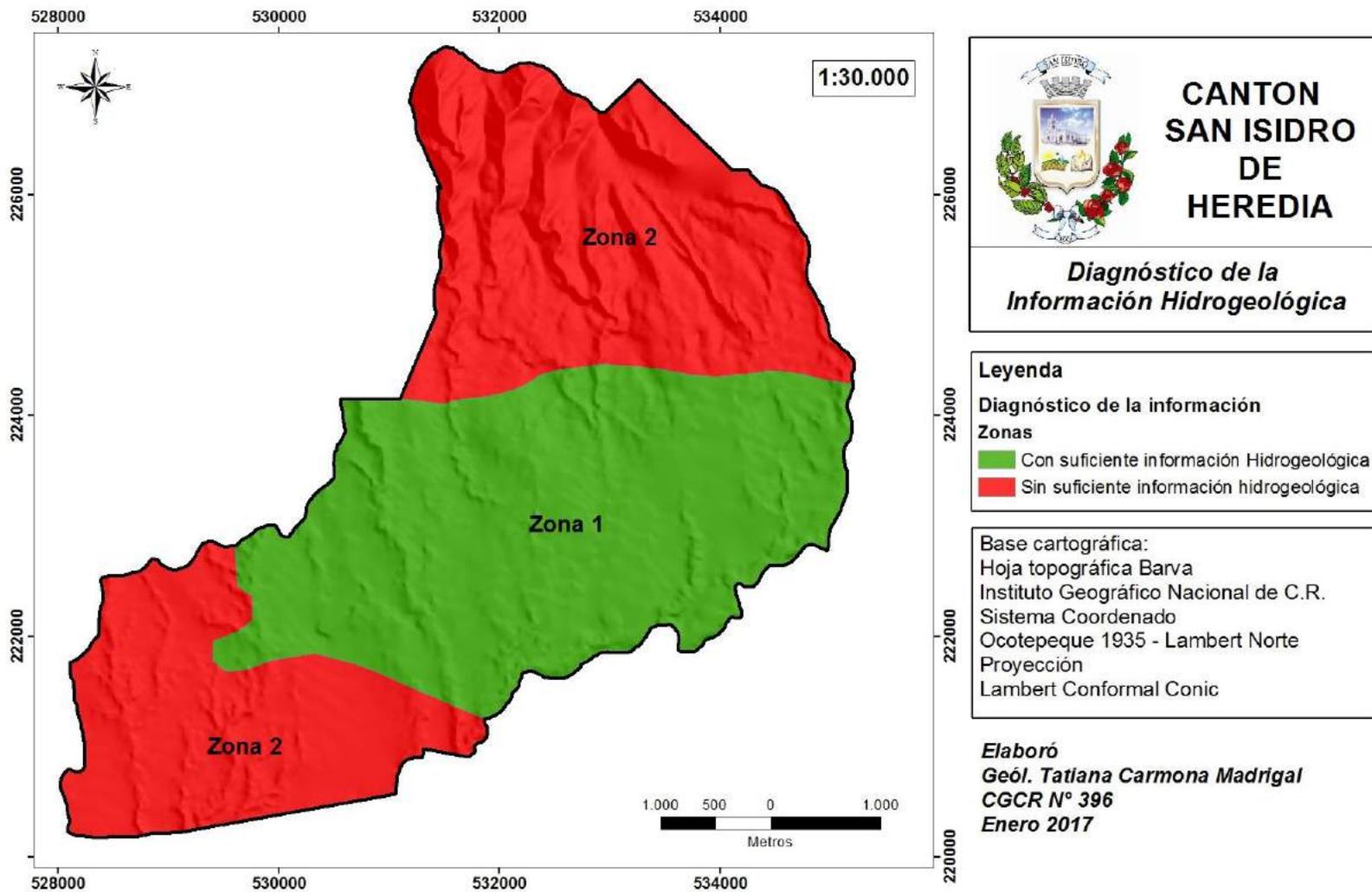


Figura 12. Mapa diagnóstico de la información para el cantón de San Isidro de Heredia.

