

**INSTITUTO COSTARRICENSE DE ACUEDUCTOS Y ALCANTARILLADOS
UN DE GESTIÓN AMBIENTAL DEL RECURSO HÍDRICO
ÁREA FUNCIONAL DE HIDROGEOLOGÍA**



**ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA ZONA DE
PROTECCIÓN DE CUATRO POZOS: APESTEGUI I, III, IV Y JIRÓN
COMUNIDAD, PALMIRA, CARRILLO, GUANACASTE**



Apestequi 1



Apestequi 3



Apestequi 4



Jirón

**Elaboró: MSc. Sofía Ramírez Vargas
Hidrogeóloga**

Colaboración con trabajo de campo

**Geól. David Araya Quirós, Geól José Manuel Jiménez Murillo, Téc. Carlos Murillo Alvarado;
Área Funcional de Hidrogeología & Téc. Luis E. Soto Chavarría, Región Chorotega del AyA**

Colaboración con elaboración de informe

Geól. Jose Manuel Jiménez Murillo

**Revisión y VBº: MSc. Viviana Ramos Sánchez
Dirección del Área Funcional de Hidrogeología**

Abril, 2017



**Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados
Centro de Documentación e Información
UEN Investigación y Desarrollo**



**AUTORIZACIÓN INSTITUCIONAL PARA PUBLICAR TESIS, ESTUDIOS,
ARTÍCULOS Y/O INFORMES PROPIEDAD INTELECTUAL DE AyA EN
EL REPOSITORIO DIGITAL DEL CEDI**

Yo, Annette Henchoz Castro

N° Cédula: 1-0725-0409

Dependencia: Gerencia General

Autorizo como Sub Gerente General y representante legal del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA) cédula jurídica 4-000-042138 al Centro de Documentación e Información (CEDI) de la UEN Investigación y Desarrollo la inclusión, publicación y difusión en su Repositorio Digital, Catálogo en línea (OPAC) y la intranet institucional de la documentación incluida en la lista adjunta.

Se trata de estudios y documentos cuyos derechos intelectuales y de uso son exclusivos de nuestra institución.

E-mail: centrodoc@aya.go.cr **N° Teléfono:** 2242-5487

Annette
Henchoz Castro

Firmado digitalmente por
Annette Henchoz Castro
Fecha: 2019.11.25 16:07:20
-05107

Firma: _____

DETERMINACIÓN DE LA ZONA DE PROTECCIÓN DE CUATRO POZOS: APESTEGUI I, III, IV Y JIRÓN COMUNIDAD, PALMIRA, CARRILLO, GUANACASTE

I. INTRODUCCIÓN

El presente estudio fue realizado en respuesta a la solicitud efectuada por la UEN de Administración de Proyectos hacia la Dirección de la UEN de Gestión Ambiental; mediante memorando UEN-AP-2017-00433, del 01° de marzo del 2017. Se realizó una gira a la localidad donde se ubican los pozos en referencia, por parte del Área Funcional de Hidrogeología del 15 al 17 de marzo del 2017. En ella se llevaron a cabo las pruebas de infiltración, la ubicación de dichos pozos, y el reconocimiento geológico-hidrogeológico local correspondiente. Posteriormente, se hizo el trabajo de gabinete: análisis de los datos de campo y de información previamente recopilada para la realización de los cálculos de rigor necesarios para sustentar este tipo de investigaciones (revisión de registros de pozos y piezómetros cercanos, entre otros).

1.1 Objetivo General

Determinar la zona operacional de protección absoluta de contaminantes patógenos advectivos, para los pozos Apestegui 1, 3, 4 y Jirón.

1.2 Objetivos Específicos

- Ubicar los pozos en cuestión.
- Realizar pruebas de infiltración para los puntos determinados y en sitios significativos cercanos.
- Hacer el análisis de los informes de pozos y piezómetros cercanos para determinar la posible litología subterránea de la localidad en estudio.
- Determinar el tiempo de tránsito de contaminantes patógenos del medio hidrogeológico conexo a los pozos en cuestión
- Representar de forma gráfica, la delimitación de la zona de protección respectiva, para cada uno de los pozos.

II. UBICACIÓN CARTOGRÁFICA, GEOLÓGICA E HIDROGEOLÓGICA DE LOS POZOS APESTEGUI I, III, IV Y JIRÓN

La **Figura 1** muestra la ubicación de los pozos Apestegui 1, 3, 4 y Jirón; en la localidad de Comunidad, distrito Palmira, cantón Carrillo, provincia Guanacaste, específicamente en la hoja topográfica Carrillo Norte (IGN), a escala 1:50 000. Además, se muestra la cobertura geológica que caracteriza el entorno de dichos pozos; así como pozos cercanos de acuerdo a las bases de datos existentes, entre otros aspectos topográficos y de contexto.

La geología local y su contexto hidrogeológico, se presenta en la **Figura 2**, la cual consta de un perfil hidrogeológico mostrando la correlación de las unidades de roca según su distribución para la localidad, conforme a estudios anteriores de esta Área Funcional (Ramírez, S.-AyA, 2013 y 2015); de acuerdo a la información de los pozos Apestegui 1, 3, 4 y Jirón, brindada por la Unidad Técnica de Perforaciones de la UEN de Administración de Proyectos; y de pozos cercanos (**Anexo 1**).

Las condiciones del medio hidrogeológico relacionado con el terreno en estudio, están dadas principalmente por el acomodo y disposición de los materiales de origen aluvional y sedimentario-volcánico presentes en el sitio. Se debe aclarar que los pozos captan agua subterránea en materiales del Complejo de Nicoya (acuífero fracturado libre cubierto en radiolaritas y basaltos). La **Figura 3**, muestra las líneas de flujo del agua subterránea de estas formaciones; donde, según se ha determinado en Echandi & Schosinsky, 2001; existe comunicación hidráulica entre ellas (por esto se modelan en conjunto).

