

INSTITUTO COSTARRICENSE DE ACUEDUCTOS Y ALCANTARILLADOS
UN GESTIÓN AMBIENTAL
ÁREA FUNCIONAL DE HIDROGEOLOGÍA



ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO PARA LA UBICACIÓN DE UN SITIO PARA UNA PERFORACIÓN
DE EXPLORACIÓN-PRODUCCIÓN BAJOS DE ARÍO-BONGO-MAL PAÍS DE CÓBANO



ELABORÓ:

JORGE ALEJANDRO
SALAZAR CHACÓN
(FIRMA)

Firmado digitalmente por
JORGE ALEJANDRO SALAZAR CHACÓN
Fecha: 2020.06.03 17:14:57 -06'00'

Geól. Jorge A. Salazar Chacón

COLABORACIÓN.

MSc. Hector Zuñiga, Geól. Christian Corrales, Geól. Gerardo Chaves & Gestor Experto Marvin
Gómez

VIVIANA RAMOS
SANCHEZ
(FIRMA)

Firmado digitalmente
por VIVIANA RAMOS
SANCHEZ (FIRMA)
Fecha: 2020.06.03
17:14:57 -06'00'

Revisión y aprobación
MSc. Viviana Ramos Sánchez
Dirección UEN Gestión Ambiental

Junio, 2020



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, **Eric Alonso Bogantes Cabezas**

N° Cédula: 5-251-0327

Dependencia: **Gerencia General**

Autorizo como 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 y Catálogo en línea (OPAC).

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

E-mail: gerenciageneral@aya.go.cr N° Teléfono: 2242-5090



Firma: _____

Firmado digitalmente
por ERIC ALONSO
BOGANTES CABEZAS
(FIRMA)
Fecha: 2021.06.16
17:21:24 -06'00'

INDICE

1.INTRODUCCIÓN	1
1.1 Objetivo General.....	1
1.2 Objetivos específicos.....	1
1.3 Metodología	1
2. CONDICIONES GEOLÓGICAS REGIONALES Y LOCALES.	2
2.1 Complejo de Nicoya.....	2
2.1 Formación Piedras Blancas	2
2.2 Formación Arío.	2
2.3 Formación Montezuma	2
2.4 Formación Cóbano	2
2.5 Depósitos aluviales.....	2
2.6 Condiciones Estructurales.	3
3. INVENTARIO DE ELEMENTOS HIDROGEOLÓGICOS.....	5
4. GEOFÍSICA.....	7
4.1 Sondeos Eléctricos Verticales (SEVs).....	9
4.2 Sondeos Magnetotelúricos (SMTs)	17
5. ANÁLISIS MEDIANTE FLUORESCENCIA DE RAYOS X (XRF) PORTÁTIL.	20
6. DATOS DISPONIBLES DE AFOROS	22
7.MODELO HIDROGEOLÓGICO.....	24
8.ANÁLISIS DE COMPORTAMIENTO DE CAMPO DE POZOS BAJOS ARÍO.....	28
8.1 Prueba de bombeo escalonada Pozo Bajos Arío AyA-01 (04-01)	29
8.2 Prueba de bombeo escalonada Pozo Bajos Arío AyA-02 (04-10)	31
8.3 Prueba de bombeo continua Pozo Bajos Arío AyA-01 (04-01) 2004	33
8.4 Prueba de bombeo continua Pozo Bajos Arío AyA-02 (04-10) 2004	34
8.5 Prueba de bombeo continua Pozo Bajos Arío AyA-01 (04-01) (27/2/2011).	35
8.6 Prueba de bombeo continua Pozo Bajos Arío AyA-02 (04-010) (26/2/2011)	36
8.7 Prueba de bombeo continua Pozo Bajos Arío AyA-03 (04-03) (26/02/2011)	37
8.8 Prueba de bombeo continua Pozo Bajos Arío AyA-01 (04-01) 2015 (20/05/15)	38
8.9 Prueba de bombeo continua Pozo Bajos Arío AyA-02 (04-010) (20/05/2015)	39
8.10 Prueba de bombeo continua Pozo Bajos Arío AyA-03 (04-03) (20/05/2015)	40
8.11 Resumen de parámetros hidráulicos de pozos Bajos Aríos.....	41
8.12 Análisis de prueba de bombeo corta 2020 y proyecciones.....	41
9. RADIO DE INFLUENCIA.....	44
10. DISPONIBILIDAD HÍDRICA CAMPO DE POZOS BAJOS DE ARIO	45
11. ANÁLISIS DE INTRUSIÓN SALINA.....	48
12 CALIDAD FÍSICOQUÍMICA DEL CAMPO DE POZOS.	49
13. ALTERNATIVAS DE SITIO PARA PERFORACIÓN DE POZOS DE EXPLORACIÓN- PRODUCCIÓN.....	50
14. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	52
13. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.	55