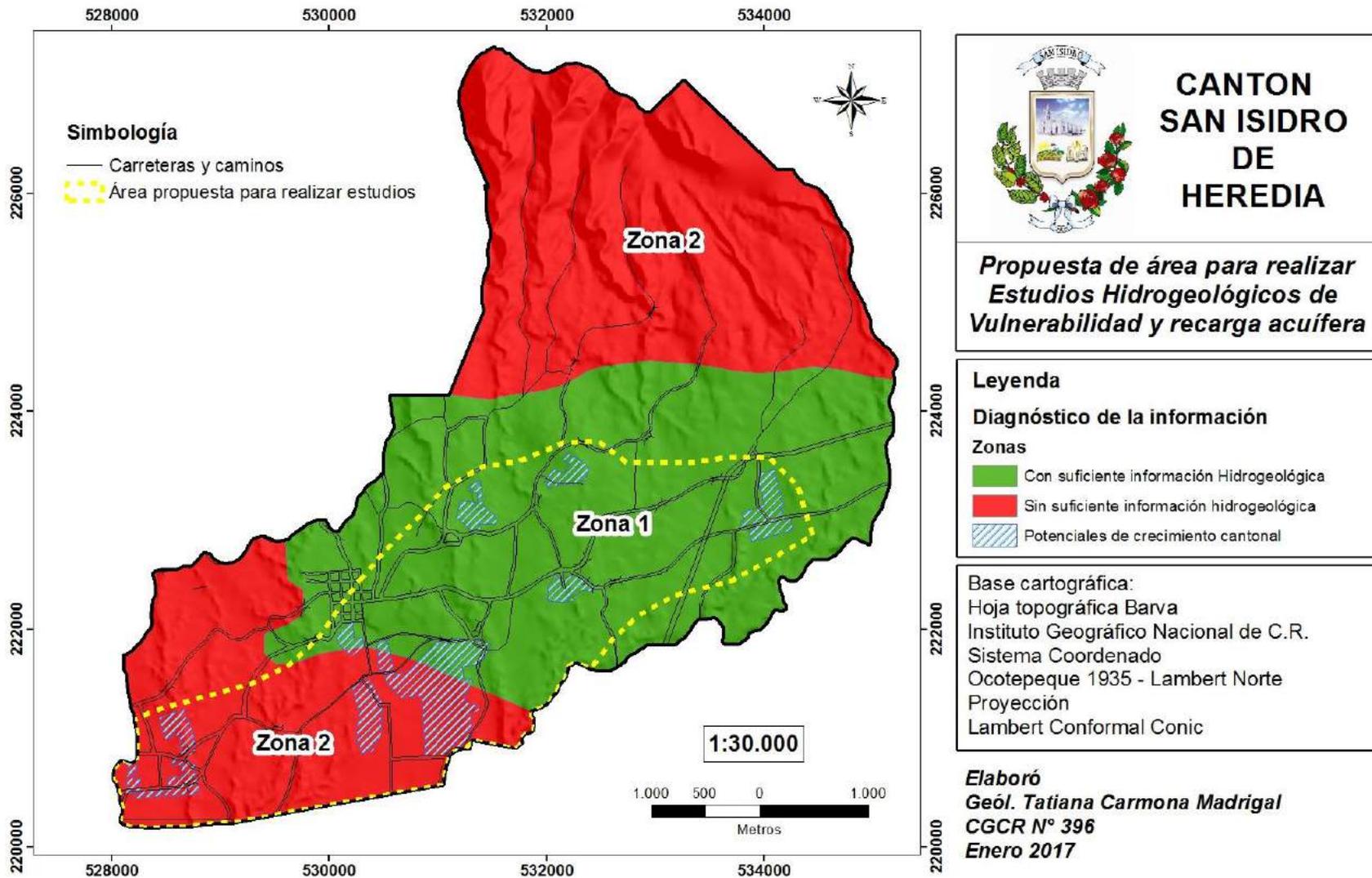


Figura 13. Mapa de propuesta para realizar estudios hidrogeológicos para el cantón de San Isidro de Heredia

4. Propuesta de los estudios hidrogeológicos para elaboración del modelo hidrogeológico, vulnerabilidad y recarga acuífera.