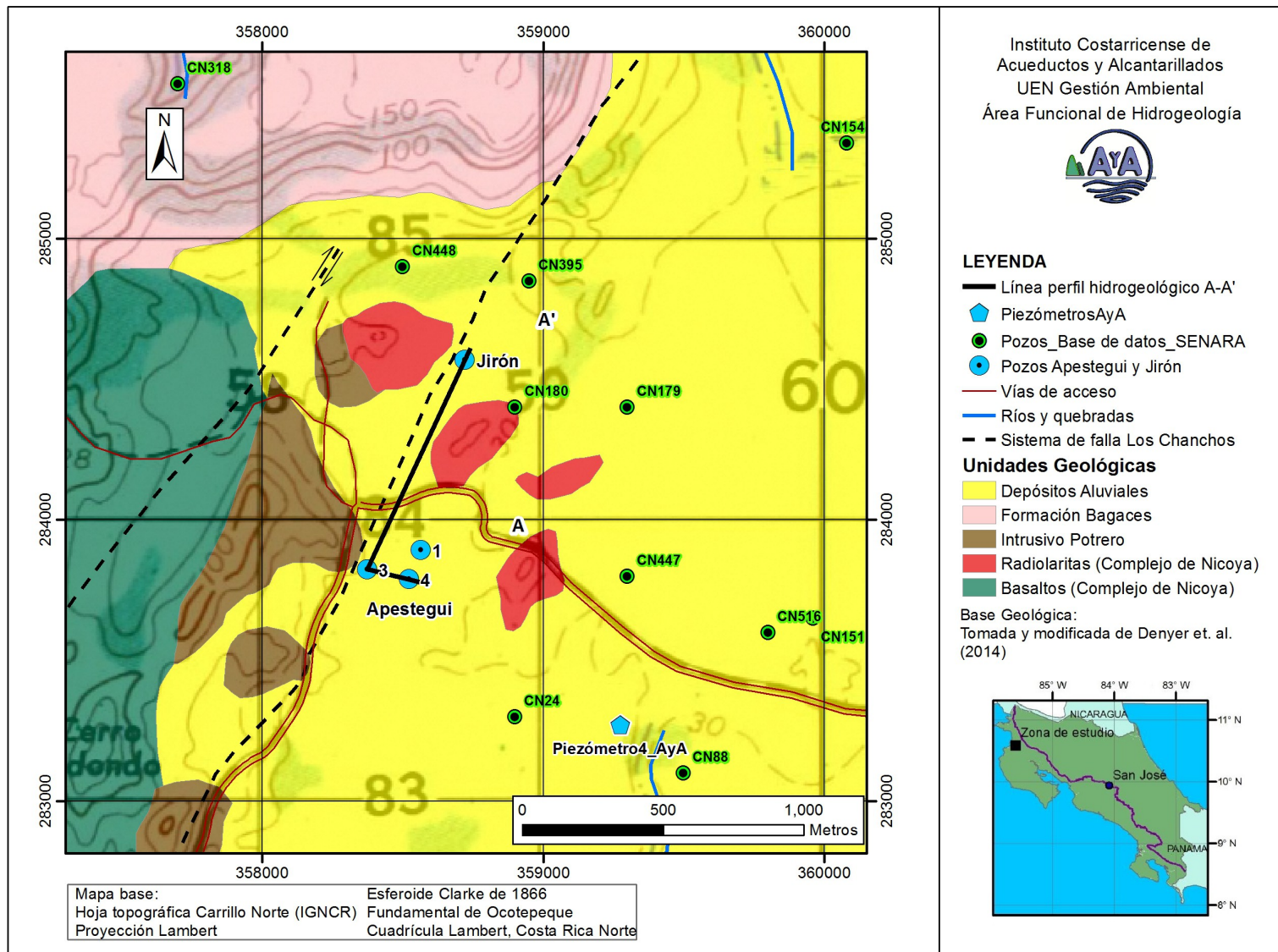


Figura 1. Mapa geológico y de ubicación del sitio de estudio (para los pozos Apestegui I, III, IV y Jirón)

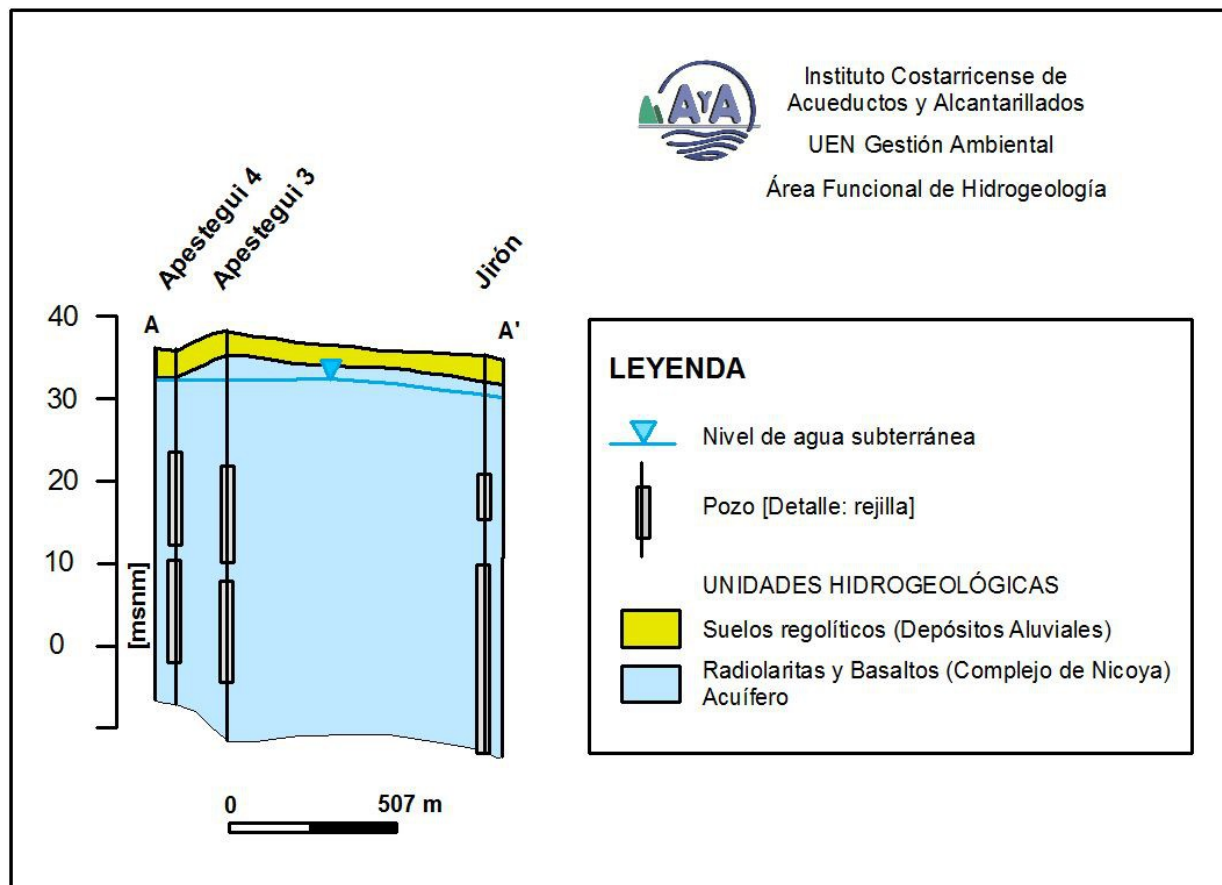


Figura 2. Perfil geológico-hidrogeológico del área de los pozos Apestequi I, III, IV y Jirón (Nota: el pozo Apestequi 1 se analogo al Apestequi 4)