INDICE DE FIGURAS

Figura N° 1 Figura de ubicación del área de estudio.	1
Figura N° 2 Mapa geológico área de estudio. (Tomado y modificado de Denyer et al., 2018)	4
Figura N° 3 Mapa de elementos hidrogeológicos para el área de estudio	6
Figura N° 4 Mapa con ubicación de sondeos eléctricos verticales (SEV) realizados por Hidroterra	

(2012) y sondeos eléctricos verticales (SEV) y magnetotelúricos (SMT) realizados como parte de estudio.	8
Figura N° 5 Gráfica de sondeo eléctrico vertical 1 (SEV).....	9
Figura N° 6 Gráfica de sondeo eléctrico vertical 2 (SEV).....	10
Figura N° 7 Gráfica de sondeo eléctrico vertical 3 (SEV).....	11
Figura N° 8 Gráfica de sondeo eléctrico vertical 4 (SEV).....	12
Figura N° 9 Gráfica de sondeo eléctrico vertical 5 (SEV).....	13
Figura N° 10 Gráfica de sondeo eléctrico vertical 7 (SEV).....	14
Figura N° 11 Gráfica de sondeo eléctrico vertical 8 (SEV).....	15
Figura N° 12 Gráfica de sondeo eléctrico vertical 9 (SEV).....	16
Figura N° 13 Seudosección de resistividades aparentes SMT1 y SMT2.	18
Figura N° 14 Seudosección de resistividades aparentes SMT3 y SMT1-2	19
Figura N° 15 Ubicación de pruebas XRF realizadas.....	21
Figura N° 16 Mapa con ubicación de aforos realizados por Chacón (2016)	23
Figura N° 17 Modelo hidrogeológico sector Bajos de Arío.....	25
Figura N° 18 Modelo hidrogeológico sector Bongo.....	26
Figura N° 19 Perfil hidrogeológico A-B.	27
Figura N° 20 Gráfica de abatimiento con respecto al tiempo para cada caudal probado.	29
Figura N° 21 Gráfica de S/Q eje Y y Q eje X para cálculo de valores B y C	30
Figura N° 22 Gráfica de abatimiento con respecto al tiempo para cada caudal probado.	31
Figura N° 23 Gráfica de S/Q eje Y y Q eje X para cálculo de valores B y C	32
Figura N° 24 Interpretación de prueba de bombeo pozo AyA 04-01 metodología de Jacob (Jacob-Cooper).....	33
Figura N° 25 Interpretación de prueba de bombeo pozo AyA 04-10 metodología de Jacob (Jacob-Cooper).....	34
Figura N° 26 Interpretación de prueba de bombeo pozo AyA 04-01 metodología de Jacob (Jacob-Cooper).....	35
Figura N° 27 Interpretación de prueba de bombeo pozo AyA 04-10 metodología de Jacob (Jacob-Cooper).....	36
Figura N° 28 Interpretación de prueba de bombeo pozo AyA 04-03 metodología de Jacob (Jacob-Cooper).....	37
Figura N° 29 Interpretación de prueba de bombeo pozo AyA 04-01 metodología de Jacob (Jacob-Cooper).....	38
Figura N° 30 Interpretación de prueba de bombeo pozo AyA 04-10 metodología de Jacob (Jacob-Cooper).....	39
Figura N° 31 Interpretación de prueba de bombeo pozo AyA 04-03 metodología de Jacob (Jacob-Cooper).....	40
Figura N° 32 Interpretación de prueba de recuperación de pozo 1 AyA 04-01 metodología de Jacob (Jacob-Cooper).	42
Figura N° 33 Prueba de bombeo de 3.25 horas simultánea en los 3 pozos y proyecciones. Eje Y abatimiento (m) Eje x tiempo (min).	43
Figura N° 34 Celda de flujo campo de pozos Bajo Arío.	47
Figura N° 35 Propuesta para perforación de un pozo de exploración-producción en sector de acuífero Bongo.	51