A continuación, se propone una evaluación hidrogeológica del cantón de San Isidro de Heredia, en torno a 3 macroactividades las cuales responden con:

- Establecer un modelo hidrogeológico conceptual por medio de la caracterización de los parámetros que gobiernan el flujo del agua subterránea para el o los acuíferos (s) del cantón de San Isidro de Heredia.
- Determinar las áreas de protección en el cantón de San Isidro de Heredia
- Realizar un análisis de vulnerabilidad y riesgo.

Estas macroactividades se encuentran en función de la disponibilidad de suficiente información hidrogeológica por lo que la investigación debe enfocarse en aquellos sectores del cantón donde se permite realizar una adecuada valoración.

4.1 Delimitación de la zona de estudio

Es necesario definir cuál será el alcance del estudio y delimitar el área de análisis. La figura 11 muestra una propuesta que contempla lo que indica SENARA, superposición de las áreas de crecimiento cantonal con las áreas que cuentan con información hidrogeológica, además, se incluye en la propuesta el analizar un sector sin suficiente información hidrogeológica, pero con crecimiento cantonal

4.2 Definición de unidades hidrogeológicas, basado en criterios litológicos.

Para la definición de las unidades hidrogeológicas, se debe realizar un control cruzado de información utilizando la descripción litológica de pozos existentes y los trabajos e investigaciones de las diferentes instituciones (Escuela Centroamericana de Geología, Empresa de Servicios Públicos de Heredia). La información recopilada se complementa con el levantamiento geológico y la corroboración de rasgos geomorfológicos que contribuyan a la mejor comprensión del sistema acuífero.

4.2.1. Definición del modelo conceptual de flujo (Isopotenciales).

Por medio de la información obtenida de los pozos en los registros de SENARA se debe simular mediante un sistema de información geográfica el desplazamiento y comportamiento de la altura de los niveles estáticos en el cantón de San Isidro de Heredia. Se analiza las características técnicas de aquellos pozos con relevancia geológica e hidrológica que atraviesan las diversas unidades, (profundidad del pozo, caudal, nivel estático, altura de la perforación, ubicación del pozo y ubicación de las rejillas), posteriormente estos parámetros son interpolados geoméricamente sobre el mapa, logrando un trazado de isopropundidades, las cuales reflejan el acuífero captado.

4.2.1.1 Definición de los parámetros hidráulicos de los acuíferos.

Las características hidráulicas de los acuíferos son el resultado del análisis de las secciones productoras descritas en las perforaciones asumiendo las siguientes condiciones del medio:

- Existe un flujo bidimensional en un medio con porosidad intergranular o semejante, sin presencia de discontinuidades.
- Los contaminantes que se mueven en el agua subterránea van a desplazarse con su misma dirección y velocidad.

Para esto es necesario tener los siguientes datos de los informes de perforación de cada pozo.

- Niveles estáticos y dinámicos.
- Transmisividad
- Conductividad Hidráulica

4.2.1.2 Cálculo de la recarga potencial del acuífero.

Se debe utilizar la metodología propuesta por Schosinsky (2006), donde se obtiene la recarga al acuífero por medio de un balance hídrico de suelos. Se basa en la distribución de la precipitación y los coeficientes de infiltración en la zona de estudio.

Los parámetros a considerar:

- Cuantificación de la precipitación en la zona.
- Infiltración básica de los suelos.
- Cobertura vegetal del suelo y su pendiente.
- Determinación de la profundidad aproximada de las raíces extractoras

4.2.1.3 Balance hídrico de los suelos.

Este análisis requiere conocer la infiltración mensual al suelo generada por la lluvia, los valores de humedad del suelo (capacidad de campo, y punto de marchitez), y la profundidad de las raíces extractoras. Con esto estimar el agua que queda libre para recargar el acuífero que se encuentra debajo del suelo analizado. Se utiliza la metodología propuesta por Schosinsky (2006) que considera los siguientes aspectos:

- Determinación de la lluvia interceptada por el follaje.
- Determinación del coeficiente de infiltración del suelo.
- Determinación del tipo de suelo
- Evapotranspiración potencial.
- Determinación de la humedad inicial del suelo.
- Definición de las áreas de Balance Hídrico del suelo.