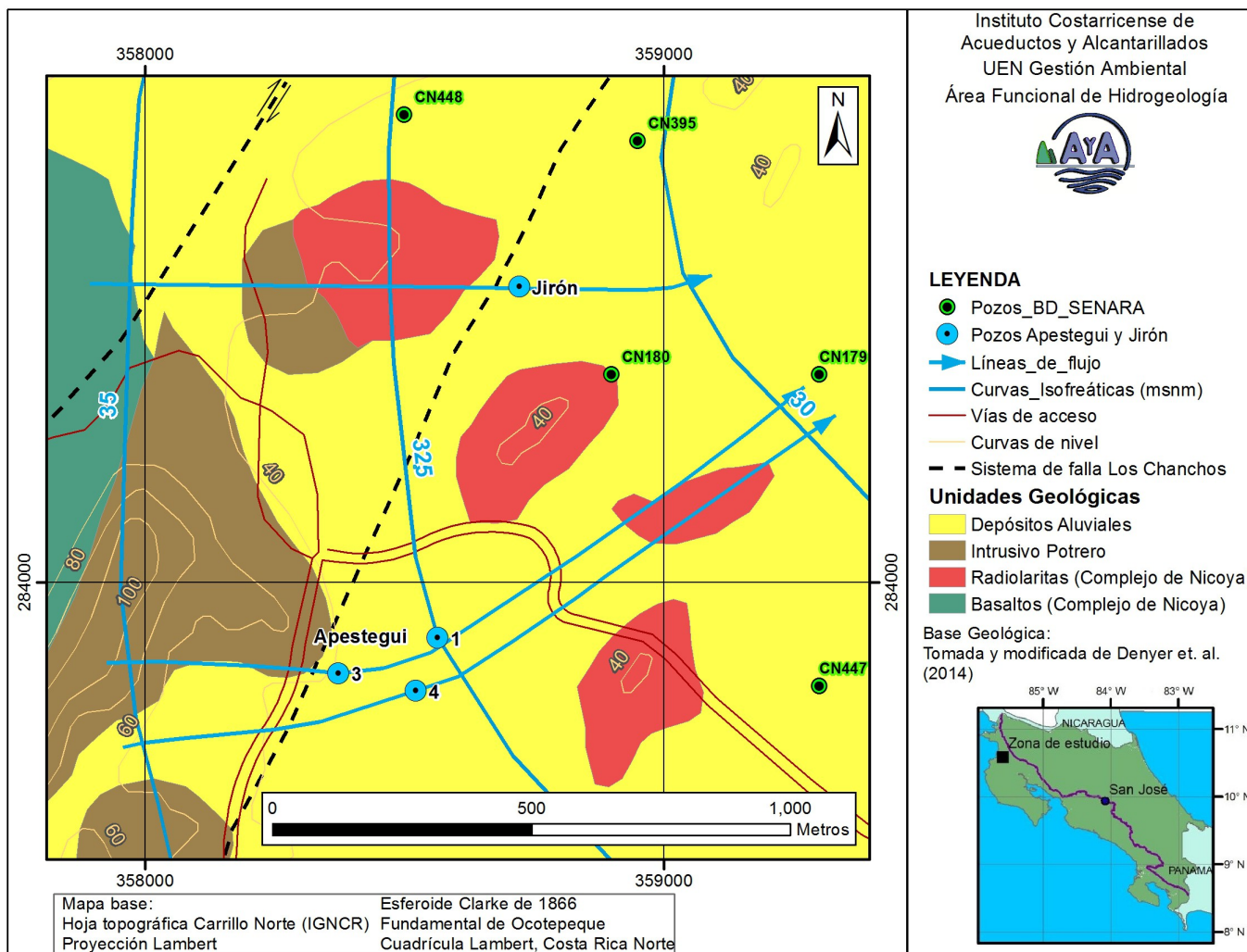


Figura 3. Mapa de equipotenciales para el acuífero captado por los pozos en estudio (ApesteGUI I, III, IV y Jirón)

Según el análisis hidrogeológico efectuado, se presenta un modelo de la litología subterránea de la zona no saturada y saturada para cada uno de los pozos en estudio, así como los espesores de cada una de las mismas, **Tabla 1:**

Tabla 1. Registro litológico de los pozos en estudio

APESTEGUI 1 (sin datos litológicos, al registro del Apestequi 4)

Prof. (mbns)	Litología.	b (m)
0-1	Suelo	1
1-3	Arena fina	2
3-3,23	Arcilla fracturada	0,23
3,23	Nivel de agua subterránea	-----
3,23-11	Arcilla fracturada	7,77
11-44	Radiolaritas y basaltos del Complejo de Nicoya	33

APESTEGUI 3

Prof. (mbns)	Litología.	b (m)
0-3	Suelo	3
3-10	Radiolaritas y basaltos del Complejo de Nicoya	7
10	Nivel de agua subterránea	-----
10-50	Radiolaritas y basaltos del Complejo de Nicoya	40

APESTEGUI 4

Prof. (mbns)	Litología.	b (m)
0-1	Suelo	1
1-3	Arena fina	2
3-3,97	Arcilla fracturada	0,97
3,97	Nivel de agua subterránea	-----
3,97-11	Arcilla fracturada	7,03
11-44	Radiolaritas y basaltos del Complejo de Nicoya	33

JIRÓN (sin datos litológicos, se analogo al registro del Apestequi 3)

Prof. (mbns)	Litología.	b (m)
0-3	Suelo	3
3-5,26	Radiolaritas y basaltos del Complejo de Nicoya	2,26
5,26	Nivel de agua subterránea	-----
5,26-50	Radiolaritas y basaltos del Complejo de Nicoya	44,74

2.1 Cálculo de tiempos de tránsito

Para determinar los tiempos de tránsito de contaminantes patógenos en el medio hidrogeológico, se consideran los siguientes supuestos:

- El tiempo de residencia máxima de las bacterias en el subsuelo es de 70 días (Lewis, Foster y Drassar, 1982 en Rodríguez, 1994).
- Si en la zona saturada el flujo es predominantemente fisural, el tiempo total mínimo requerido para el análisis es de 100 días y no de 70 (Rodríguez, 1994).

De esto se desprende que el tiempo total que dura en degradarse un contaminante advectivo de tipo patógeno (ejemplo: bacterias y virus), considerando la componente vertical en la zona no saturada y la componente horizontal en la zona saturada, es de *70 días para medios porosos* y de *100 para medios*

fracturados. Por lo tanto, los tiempos de tránsito efectivos para la eliminación de contaminantes de tipo patógeno, ya sea solo en la zona no saturada o inclusive en la zona saturada, dependen de las características hidrogeológicas del medio, tales como: espesor y tipología de los mantos rocosos o depósitos de materiales litológicos o edafológicos, sus características hidráulicas y otros aspectos ligados a la litología.

Se realizaron **8 pruebas de infiltración**, por medio de la metodología del doble anillo (Kostiakov), en las cercanías de los pozos, a lo largo de las líneas de flujo del agua subterránea (**Figura 4**). De ellas se deriva un dato final de velocidad de infiltración (dato estabilizado).

Se determinó que los materiales evaluados en los puntos señalados presentan una *conductividad hidráulica (k) moderada*, esto sería, para la parte superficial o más somera de la zona no saturada conexas a los pozos.

Los datos de conductividad hidráulica (k) de la **Tabla 2**, tienen utilidad en el cálculo de tiempos de tránsito que se presentan en la siguiente sección del informe.

Tabla 2. Resultados de pruebas de infiltración

Código	Norte	Este	k (cm/min)	k (m/s)
PI A-1	283899	358570	0,0330	0,4752
PI A-2	283839	358379	0,0416	0,5990
PI A-3	283840	358174	0,0234	0,3370
PI A-4	283765	358511	0,0814	1,1722
PI A-5	283698	358329	0,0254	0,3658
PI J-1	284563	358701	0,3493	5,0299
PI J-2	284572	358618	0,0335	0,4824
PI J-3	282565	358327	0,0133	0,1915

2.1.1 Zona no saturada

El tiempo de tránsito para un flujo vertical de contaminantes patógenos en la zona no saturada (t_1), bajo condiciones de carga hidráulica se determina con la fórmula:

$$t_1 = (b * \theta) / (k * i)$$

Donde:

b: espesor de la zona no saturada = varía en cada tramo evaluado (**Tabla 3**)

θ : porosidad efectiva de los materiales de la zona no saturada = varía en cada tramo evaluado (**Tabla 3**)

k: conductividad hidráulica vertical de la zona no saturada = varía en cada tramo evaluado (**Tabla 3**)

i: gradiente hidráulico = 1 m/m

t_1 : tiempo de tránsito del flujo vertical en la zona no saturada = menor que *70 días* para cada caso analizado (**Tabla 3**).