INDICE DE TABLAS

Tabla N° 1 Resumen de características de pozos inventariados y corroborados en campo, así como pozos registrados en bases de datos del SENARA.	5
Tabla N° 2 Características de cada sondeo realizado como parte de la investigación geofísica.	7
Tabla N° 3 Modelo de capas SEV 1.....	9
Tabla N° 4 Modelo de capas SEV 2.....	10
Tabla N° 5 Modelo de capas SEV 3.....	11
Tabla N° 6 Modelo de capas SEV 4.....	12
Tabla N° 7 Modelo de capas SEV 5.....	13
Tabla N° 8 Modelo de capas SEV 7.....	14
Tabla N° 9 Modelo de capas SEV 8.....	15
Tabla N° 10 Modelo de capas SEV 9.....	16
Tabla N° 11 Modelo de capas SMT1 y SMT2	18
Tabla N° 12 Modelo de capas SMT3	19
Tabla N° 13 Resultados obtenidos para los elementos de Fe y Mn en los análisis realizados.	20
Tabla N° 14 Datos disponibles de afloramientos realizados en río Arío, y río Caño Seco sector área de estudio. (Chacón, 2016)	22
Tabla N° 15 Tramos de río Caño Seco y Arío y su comportamiento con respecto al acuífero.	22
Tabla N° 16 Características de pozos Campo Bajo Arío.	28
Tabla N° 17 Caudales utilizados en prueba de bombeo por etapas Pozo Bajos Arío AyA-01 (04-01).	29
Tabla N° 18 Eficiencia para diferentes caudales de extracción del pozo Bajos Arío 1 (04-01)	30
Tabla N° 19 Caudales utilizados en prueba de bombeo por etapas Pozo Bajos Arío AyA-01 (04-01).	31
Tabla N° 20 Eficiencia para diferentes caudales de extracción del pozo Bajos Arío 2 (04-10)	32
Tabla N° 21 Resumen de parámetros hidráulicos calculados a partir de las pruebas de bombeo.	41
Tabla N° 22 Radio de influencia pozos campo Bajos de Arío.....	44
Tabla N° 23 Disponibilidad hídrica celda de flujo campo de pozos Bajos de Arío	45
Tabla N° 24 Análisis de intrusión salina campo de pozos Bajos de Arío	48

1.INTRODUCCIÓN

En atención al oficio SG-GSP-2020-00562 en el cual se priorizan los estudios hidrogeológicos para el plan de atención de emergencias sistema periféricos se indica como prioridad 1 la elaboración de un estudio hidrogeológico en el sector de Bajos Arío-Mal País de Cóbano para la ubicación de un nuevo pozo de abastecimiento para dicho sistema. En la Figura N°1 se muestra la ubicación del área de estudio

Posteriormente durante la coordinación de actividades con la región Pacífico Central se indica por parte del director regional y jefa cantonal de Cóbano problemas de calidad de agua por exceso de hierro y manganeso en los pozos de Bajos de Arío registrados en el último muestreo, dada esta condición se hace necesario valorar la condición del campo de pozos Bajos Arío.

Adicionalmente se indica por parte de la jefatura cantonal que la necesidad de un nuevo pozo nace a partir de que el campo de pozos Bajo Arío tenía proyectado una producción de 65 l/s, sin embargo, en la actualidad el máximo de producción que tienen es de 40.9 l/s y ante el eminente desarrollo de la zona costera en los próximos años es necesario contar con el caudal requerido del al menos 65 l/s para garantizar el abastecimiento en la zona.

Como parte del estudio se realizaron dos giras al área de interés la primera de ellas entre el 27 y 29 de abril del 2020 y la segunda entre el 20 y el 22 de mayo 2020 para la ejecución de investigación geofísica.

1.1 Objetivo General

- Valorar las condiciones hidrogeológicas del sitio Bajos Arío y la ubicación de un sitio para la perforación de un pozo de exploración-producción.