La figura 12 muestra un esquema que resume las diferentes etapas en la elaboración del balance hídrico de suelos para obtener la recarga Potencial que se da en el cantón de San Isidro de Heredia.

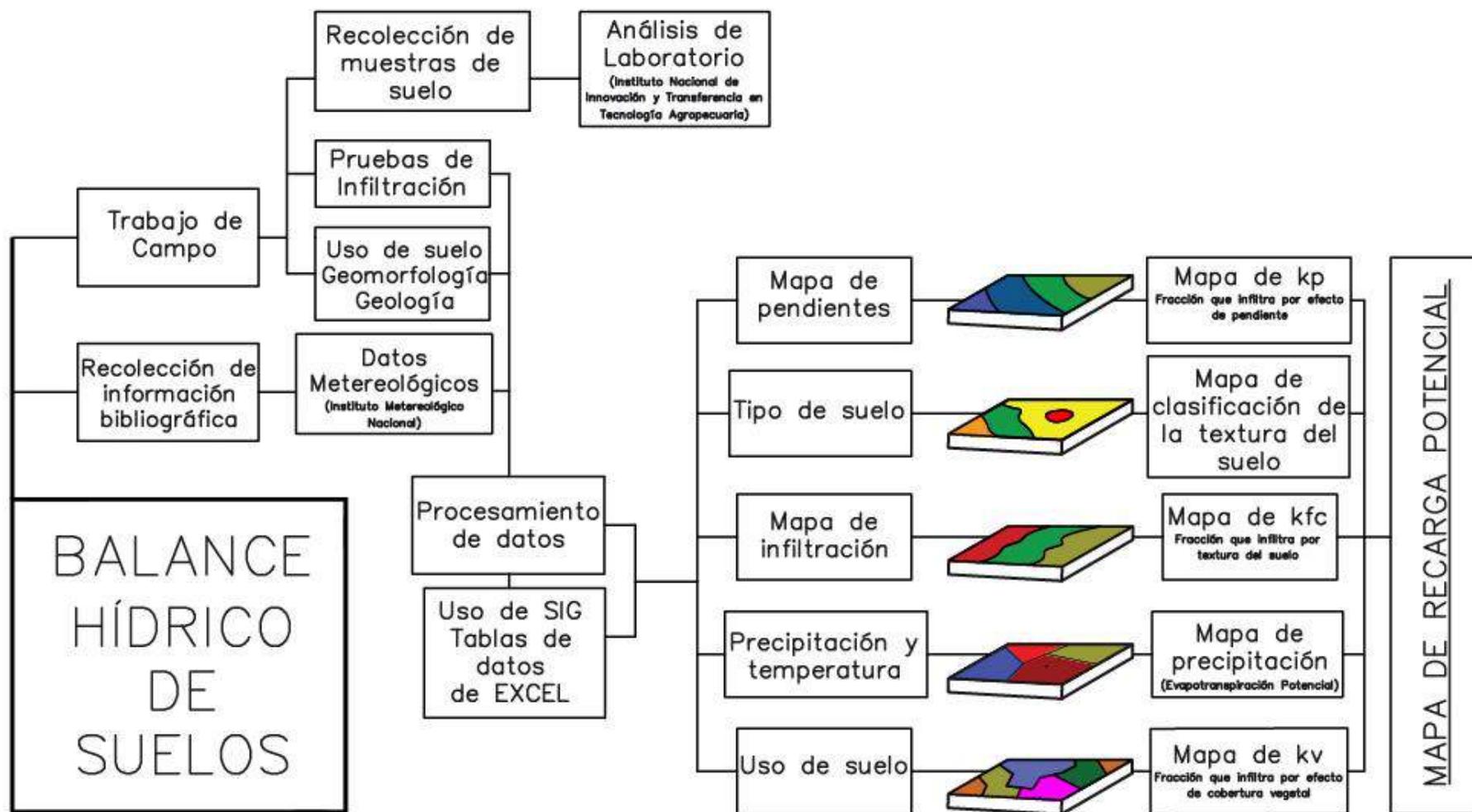


Figura 14. Esquema que ilustra la consecución de las diferentes actividades para la obtención del mapa de Recarga Potencial.