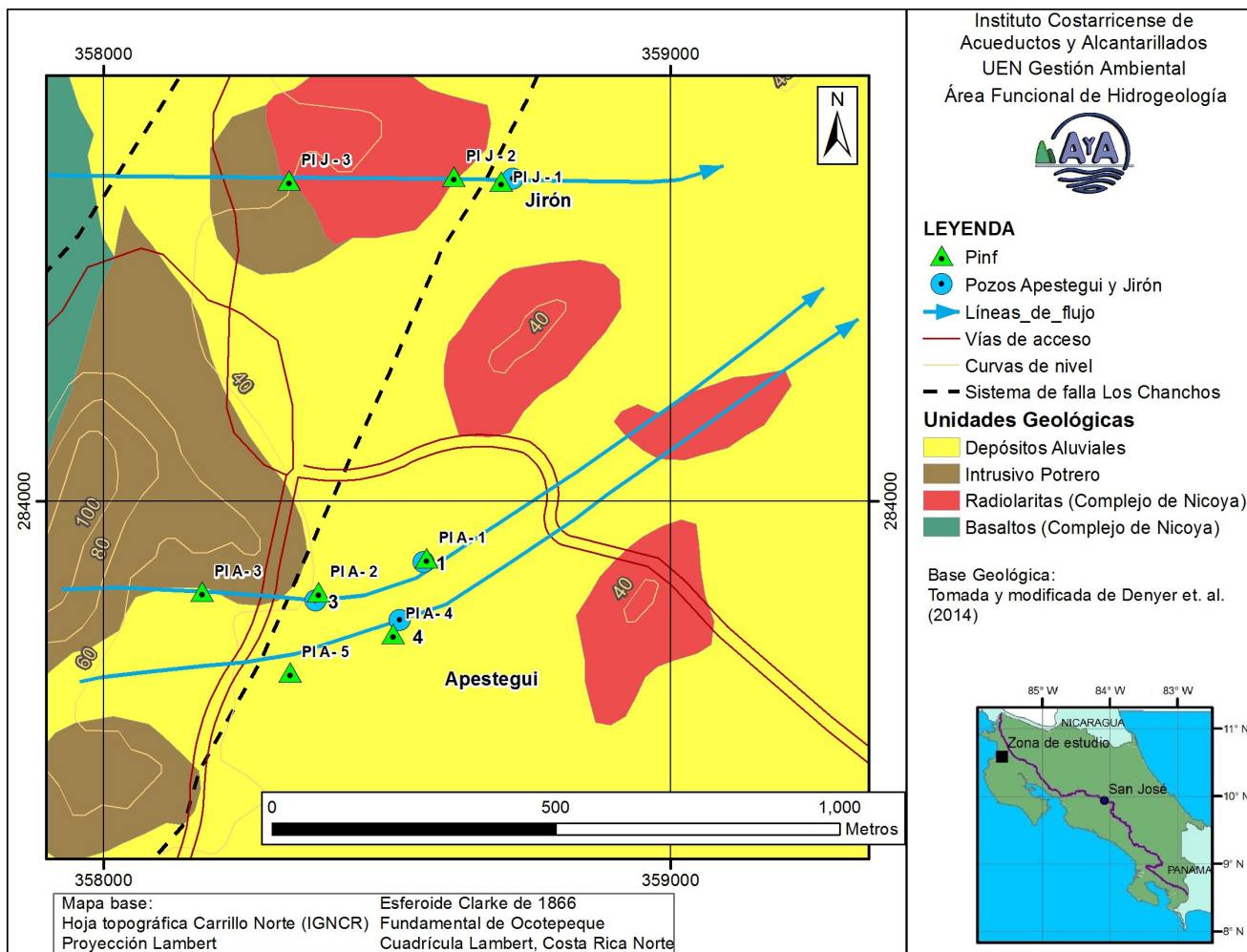


Figura 4. Ubicación de pruebas de infiltración para evaluar la zona no saturada de los pozos Apestegui 1, 3, 4 y Jirón

Tabla 3. Tiempo de tránsito zona no saturada, flujo vertical para cada pozo evaluado

APESTEGUI 1	Litología. Zona no saturada	b (m)	Θ (%)*	Prueba Inf**	k (m/d)	i (m/m)	t(ZNS)_ (días)
	Suelo (limoso por macroscopía)	1	50	A1	0,4752	1	1,0522
	Arena fina	2	45	A1	0,4752	1	1,8939
	Arcilla fracturada	0,23	60	A4	1,1722	1	0,1177
t(ZNS)_total_(días) = t1:							3,06
APESTEGUI 3	Litología. Zona no saturada	b (m)	Θ (%)*	Prueba Inf*	k (m/d)	i (m/m)	t(ZNS)_ (días)
	Suelo (limoso por macroscopía)	3	50	A2	0,5990	1	2,5042
	Radiolaritas y basaltos	7	18,5	A3	0,3310	1	3,9124
t(ZNS)_total_(días) = t1:							6,42
APESTEGUI 4	Litología. Zona no saturada	b (m)	Θ (%)*	Prueba Inf*	k (m/d)	i (m/m)	t(ZNS)_ (días)
	Suelo (arcilloso fracturado, macros.)	1	60	A4	1,1722	1	0,5119
	Arena fina	2	45	A1	0,4752	1	1,8939
	Arcilla fracturada	0,97	60	A4	1,1722	1	0,4965
t(ZNS)_total_(días) = t1:							2,90
JIRÓN	Litología. Zona no saturada	b (m)	Θ (%)*	Prueba Inf*	k (m/d)	i (m/m)	t(ZNS)_ (días)
	Suelo (arcilloso fracturado, macros.)	3	60	J1	5,0299	1	0,3579
	Radiolaritas y basaltos	2,26	18,5	J2	0,4824	1	0,8667
t(ZNS)_total_(días) = t1:							1,22

Referencias:

*Custodio & Llamas (1983) y Sanders (1998): porosidad Θ (%), para materiales análogos

**Resultados de pruebas de infiltración, gira del 15-17/03/2017 (k moderada), para sitio

Se determina un tiempo menor que *100 días* para la zona evaluada (espesor total suprayacente a los materiales saturados). Al ser el resultado menor que la norma (de los *100 días* para medios fracturados; Rodríguez, 1994); esto indica que el contaminante advectivo de tipo patógeno no se degradaría antes de llegar a la tabla de agua, por tanto, se hace necesario calcular la distancia de degradación del contaminante en la zona saturada, esto es, el parámetro de su recorrido en la componente subhorizontal del flujo (distancia: "d"), bajo el gradiente hidráulico del agua subterránea.

2.1.2 Zona saturada

El tiempo de tránsito restante para la degradación del fluido contaminante patógeno advectivo, en la zona saturada, se determina con la fórmula:

$$t_2 = (\text{Norma} - t_1)$$

Donde:

Norma = 100 días para medios fracturados (Rodríguez, 1994).

t_1 = varía para cada pozo evaluado (**Tabla 3**)

Por cuanto, la distancia de degradación para un flujo de contaminantes patógenos en la zona saturada ("d"), bajo condiciones de carga hidráulica, se determina con la fórmula:

$$d = (t_2 * k * i) / (\theta)$$

Donde:

t_2 : tiempo de tránsito necesario para completar la degradación del fluido contaminante patógeno advectivo en la zona saturada = varía en cada pozo evaluado (**Tabla 4**)

k: conductividad hidráulica de la zona saturada ($k=T/b$) = varía en cada pozo (**Tabla 4**)

Se indica que para cada análisis de caso, se escogió la k crítica o mayor de acuerdo a análisis de datos de las pruebas de bombeo de los pozos Apestequi 1, 3, 4 y Jirón; y a partir de los datos de reportes de perforación de pozos cercanos (**Anexo 1, Figura 3**).