1.2 Objetivos específicos

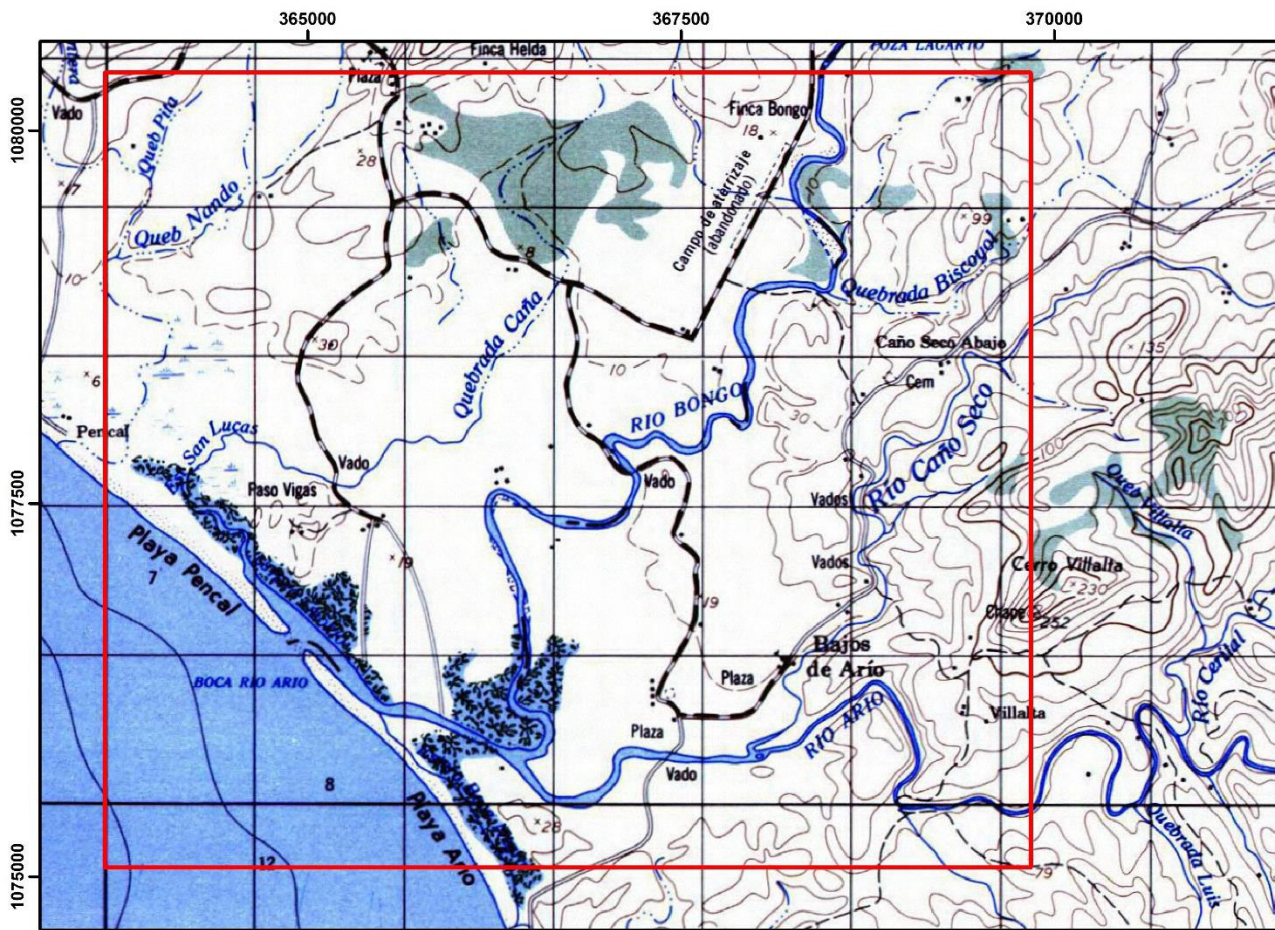
- Definir las condiciones hidrogeológicas del sitio.
- Analizar las condiciones hidrogeológicas actuales del campo de pozos Bajo Arío.
- Definir la ubicación de un nuevo pozo de exploración-producción en la zona.
- Indicar recomendaciones con respecto a la operación del campo de pozos Bajo Arío.
- Visualizar de manera integral las condiciones hidrogeológicas de la zona, la calidad fisicoquímica del agua y la disponibilidad del acuífero para el sector de interés.

1.3 Metodología

A continuación, se detallan las labores realizadas para la elaboración del siguiente estudio:

- Identificación de condiciones geológicas locales y regionales.
- Ejecución y análisis de ensayos geofísicos y pruebas XRF.
- Análisis y reinterpretación de la información disponible en la zona (aforos, ensayos geofísicos y pruebas de bombeo) realizada en años anteriores.

- Análisis de información y desarrollo de modelo hidrogeológico.
- Análisis y comportamiento de campo de pozos Bajos Arío.
- Análisis integral (disponibilidad hídrica, interferencia, radio de influencia e intrusión salina).



Instituto Costarricense de
Acueductos y Alcantarillados
UEN Gestión Ambiental
Área Funcional de Hidrogeología



Área de estudio



Proyección CRTM-5
Hoja Cartográfica Rio Ario
Escala 1:50 000

Figura N° 1 Figura de ubicación del área de estudio.

2. CONDICIONES GEOLÓGICAS REGIONALES Y LOCALES.

A continuación, se describen las principales unidades geológicas presentes en el área de estudio. (Figura N°2)

2.1 Complejo de Nicoya

Descrita por Denyer & Arias (1993) los cuales subdividen las rocas ígneas del Complejo de Nicoya en una unidad de basaltos que conserve el nombre original de Complejo de Nicoya y otra unidad intrusiva, formada por los gabros, microgabros y doleritas denominadas intrusivo Potrero. Los basaltos y los intrusivos, representan las dos unidades dominantes del Complejo de Nicoya.

2.1 Formación Piedras Blancas

Aguilar et al (2014) indica que esta formación está conformada por sedimentos hemipelágicos que presentan globotruncanas del Cretácico Superior, esta unidad evidencia una sedimentación carbonatada hemipelágica que ocurrió durante el Campaniano Superior terminal hasta el Maastrichtiano inferior basal.