4.3 Definición de la vulnerabilidad y riesgo.

4.3.1. Vulnerabilidad

La vulnerabilidad es el reconocimiento de la capacidad de atenuación natural del perfil del suelo a los contaminantes. En esta investigación por medio de la aplicación del Índice de Vulnerabilidad GOD (iniciales en inglés: *Groundwater hydraulic confinemen, Overlaying Strata, Deph to groundwater table*) se caracteriza la vulnerabilidad a la contaminación de los acuíferos con la definición de las siguientes características.

4.3.1.1 Grado de confinamiento hidráulico.

Inicialmente es necesario identificar el grado de confinamiento hidráulico, es decir se clasifica las formaciones geológicas superficiales según su comportamiento hidrogeológico de acuerdo a la capacidad de los materiales del medio para almacenar y transmitir el agua subterránea. Con esto se asigna un índice a cada parámetro que las categoriza en una escala de 0,0 – 1,0.

4.3.1.2 Ocurrencia del estrato suprayacente

De acuerdo a la litología y al grado de consolidación las formaciones geológicas superficiales (sustratos suprayacentes) se categorizan de acuerdo a una escala de 0,4 a 1,0. Hay que considerar la posible presencia de permeabilidad secundaria, así como porosidad y contenido de humedad de la zona no saturada.

4.3.1.3 Distancia al nivel del agua subterránea

Por último, con la información obtenida en el registro de pozos se estima la distancia o profundidad al nivel del agua subterránea (nivel freático) en acuíferos no confinados o profundidad al techo del acuífero confinado (nivel piezométrico) más superficial. A estos parámetros la escala del índice asignando va desde 0,6 a 1,0.

La figura 12 muestra los principales aspectos considerados a la hora de aplicar esta metodología de índices, todos los valores previamente mencionados pasan por un tamiz para lograr obtener un resultado representativo que refleje la vulnerabilidad producto de las características intrínsecas de las unidades geológicas del cantón. Esta evaluación

constituye un requisito esencial, ya que identifica aquellas actividades humanas que tienen la más alta probabilidad de impactar negativamente al acuífero, y así poder dar prioridad al control, y a la aplicación de medidas de mitigación (Foster *et al.*, 2003).

4.3.1.4 Riesgo

Su objetivo es evaluar y clasificar las actividades humanas contaminantes al subsuelo, priorizando sobre las que presentan mayor probabilidad de generación de cargas contaminantes hacia el acuífero.

Al evaluar la amenaza es necesario identificar zonas donde se desarrollan las actividades contaminantes, o de peligro potencial a la contaminación del agua subterránea.

La etapa final en un análisis es el riesgo viene a ser el efecto combinado de la superposición del mapa del índice final integrado de vulnerabilidad con los mapas de amenaza integrados en función de la carga contaminante asignada.

Se simplifica el procedimiento calculando el riesgo como la combinación de la amenaza y la vulnerabilidad. Como resultado se obtiene un mapa cualitativo del riesgo, que muestra la relación general entre amenaza y la vulnerabilidad. Esta combinación se hizo usando una tabla de dos dimensiones (Foster, et al. 2002).

El resultado es un mapa que debe ser utilizado como herramienta en la toma de decisiones en el proceso de planificación de la zonificación en la municipalidad de San Isidro de Heredia.

4.4 Zonas de protección de fuentes de agua

Es necesario delimitar las siguientes zonas con base en la Ley Forestal (Ley 7575).

- Zonas de protección de manantiales permanentes no captados, ríos, quebradas, arroyos, lagos y embalses
- Zonas de protección de pozos para uso privado.
- Zonas de protección de fuentes utilizadas para abastecimiento público (pozos, manantiales y tomas superficiales en ríos y quebradas).

Cuadro 12. Resultados a obtener en el desarrollo de las actividades del modelo hidrogeológico.