Datos de k, conforme las transmisividades (T), de los materiales ensayados (b: rejillas):

Pozo Apestequi 1, $T= 237,09 \text{ m}^2/\text{d}$ (en planicie aluvial, pero capta rocas del Complejo de Nicoya). Espesor total de rejillas “conocido” (b^*)= 12 m. Siendo k calculada = 19,76 m/d. *Se aclara que no se conoce el tramo real de rejilla para este pozo; por cuanto se indica que el dato de “b”, está conforme los tramos de rejilla dados hasta donde la Unidad Técnica de Perforaciones logró llegar con la filmación interna del pozo (siendo que el video implica hasta 30 mbns, mientras que el pozo posee 44 m de profundidad).

Pozo Apestequi 3, $T= 63,69 \text{ m}^2/\text{d}$ (más cercano a los cerros con intrusivos). Espesor total de rejillas= 22 m. Siendo k= 2,90 m/d.

Pozo Apestequi 4, $T= 246,11 \text{ m}^2/\text{d}$ (en planicie aluvial pero capta rocas del Complejo de Nicoya). Espesor total de rejillas (b)= 23 m. Siendo k= 10,70 m/d.

Pozo Jirón, $T= 159 \text{ m}^2/\text{d}$ (en planicie aluvial pero capta rocas del Complejo de Nicoya). Espesor total de rejillas (b)= 22,5 m. Siendo k= 7,07 m/d.

Pozos cercanos: CN-180, $T= 191 \text{ m}^2/\text{d}$ (en planicie aluvial, cerca hay rocas del Complejo de Nicoya) y CN-179, $T= 44,16 \text{ m}^2/\text{d}$ (en planicie aluvial, pero es pozo poco profundo).

i: gradiente hidráulico = varía para cada pozo (a partir de las curvas isofreáticas)

θ : porosidad efectiva de los materiales de la zona saturada = 18,5% (para materiales análogos a los estudiados en la zona saturada de los pozos en cuestión, Custodio & Llamas, 1983).

d: distancia necesaria para completar la degradación del contaminante patógeno advectivo (m)_(**Tabla 4**).

Tabla 4. Tiempo de tránsito y distancia de recorrido en el flujo subterráneo, necesarios para completar la degradación de un contaminante patógeno advectivo microbiológico, en la zona saturada captada por los pozos evaluados

	Litología. Zona saturada	t_2 (d)	k (m/d)	Prueba Bombeo**	i (m/m)	Θ (%)*
APESTEGUI 1	Arcilla fracturada	96,94	10,70	k conforme Apestequi 4, ya que b para Apestequi 1, incompleto	0,00405	18,5
	Radiolaritas y basaltos					
	d (m):					
APESTEGUI 3	Litología. Zona saturada	93,58	2,90	Prueba Bombeo*	i (m/m)	Θ (%)*
	Radiolaritas y basaltos		Ninguna observación	0,00405	18,5	
	d (m):				5,93	
APESTEGUI 4	Litología. Zona saturada	97,10	10,70	Prueba Bombeo*	i (m/m)	Θ (%)*
	Arcilla fracturada					
	Radiolaritas y basaltos					
	d (m):				22,97	
JIRÓN	Litología. Zona saturada	98,78	7,07	Prueba Bombeo*	i (m/m)	Θ (%)*
	Radiolaritas y basaltos					
	d (m):				16,34	

Referencias:

*Custodio & Llamas (1983): porosidad Θ (%), para materiales análogos (se tomó en todos los casos, Θ del Complejo de Nicoya como 18,5%)

**Resultados de pruebas de bombeo para cada sitio: $k_{\text{acuífero}} \text{ (m/d)} = T/b$. Excepción: Apestequi 1, donde se utilizó información de Apestequi 4.

Es importante resguardar al menos *un área de radio “d” alrededor de cada pozo según corresponda, considerando la misma* como un factor de seguridad microbiológico mínimo. Dicha zona realmente se extiende aguas arriba de cada pozo, conforme la longitud “d” necesaria para la degradación de la contaminación patógena advectiva en el medio hidrogeológico saturado (**Tabla 4**); sobre la línea de flujo correspondiente a cada pozo, **Figura 3**). La misma se encuentra hacia lo interno de cada zona de protección final de los pozos evaluados, lo cual se describirá oportunamente en la sección 2.2.2 del presente informe.

2.2. Zona de protección para los pozos Apestegui 1, 3, 4 y Jirón

Dadas las especialmente difíciles y costosas medidas de tratamiento de una contaminación de las aguas subterráneas, lo más recomendable es aceptar que la mejor solución es siempre invertir en medidas de prevención de dicha contaminación. En este sentido, el método que actualmente presenta una mayor aceptación desde el punto de vista administrativo, es el establecimiento de áreas de protección alrededor de las captaciones o fuentes de agua que sirven para abastecimiento público, entre otros usos. Todo esto requiere en la mayoría de los casos, la puesta en práctica de posteriores y estrictas medidas de ordenamiento territorial (ejecución de las recomendaciones de estudios científicos como el presente), así pues, *mediante el cumplimiento y difusión de estas medidas y del conocimiento del contexto hidrogeológico de la fuente en cuestión, es que se logra una información lo suficientemente desarrollada para que la protección de dichas fuentes sea realmente efectiva.*

Como dato adicional, con respecto a la producción de cada pozo, cabe indicar que se recopiló la siguiente información durante la gira de campo con la parte técnica de la Región Chorotega del AyA en el sitio (**Tabla 5**):

Tabla 5. Datos de producción de los pozos de interés.

Nombre	Lambert Norte		Caudal explotación (l/s)
	Latitud	Longitud	
Apestegui 1	283893,2	358564,75	8*
Apestegui 3	283825,01	358373,9	7*
Apestegui 4	283791,19	358522,89	15*
Jirón	284569,16	358721,96	33**

*Caudal de explotación actual para el pozo, dato a la fecha de la inspección de campo.
 **Caudal de explotación recomendado para el pozo, según informe 050503-UTP 00068-2016 de la Unidad Técnica de Perforación, UEN-AP.

2.2.1 Zona operacional de los pozos Apestegui 1, 3, 4 y Jirón

Según Foster et al (2002), se define la misma como el perímetro de protección más interior dentro de una zona de resguardo o protección final de un pozo, la cual comprende una pequeña área de terreno alrededor de la propia fuente de abastecimiento. Es deseable que esta área sea propiedad y esté bajo el control del ente administrador que realizará la explotación. Las restricciones propuestas para la zona de amortiguamiento serían las mismas que para zonas operacionales, de la siguiente manera:

- *Foster et al (2002), indican que es un área de reserva absoluta. En ella no se deberán permitir actividades que no estén relacionadas con la extracción misma del agua y aún así estas actividades necesitan ser evaluadas y controladas cuidadosamente para evitar la posibilidad de que los contaminantes alcancen la fuente ya sea de forma directa o a través de alteraciones del terreno en las adyacencias.*