2.2 Formación Arío.

Astorga (1987). Describe a esta formación como turbiditas de grano fino e intercalaciones de sedimentos pelágicos, así como mezcla de lodos micríticos y terrígenos intercalados con arenas detríticas silicoclásticas.

2.3 Formación Montezuma

Dengo (1962) indica que está conformada de conglomerados y areniscas en la parte inferior, pasando gradualmente a limolitas y areniscas finas de color gris azulado y pardo claro.

2.4 Formación Cóbano

Aguilar et al. (2014) la caracteriza como sedimentos de origen continental asociados a depósitos de abanicos aluviales, los cuales están conformados por conglomerados, con clastos volcánicos del Complejo de Nicoya, pedernales rojos y amarillos, en una matriz arenosa o arcillosa de colores rojizos.

2.5 Depósitos aluviales

Depósitos de gravas, arenas y limos (Fotografía N°1) producto de la erosión y posterior depositación de los principales ríos de la zona, particularmente río Arío, río Caño Seco y río Bongo, A partir de registros de perforación se evidencia la presencia de depósitos limo-arcillosos

de hasta 14 m de espesor asociados a planicies de inundación sobreyaciendo depósitos de arenas, gravas y aluviones. Esta unidad a la vez sobreyace a la secuencia sedimentaria predominante en la zona,



Fotografía N° 1 Depósitos aluviales finos sobreyaciendo estratos de gravas en margen de río Arío.

2.6 Condiciones Estructurales.

Según Aguilar et al., 2014 indica que en el área de interés se determina la presencia de fallas de componente lateral, tales como la falla Bongo de componente dextral, con un rumbo NNW a NNE, el cual se divide en dos ramales hasta la falla Cedro. En la figura n°2 se muestra la ubicación de estas estructuras con respecto al área de estudio.