Actividad	Contenido
Zona de estudio	El área propuesta para realizar los estudios es de 10,3 km ² . Se recomienda trabajar y presentar mapas a una escala 1:25 000.
Unidades hidrogeológicas	Se genera el modelo hidrogeológico utilizando la información de pozos. Tipos de acuíferos, profundidades. Se elaboran perfiles hidrogeológicos en las zonas con suficiente información. Mapas Hidrogeológicos
Modelo conceptual del flujo	Parámetros hidráulicos Mapa de isopotenciales
Recarga potencial	Mapas de precipitación Mapas de infiltración Mapa de cobertura vegetal Mapa de pendiente Balance Hídrico (Schosinsky, 2006) Mapa de Recarga
Vulnerabilidad	Mapa de grado de confinamiento hidráulico Mapa geológico de acuerdo al tipo de consolidación Mapa del nivel del agua subterránea

	Definir áreas de influencia e efluencia del o los acuíferos.
Zonas de protección	<p>Manantiales permanentes (100 m de radio)</p> <p>Área a ambos lados de ríos, quebradas o arroyos. 15 metros si es horizontal y 50 si es quebrado. 50 metros en lagos y embalses.</p> <p>Áreas de recarga acuífera de manantiales.</p> <p>Protección en pozos privados, 40 m de cualquier edificación o lindero y a 100 m de cualquier cuerpo de agua.</p> <p>Pozos públicos 200 metros de radio.</p>
Riesgo	<p>Inventario de cargas contaminantes puntuales</p> <p>Inventario de cargas contaminantes difusas</p>

5. Referencias

ALVARADO, G., 1989: Los volcanes de Costa Rica. -175 págs. Editorial UNED, San José, Costa Rica.

ALVARADO, G.E. & GANS, P.B., 2012: Síntesis geomorfológica del magmatismo, metamorfismo y metalogenia de Costa Rica, América Central. Rev. Geol. Amér. Central, 46: 7 – 122.

ANÓNIMO, 1975: Investigaciones de aguas subterráneas en zonas seleccionadas de Costa Rica.- 261 págs. ONU, San José.

ARIAS, M., 2002: La prospección geoeléctrica y electromagnética en dos dimensiones y su aplicación en la hidrogeología.- Rev. Geol. América Central, 27: 21-26.

ARREDONDO, S., 1994: Aguas subterráneas y Fuentes Termales- en Denyer, P. & Kussmaul, S. (compiladores), (1994): Atlas Geológico de la Gran Área Metropolitana, Costa Rica - Edit. Tecnológica de Costa Rica: 98-108 págs.

ARREDONDO, S., SOTO, J.G., 2006: Edad de las lavas del miembro Los Bambinos y sumario científico de la Formación Barva, Costa Rica. Revista geológica de América Central, 34: 59-71.

ASTORGA, A. & ARIAS, M., 2003: Mapa de geopotencial hidrogeológica de Costa Rica: implicaciones respecto a la gestión ambiental del desarrollo. - Rev. Geol. América Central, 29: 95-101.

BALLESTERO, M., 2013: Agenda del agua de Costa Rica 2013-2030.-144 págs. Internacional Atomic Energy Agency,ONU [Inf. Técnico].

BGS & SENARA, 1985: Mapa hidrogeológico del Valle Central de Costa Rica. - Escala 1:50.000, E.S.R. Limited, Inglaterra.

CALVO, J., 1999: Principios de hidrología forestal tropical. -136 págs. Inst. Tecnol. Costa Rica, Esc. Ing. Forestal, Cartago, Costa Rica.

CARMONA, T., 2016: Evaluación hidrogeológica del cantón San Isidro de Heredia y su aplicación a la conservación del recurso hídrico, planificación urbana y ordenamiento territorial. - 132 págs. Univ. De Costa Rica, San José [Tesis Lic.].

CASTRO, A., 1999: Caracterización hidrogeológica y manejo de los recursos hídricos en la cuenca alta del río Tibás macizo Zurquí, Valle Central Costa Rica.- 176 págs. Univ. De Costa Rica, San José [Tesis Lic.].

CASTRO, V., 1985: Estudio Climático de Costa Rica para la Zonificación Agropecuaria y Forestal. -52 págs. SEPSA- MIDEPLAN, San José, Costa Rica.