- Todas las partes de esta zona que sean usadas para actividades de mantenimiento del pozo, deberían tener un piso de concreto para prevenir la infiltración de sustancias químicas u otras (aceites, etc), que sean utilizadas en el mantenimiento del pozo o de la bomba. Para prevenir la invasión de animales y vandalismo, la colocación de una cerca perimetral en esta zona es una práctica usual y muy recomendable (Foster et al, 2002).
- La especificación de la dimensión de esta área es siempre algo arbitraria y depende en cierto modo de la naturaleza de las formaciones geológicas locales, aunque es altamente recomendable que posea un radio de por lo menos 20 metros, siempre y cuando se haya realizado inspección de campo detallada en un área de radio de 200 metros o más (Foster et al, 2002). *Esto se cumple para el caso en estudio, ya que se realizó un trabajo de detalle. **Se propone una zona operacional de radio de 23 m, para los pozos Apestegui 1, 3, 4 y Jirón.***
- Se explica que al ser la zona operacional: una “zona de protección absoluta”; esto incluye que, dentro de la misma, no se debe permitir tampoco ningún tipo de actividad antrópica que genere flujos o lixiviados que contengan o generen contaminantes de tipo *advectivo* (aquellos que se mueven con o como el agua), tales como los de *origen patógeno*- y mucho menos de otros tipos de contaminantes más agresivos para el medio hidrogeológico o nocivos para la salud (productos químicos como pinturas u otros, fertilizantes/pesticidas/agroquímicos hidrosolubles o hidrofóbicos, hidrocarburos o derivados del petróleo, etc). Entiéndase que la protección absoluta de estas áreas, implica también no admitir por ejemplo, el uso del terreno para instaurar tanques sépticos o fosas sépticas, así como, que no se deben de realizar ni utilizar letrinas en esta área. Se indica que fuera de dicha área establecida, el espacio es aprovechable para otros posibles usos del terreno, que sean amigables con el ambiente.

El ente ejecutor pertinente, deberá utilizar la zona operacional descrita como zona de protección absoluta, dentro de la zona de protección final de cada pozo, como se describirá oportunamente en la siguiente sección del informe, precisamente para darle un resguardo a los pozos en cuestión, acorde con su entorno hidrogeológico circundante, como ya se ha comentado.

2.2.2 Zona de protección por el método de radio fijo (pozos Apestegui 1, 3, 4 y Jirón). Zona de protección final.

Se tomó como medida práctica e inmediata, la aplicación de lo que se conoce como “zona de protección de radio fijo” para los pozos en cuestión, la cual es una metodología que establece un radio de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$r = [(Q * t) / (\pi * \theta * b)]^{1/2}$$

Donde:

Q: caudal del pozo (m³/d) (**Tabla 5**)

t = t₂: tiempo de tránsito necesario para completar la degradación del fluido contaminante patógeno advectivo en la zona saturada (días) = varía en cada pozo evaluado (**Tablas 4 y 6**)

π: constante Pi (adimensional) = 3,14

θ: porosidad del acuífero (zona saturada captada, %) = varía en cada pozo evaluado (**Tablas 4 y 6**).

b: espesor del acuífero (zona saturada captada, metros) = varía para cada pozo (**Tablas 6**)

r: radio fijo (metros)_(**Tabla 6**)

Donde la zona de protección se establece a partir de rotar el radio alrededor de un punto central (en este caso, el punto donde se ubica el pozo respectivo), obteniendo un área circular de radio “r”. Sin

embargo, para efectos prácticos de manejo del terreno, ya que no se recomienda establecer lotes circulares como zonas de resguardo, se ha establecido por criterio de experto, que el área de zona de protección obtenida por esta metodología, sea inscrita dentro de un paralelogramo (cuadrilátero perfecto). Por lo tanto, la zona de protección resultante por el método de radio fijo, es de área cuadrada de lado “2r”, como se indica en la **Tabla 6**.

Tabla 6. Zona de protección por método de radio fijo (radio r, inscrito en un área cuadrada de lado 2r)

APESTEGUI 1	Q (l/s)	Q (m ³ /d)	t2 (d)	π	Θ (%)*	b (m)**	ÁREA CUADRADA (m²)	
	8	691,2	96,94	3,14	18,5	23		
	r (m):						70,82	20059,51
APESTEGUI 3	Q (l/s)	Q (m ³ /d)	t2 (d)	π	Θ (%)*	b (m)	ÁREA CUADRADA (m²)	
	7	604,8	93,58	3,14	18,5	22		
	r (m):						66,55	17715,23
APESTEGUI 4	Q (l/s)	Q (m ³ /d)	t2 (d)	π	Θ (%)*	b (m)	ÁREA CUADRADA (m²)	
	15	1296,0	97,10	3,14	18,5	23		
	r (m):						97,05	37674,26
JIRÓN	Q (l/s)	Q (m ³ /d)	t2 (d)	π	Θ (%)*	b (m)	ÁREA CUADRADA (m²)	
	33	2851,2	98,78	3,14	18,5	22,5		
	r (m):						146,79	86189,17

Referencias:

*Custodio & Llamas (1983): porosidad Θ (%), para materiales análogos (se tomó en todos, Θ del Complejo de Nicoya fracturado como 18,5%)

**Resultados de b para cada pozo (m). Excepción: Apestequi 1, se utiliza b de Apestequi 4, ya que b Apestequi 1 está incompleto (video UTP-AyA)

Por cuanto, dicha zona de protección cuadrada obtenida de la aplicación práctica de la metodología de radio fijo como se ha descrito en la presente sección (**Figura 5**), puede ser entendida en cierta medida, como una “zona de amortiguamiento a la contaminación microbiológica” alrededor de cada pozo, ya que con base en los resultados de los cálculos de tiempos de tránsito, esta zona de protección cuadrada, engloba también la zona de protección microbiológica (“d”, **Tabla 4**; sobre la línea de flujo correspondiente a cada pozo); así como la zona operacional (de 23 m alrededor de cada pozo) lo cual actúa como factor de seguridad en cada caso; y donde para ello se ha tenido que simular un modelo hidrogeológico del terreno en estudio, como ya se ha comentado oportunamente en secciones anteriores.

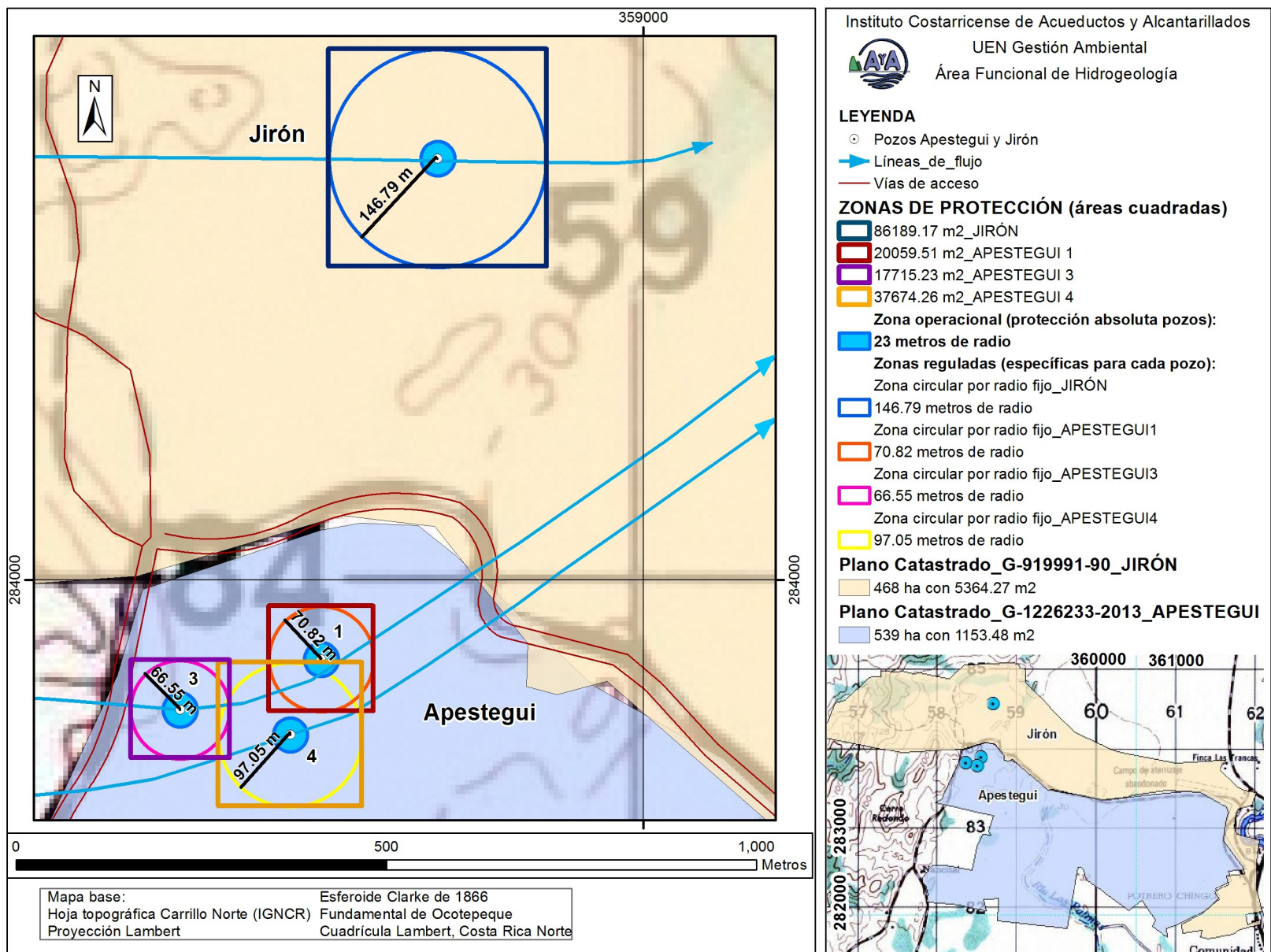
La **Figura 5** muestra la morfología y geometría de la zona de protección final de los pozos evaluados en este estudio.