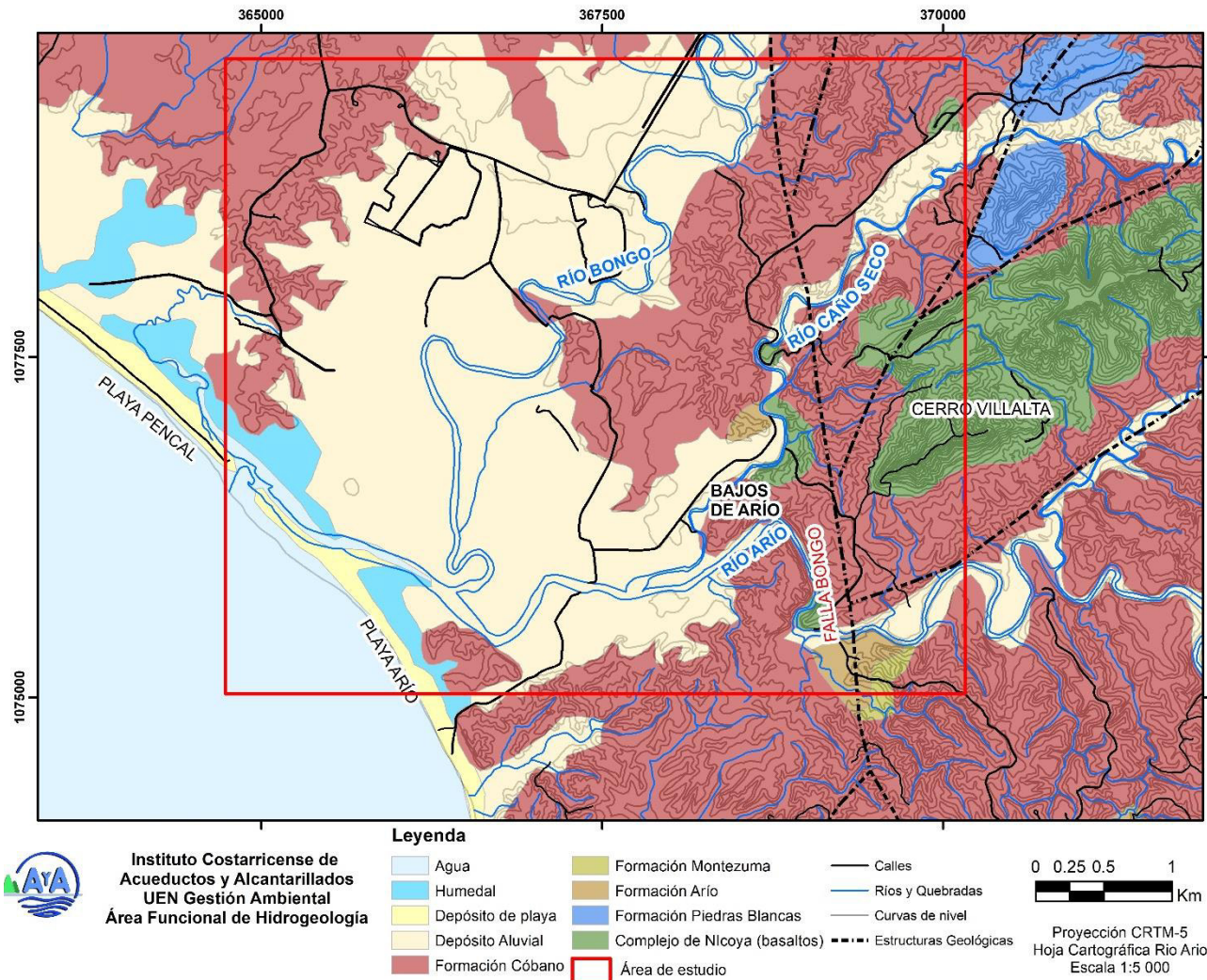


Figura N° 2 Mapa geológico área de estudio. (Tomado y modificado de Denyer et al., 2018)

3. INVENTARIO DE ELEMENTOS HIDROGEOLÓGICOS.

Se realizó revisión de la base de datos de pozos del Senara, la base de datos de concesiones de la Dirección de Aguas y la base de datos de pozos del AyA con el objetivo de identificar los pozos registrados en el área de interés, adicionalmente se realizó levantamiento de pozos artesanales en campo y se corroboró la ubicación de los pozos registrados en las bases de datos, así como la medición del nivel del agua de los mismo.

En la tabla n°1 se resumen las características de cada pozo y en el Anexo 1 se detalla el levantamiento realizado para cada elemento, en la figura N°3 se presenta la ubicación de los pozos con respecto al área de estudio.

Tabla N° 1 Resumen de características de pozos inventariados y corroborados en campo, así como pozos registrados en bases de datos del SENARA.

Pozo	Tipo	X	Y	Brocal	NE	ND	Elevación	Elevación de NF	Profundidad
RA-208	Piezómetro SENARA	369291	1076117	0.6	14.34		67	52.06	ND
**PPBA-1	Perforado	369331	1076454	0.46	23.35	ND	80	56.19	ND
**PPBA-2	Perforado	368674	1076891	0.55	6.51	ND	17.7	10.64	ND
PABA-1	Artesanal	368387	1076713	0.9	6.57	ND	14	6.53	ND
PABA-2	Artesanal	366387	1074888	0.65	5.07	ND	8.34	2.62	ND
PABA-3	Artesanal	367304	1076230	0.7	5.72	ND	10	3.58	ND
PPBA-3	Perforado	367176	1075517	ND	ND		10	ND	ND
**PPBA-4	Perforado	367430	1077416	ND	ND		10	ND	ND
PABA-4	Artesanal	366990	1077842	0.93	7.78		10	1.29	ND
**PABA-5	Artesanal	366924	1077859	1.18	9.36		10	-0.54	13
PPBA-5	Perforado	368222	1079905	0.32	6.05		11.5	5.13	ND
PozoAyA-01 (04-01)	Perforado	367887	1076159	0.4	5.81	17	10	3.79	23
Pozo AyA-02 (04-10)	Perforado	367825	1076277	0.45	5.32	18.34	10	4.23	25
Pozo AyA-03 (04-03)	Perforado	367788	1076220	0.4	5.34	7.9	10	4.26	25
*RA-135	Perforado	367760	1075662	ND	0.70	ND	ND	ND	14
*RA-210	Perforado	367208	1075212	ND	2.8	ND	ND	ND	50
*RA-134	Perforado	367552	1077094	ND	0.70	ND	ND	ND	14
*RA-227	Perforado	366332	1075522	ND	ND	ND	ND	ND	ND
*RA-133	Perforado	367691	1078942	ND	2.10	ND	ND	ND	24
*PABA-6	Artesanal	366216	1077859	ND	ND	ND	ND	ND	ND
*PABA-7	Artesanal	366427	1078018	ND	ND	ND	ND	ND	ND
PABA-8	Artesanal	366621	1078196	ND	ND	ND	ND	ND	ND

*Pozos no corroborados en campo por presentarse en terrenos privados o mal georeferenciados.

** Pozos no registrados en bases de datos de SENARA y Dirección de Aguas.

ND= No determinado.