CROSBY, I.R., 1943: Geología del cañón del río Virilla: Meseta Central de Costa Rica.- 19 págs. Dpto. Nacional de Agricultura, [Informe Técnico].

CUSTODIO, E., & LLAMAS, M., 1983: Hidrogeología Subterránea. Tomo I. – 1155 págs. Ed. Omega S.A. Barcelona, España.

DOBLES, L., 1934: La provincia de Heredia: Apuntamientos Geográficos.- págs. 160 págs. Imprenta y Librería Lehmann, 1934, San José.

ECHANDI, E., 1981: Unidades volcánicas de la vertiente norte del río Virilla.- 123 págs. Univ. De Costa Rica, San José [Tesis de Lic.].

ESRI, 2010. Software ArcGis 10. Education Edition. New York, USA.

FERNÁNDEZ, M., 1969: Datos generales sobre manantiales y brotes localizados durante los reconocimientos geológicos de las partes norte y este de la cuenca del río Virilla. -14 págs. SENAS, San José [Inf. Interno 54].

FOSTER, S., 1987: Fundamental concepts in aquifer vulnerability pollution risk and protection strategy. - Proceedings and Information of International Conference: Vulnerability of Soil and Groundwater to Pollutants, 38: 69-86.

FOSTER, S., HIRATA, R., GOMEZ, D., 2003: Protección de la calidad del agua subterránea: guía para empresas de agua, autoridades municipales y agencias ambientales. -115 págs. Ed. Banco Mundial, Washington, DC.

GONZALES, M., LOPEZ, D., CARMONA, T., 2015: Estudio Hidrogeológico de los cantones de Santa Bárbara, San Rafael, y San Isidro de la provincia de Heredia. Centro de Investigaciones en Ciencias Geológicas. Univ. de Costa Rica.

GÓMEZ, A., 1987: Evaluación del potencial de los acuíferos y diseño de las captaciones de agua subterránea en la zona de Puente de Mulas, provincia de Heredia, Costa Rica.- 23 págs. Univ. De Costa Rica, San José [Tesis Lic.].

HARGREAVES, G., & SAMANI, Z., 1985: Reference crop evapotranspiration from temperature. -Applied Eng. in Agric., 1(2): 96-99.

HENRÍQUEZ, H., & CABALCETA, C., 1999: Guía práctica para el estudio introductorio de los suelos con un enfoque agrícola. -111 págs. ACCS-UCR, San José.

HERRERA, W. 1985. Clima de Costa Rica. Pp. 9-118. En: L. D. Gómez Pignataro (ed.), Vegetación y Clima de Costa Rica, volumen 2. Editorial Universidad Estatal a Distancia, San José, Costa Rica

HIDALGO, P., ALVARADO, G., LINKIMER, L., 2004: La lavina del Valle Central (Costa Rica): ¿Lahar o Debris Avalanche?. - Rev. Geol. América Central, 30: 101-109.

LOSILLA, M. & RODRÍGUEZ, H., 1994: Normas para el cálculo de los tiempos de tránsito entre los drenajes de tanques sépticos y las fuentes de agua subterránea. AyA, San José. [Inf. Interno].

LOSILLA, M., 1992: Mapa de fuentes de acueductos y sus áreas de recarga. - 17 págs. FUNDECOR, Heredia.

LOSILLA, M., RODRIGUEZ, H., SHOSINSKY, G., STIMSON, J., BETHUNE, D., 2001: Los acuíferos volcánicos y el desarrollo sostenible en América Central. -205 págs. Ed. De la Universidad de Costa Rica, San José.

MADRIGAL, R., & ROJAS, E., 1980: Manual Descriptivo del Mapa Geomorfológico de Costa Rica.-79 págs. SEPSA, San José.

MUNICIPALIDAD DE SAN ISIDRO DE HEREDIA, 2005. Gaceta No. 242 del 15 de diciembre del 2005, Plan Regulador del cantón de San Isidro de Heredia: reglamento de zonificación. Heredia, Costa Rica.