2.3 Calidad del agua captada por los pozos evaluados (pozos Apestequi 1, 3, 4 y Jirón)

Conforme con los reportes del Laboratorio Nacional de Aguas del AyA, la calidad del agua de los pozos evaluados se resume en la (**Tabla 7, Anexo 2**). Según indica el Laboratorio Nacional de Aguas, la calidad físico-química indicada está conforme los criterios LNA-2012. Parámetros: Reglamento para la Calidad del Agua Potable (No 38924-S del 12/01/2015; Gaceta: 170 del 01/09/2015. Alcance: 69) y su reforma (Reforma Reglamento para la calidad del Agua Potable N° 39144-S del 29/07/2015).

Tabla 7. Calidad del agua de los pozos

Pozo	Calidad físico-química	Calidad microbiológica	Pozo	Calidad físico-química	Calidad microbiológica
Jirón	Buena	No hay registro	Apestequi 3	Buena	Excelente
Apestequi 1	Excelente	Excelente	Apestequi 4	Buena	Excelente



Figuras 5. Zonas de protección para los pozos Apestequi 1, 3, 4 y Jirón

III. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Por tanto, con base en los resultados del estudio realizado, se concluye que:

- › “la geología de la localidad de estudio está compuesta principalmente por rocas del Complejo de Nicoya (radiolaritas y basaltos) y depósitos aluviales”.
- › “la primera capa de zona no saturada (superficie en la cual se realizaron las pruebas de infiltración en el área conexas y circunvecina a los pozos, conformada por suelos superiores o regolita), hidrogeológicamente posee una conductividad hidráulica moderada”.
- › “el tiempo de tránsito vertical, de contaminantes advectivos de tipo patógeno (virus o bacterias), en los materiales de la zona no saturada, es menor que la norma de 100 días establecida por Rodríguez (1994)-Tabla 3; por lo que los contaminantes advectivos de tipo patógeno no se degradarían antes de llegar a la zona saturada (de índole fracturado) y se hace necesario el cálculo del parámetro “d” (distancia horizontal de recorrido de los contaminantes patógenos advectivos microbiológicos-en el flujo de agua subterránea, necesaria para ser completamente degradados, Tabla 4)”.
- › “se determinó una zona de protección regulada por el método de radio fijo (pozos Apestegui 1, 3, 4 y Jirón; inscrita en una zona cuadrada, **Tabla 6**), con dimensiones tales como se muestran en la **Figura 5** del presente informe:
 - › “según los análisis hidrogeológicos realizados (respecto a contaminantes microbiológicos para la protección de los pozos Apestegui 1, 3, 4 y Jirón, “d”-Tabla 4), se propuso utilizar para cada pozo evaluado, una zona operacional de 23 m de radio (zona de protección absoluta), con lo cual, se busca proteger tanto los pozos Apestegui 1, 3, 4 y Jirón; como el recurso hídrico subterráneo captado por los mismos”.

Por tanto, con base en los resultados del estudio realizado, se recomienda:

- › Implementar la Zona de Protección de los pozos Apestegui 1, 3, 4 y Jirón (áreas cuadradas, Figura 5), para el resguardo de estos pozos:
 - › En su sector interno se encuentra la zona operacional de protección absoluta de los mismos (de 23 m de radio)
 - › Dentro de la “zona operacional de protección absoluta” de los mismos (de 23 m de radio), se aplicarían las siguientes restricciones de uso del terreno: no se debe permitir ningún tipo de actividad antrópica que genere flujos o lixiviados que contengan o generen contaminantes de tipo advectivo (aquellos que se mueven con o como el agua; como los de tipo patógeno microbiológicos), ni otros más agresivos para el medio hidrogeológico o nocivos para la salud (productos químicos: pinturas u otros, fertilizantes/pesticidas/agroquímicos hidrosolubles o hidrofóbicos, hidrocarburos o derivados del petróleo, etc).
 - Entiéndase que la “protección absoluta” de esta área, implica no admitir la instauración de tanques sépticos o fosas sépticas, ni utilizar letrinas dentro de estas áreas. Para ello se recomienda que a futuro no se deberían permitir actividades que no estén relacionadas con la extracción misma del agua y aún así estas actividades necesitan ser evaluadas y controladas cuidadosamente (por el ente administrador que realizará la explotación). Todas las partes de esta zona que sean usadas para actividades de mantenimiento del futuro pozo, deberían tener un piso de concreto para prevenir la infiltración de sustancias químicas u otras (aceites, etc), que sean utilizadas en el mantenimiento de dichos pozos o de la bomba. Para prevenir la invasión de animales y vandalismo, la colocación de una cerca perimetral en estas zonas

es una práctica usual y muy recomendable.

- › **En el área restante de la zona de protección regulada, el espacio es aprovechable para otros posibles usos del terreno, que sean amigables con el ambiente; donde la Unidad de Diseño de AyA, pueda realizar la distribución de las tuberías, del equipo requerido e infraestructura necesaria, para el buen funcionamiento de los pozos evaluados.**
- › Realizarle limpieza a los pozos, por lo menos una cada dos años.
- › Realizar análisis frecuentes de calidad de agua, al menos uno cada seis meses (uno en época lluviosa y otro en época seca).
 - › Realizarle análisis de calidad microbiológica al agua del pozo Jirón, ya que se carece de este dato.