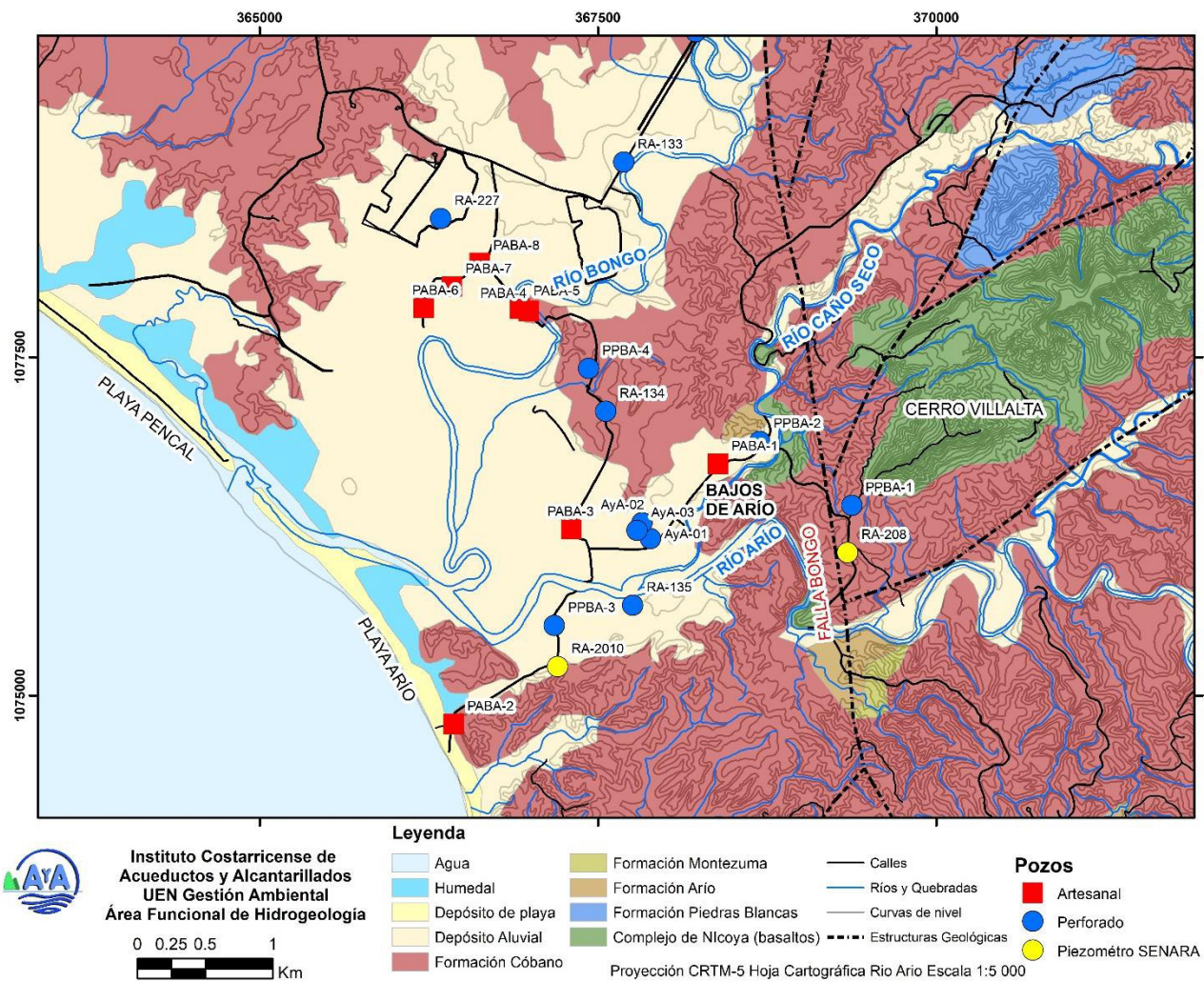


Figura N° 3 Mapa de elementos hidrogeológicos para el área de estudio

4. GEOFÍSICA.

Entre el 21 y 22 de mayo del 2020 por parte del Área funcional de Hidrogeología de la UEN Gestión Ambiental se realizan 5 sondeos eléctricos verticales (SEV) y 3 sondeos magnetotelúricos (SMT) en el área de estudio. (Figura N°4). En la tabla N°2 se detalla la característica de cada sondeo.

Adicionalmente el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA) mediante contratación directa N°2012CDS-000065-PRI solicitó a la empresa Hidrotierra en el 2012, la ejecución de 21 sondeos eléctricos verticales en la cuenca del río Arío, particularmente para el área de estudio se realizaron los sondeos número 7,8 y 9. (Figura N°4).

A partir de los datos obtenidos se realiza una reinterpretación de los sondeos eléctricos verticales realizados por Hidrotierra en el 2012 y la interpretación de los sondeos eléctricos verticales y magnetotelúricos realizados como parte de este estudio. La inversión de datos fue realizada mediante el software IPI2WIW.

Tabla N° 2 Características de cada sondeo realizado como parte de la investigación geofísica.