PÉREZ, W., 2000: Vulcanología y petroquímica del evento ignimbrítico del Pleistoceno medio (0,33 Ma) del Valle Central de Costa Rica.- 170 págs. Univ. De Costa Rica, San José [Tesis de Lic.].

PROGRAMA ESTADO DE LA NACIÓN., 2012: Decimoctavo Informe Estado de la Nación en Desarrollo Humano Sostenible. -421 págs. Programa Estado de la Nación.

PROTTI, R., 1986: Geología del flanco sur del Volcán Barva. Boletín de Vulcanología de la Universidad Nacional, 17: 23-31.

RAMÍREZ, R. & ALFARO, A., 2002: Mapa de vulnerabilidad hidrogeológica de una parte del Valle Central de Costa Rica. - Rev. Geol. América Central, 27: 53-60.

RAMOS, V., 2001: Análisis de la vulnerabilidad a la contaminación de los recursos hídricos subterráneos de un sector al Noreste del Valle Central, Costa Rica. - 78 págs. Univ. De Costa Rica, San José [Tesis Lic.].

RODRIGUEZ, H.V., 1980: Condiciones de recarga y descarga del acuífero del campo de pozos de la Valencia de Heredia. – 26 págs. Universidad de Costa Rica, San José [Tesis Lic.].

SÁENZ, L., 2015: Estudio geológico y geofísico para la ubicación de un pozo proyecto zona de San Isidro de Heredia ESPH. Empresa de Servicios Públicos de Heredia. [Informe Técnico].

SÁNCHEZ, J., 2011: Medidas puntuales de permeabilidad. -Universidad de Salamanca, 3 págs.-<http://hidrologia.usal.es> [Consulta: 12 marzo 2014].

SÁNCHEZ, X., FERNANDEZ., G., 2007: Gestión de los recursos hídricos: los modelos hidrogeológicos como herramienta auxiliar. - Rev. De la Asoc. Española para la Enseñanza de las Ciencias de la Tierra, 15(3):250-256.

SCHOSINSKY, G. & LOSILLA, M., 2000: Modelo analítico para determinar la infiltración con base en la lluvia mensual. - Rev. Geol. Amér. Central, 23: 43-55.

SCHOSINSKY, G., 1998: Modelo de flujo para la zona no saturada: zonosa.- Rev.Geol. América Central, 21: 69-80.

SCHOSINSKY, G., 2006: Cálculo de la recarga potencial de acuíferos mediante un balance hídrico de suelos. - Rev. Geol. Amér. Central, 34-35: 13-30.

SENARA, 2015. Gaceta No. 137 del jueves 16 de julio del 2015. Metodología de Estudios Hidrogeológicos y los Términos de Referencia para Planes Reguladores. Reglamento de la Transición para la Revisión y Aprobación de Planes Reguladores. San José, Costa Rica.

SENARA, BGS, 1985: Mapa hidrogeológico del Valle Central de Costa Rica.- Escala 1:50 000. SENARA, BGS, San José.

SHOSINSKY, G., 2006: Cálculo de recarga potencial de acuíferos mediante balance hídrico de suelos.- Rev. Geol. América Central, 19/20:13-30.

TODD, D.K., 1980: Ground water hydrology. - 336 págs. John Wiley, Nueva York.

UNESCO, 2007: Balance hídrico superficial de Costa Rica. Período: 1970-2002. Documentos Técnicos del PHI-LAC, N°10.-49 págs. UNESCO, Uruguay.

VARGAS, A., 1994: Evaluación de características químicas de aguas superficiales e hidrogeológicas en las subcuencas parte alta río Virilla y río Durazno, cantón de Vásquez de Coronado, Provincia de San José, Costa Rica.-239 págs. Universidad de Costa Rica, San José [Tesis Lic.].

VILLANUEVA, M., IGLESIAS, A., 1984: Pozos y acuíferos: técnicas de evaluación mediante ensayos de bombeo.- 426 págs. Instituto Geológico y Minero de España, Madrid

WILLIAMS, H., 1952: Volcanic history of the Meseta Central Occidental Costa Rica.- University of California Publications in Geological Sciences, 29(4):145-178.

ANEXO