VI. REFERENCIAS

- AYA, INSTITUTO COSTARRICENSE DE ACUEDUCTOS Y ALCANTARILLADOS, 1994: "NORMAS PARA EL CÁLCULO DE LOS TIEMPOS DE TRÁNSITO ENTRE LOS DRENAJES DE LOS TANQUES SÉPTICOS Y LAS FUENTES DE AGUA SUBTERRÁNEA". DIVISIÓN DE ESTUDIOS Y PROYECTOS. SAN JOSÉ.
- CHAVES, J.-AYA, 2017: UEN-AP-2017-00515. ENVÍO DE INFORMACIÓN TÉCNICA EXISTENTE EN LA UTP PARA LA EVALUACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE PROYECTOS DE PERFORACIÓN: INFORMES DE PERFORACIÓN, PRUEBAS DE BOMBEO Y FILMACIÓN, POZOS APESTEGUI Y JIRÓN. -1 PÁG, 1 CD. [REPORTE INTERNO MARZO, 2017].
- CUSTODIO, E. & LLAMAS, M. R., 1 983: HIDROLOGÍA SUBTERRÁNEA (TOMO I Y II). -2100 PÁGS. EDICIONES OMEGA S. A., BARCELONA.
- ECHANDI, E. & SCHOSINSKY, G.: CONAGUA S.A, 2001: ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO DEL VALLE ALUVIAL SUPERIOR DEL RÍO TEMPISQUE. CANTONES DE CARRILLO Y LIBERIA. PROVINCIA DE GUANACASTE. -29 PÁGS. [REPORTE INTERNO MAYO, 2001].
- ELIZONDO, J. & RAMÍREZ, R.-SENARA & COLABORACIÓN DE AYA, 2011: DETERMINACION DE LA RECARGA Y DETERMINACION DE LA ZONA POTENCIAL PARA LA PERFORACIÓN DEL ACUÍFERO DE TRANCAS, CARRILLO, GUANACASTE. -24 PÁGS. [REPORTE INTERNO ENERO, 2011].
- RAMÍREZ, S.-AYA, 2011: SUB-G-AID-UEN_GA-2011-987. INFORME DE INSPECCIÓN. SITIO DE PERFORACIÓN DEL PIEZÓMETRO N°4, ACUÍFERO LAS TRANCAS. GUANACASTE. CRONOGRAMA DE GIRAS PRIMER SEMESTRE 2011 (DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA DEL PIEZÓMETRO N°4 DE LAS TRANCAS). -18 PÁGS. [REPORTE INTERNO JUNIO, 2011].
- RAMÍREZ, S.-AYA, 2013: SUB-G-AID-UEN_GA-2013-1012. SUB-G-AID-UEN_GA-2013-893: INFORME. DETERMINACIÓN DE LA ZONA DE AMORTIGUAMIENTO A LA CONTAMINACIÓN MICROBIOLÓGICA, PARA UN TERRENO DEL ICT DONDE SE PERFORARÁ A FUTURO UN POZO. COMUNIDAD, PALMIRA, CARRILLO, GUANACASTE. -12 PÁGS. [REPORTE INTERNO JUNIO, 2013].
- RAMÍREZ, S.-AYA, 2015: SB-AIDGA-2015-192. INFORME. DETERMINACIÓN DE LA ZONA DE AMORTIGUAMIENTO (PROTECCIÓN) A LA CONTAMINACIÓN MICROBIOLÓGICA, PARA LA PERFORACIÓN DE DOS POZOS. COMUNIDAD, PALMIRA, CARRILLO, GUANACASTE. -10 PÁGS. [REPORTE INTERNO FEBRERO, 2015].
- RAMOS, V.-AYA, 2011-DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA DEL PIEZÓMETRO N° 3 DE LAS TRANCAS. -4 PÁGS. [DOCUMENTO INTERNO JUNIO, 2011].

SANDERS, L.; 1998: A MANUAL OF FIELD HYDROGEOLOGY. -381 PÁGS. PRENTICE-HALL.

SENARA, 2017: REPORTE DE PERFORACIÓN DE POZOS.

VÁSQUEZ, M.-MAVAFER GEOCONSULTORES, 2007: POZO CN-157. ANÁLISIS DE PRUEBA DE BOMBEO Y CONSIDERACIONES HIDROGEOLÓGICAS. AGOSTO 2007. PALMIRA, CARRILLO, GUANACASTE. -14 PÁGS. [REPORTE INTERNO AGOSTO, 2007].

C:/ Archivo: UEN-GA-2017-00414(Info_ZP_Pzs_Apestegui1,3,4,Jirón)



INSTITUTO COSTARRICENSE DE ACUEDUCTOS Y ALCANTARILLADOS
San José, Costa Rica
Apartado 1097-1200. Teléfono 2543-6516. vramos@aya.go.cr

MEMORANDO

PARA: Ing. Fernando Herrera Cabezas
UEN ADMINISTRACIÓN DE PROYECTOS

FECHA: 19 de abril del 2017

DE: MSc. Viviana Ramos Sánchez
Directora, Área Funcional de Hidrogeología
UEN Gestión Ambiental

No. UEN-GA-2017-00430

ASUNTO: ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA ZONA DE PROTECCIÓN DE CUATRO POZOS: APESTEGUI I, III, IV Y JIRÓN. COMUNIDAD, PALMIRA, CARRILLO, GUANACASTE. Referencia: UEN-AP-2017-00433

En respuesta a la solicitud efectuada por la UEN de Administración de Proyectos hacia la Dirección de la UEN de Gestión Ambiental; mediante memorando UEN-AP-2017-00433, del 01° de marzo del 2017; se hace entrega del informe en referencia: **“ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA ZONA DE PROTECCIÓN DE CUATRO POZOS: APESTEGUI I, III, IV Y JIRÓN. COMUNIDAD, PALMIRA, CARRILLO, GUANACASTE”**; realizado por el Área Funcional de Hidrogeología, para lo que corresponda.

VB° Geóg. Gerardo Ramírez Villegas
Director, UEN de Gestión Ambiental

C: MSc. Yamileth Astorga Espeleta, Presidencia Ejecutiva
Ing. Manuel Salas Pereira, Subgerencia General
Ing. Andrés Sáez Vega, Subgerente Investigación y Desarrollo
Ing. Javier Valverde Hernández, Subgerencia Gestión Sistemas Periféricos
Ing. German Araya Montezuma, Región Chorotega
Ing. Miguel Araya Vargas, Gerencia General
Ing. Dagoberto Araya Villalobos, UEN Programación y Control
Archivo, UEN Gestión Ambiental
Archivo, Á.F. Hidrogeología: UEN-GA-2017-00430 (ci:145)



INSTITUTO COSTARRICENSE DE ACUEDUCTOS Y ALCANTARILLADOS
San José, Costa Rica
Apartado 1097-1200. Teléfono 2543-6380. soramirez@aya.go.cr

MEMORANDO

PARA: MSc. Viviana Ramos Sánchez
Directora, Área Funcional de Hidrogeología
UEN Gestión Ambiental

FECHA: 12 de abril del 2017

DE: MSc. Sofía Ramírez Vargas
UEN Gestión Ambiental

No. UEN-GA-2017-00414

ASUNTO: ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA ZONA DE PROTECCIÓN DE CUATRO POZOS: APESTEGUI I, III, IV Y JIRÓN. COMUNIDAD, PALMIRA, CARRILLO, GUANACASTE. Referencia: UEN-AP-2017-00433

En respuesta a la solicitud efectuada a la suscrita, se hace entrega del informe en referencia: **“ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA ZONA DE PROTECCIÓN DE CUATRO POZOS: APESTEGUI I, III, IV Y JIRÓN. COMUNIDAD, PALMIRA, CARRILLO, GUANACASTE”**; para lo que corresponda.

C: Archivo, Á.F. Hidrogeología: UEN-GA-2017-414 (ci:140)