Sondeo	Coordenadas (CRTM-05)	Profundidad de investigación (m)	Realizado por
SEV1	1078556/366750	116	AyA (2020)
SEV2	1077901/366917	67	AyA (2020)
SEV3	1077404/367470	67	AyA (2020)
SEV4	1076570/367467	83	AyA (2020)
SEV5	1078777/367101	133	AyA (2020)
SEV7	1102449/487438	50	Hidrotierra (2012)
SEV8	1102454/487448	50	Hidrotierra (2012)
SEV9	1102431/487448	50	Hidrotierra (2012)
SMT1	1077889/366935	1284	AyA (2020)
SMT2	1077892/366938	1351	AyA (2020)
SMT3	1077423/367463	1069	AyA (2020)

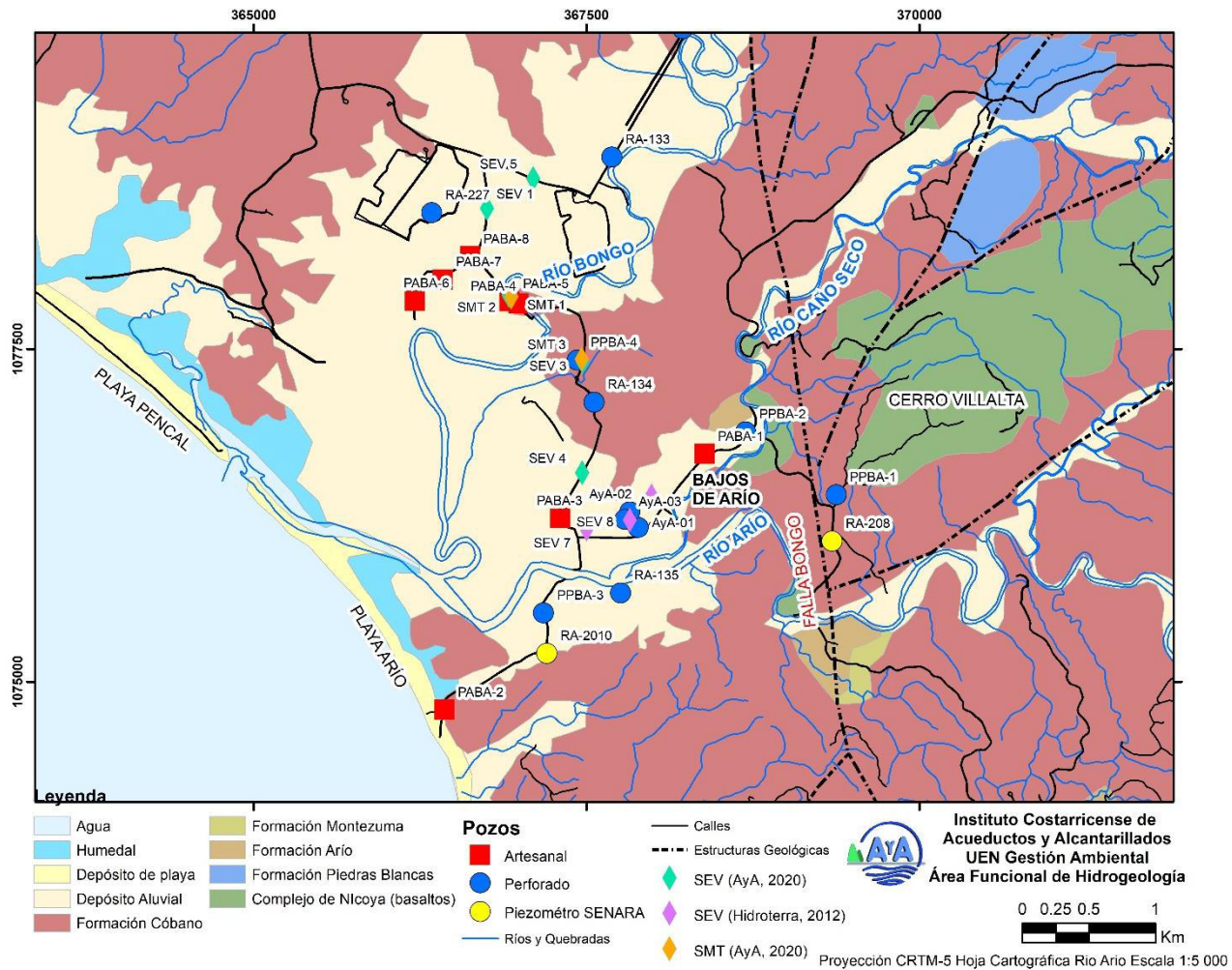


Figura N° 4 Mapa con ubicación de sondeos eléctricos verticales (SEV) realizados por Hidroterra (2012) y sondeos eléctricos verticales (SEV) y magnetotelúricos (SMT) realizados como parte de estudio.

4.1 Sondeos Eléctricos Verticales (SEVs)

En la figura N°5 se presenta la gráfica correspondiente con la interpretación del sondeo eléctrico vertical (SEV 1). En la Tabla N°3 se presenta la interpretación del modelo de capas para el SEV 1.

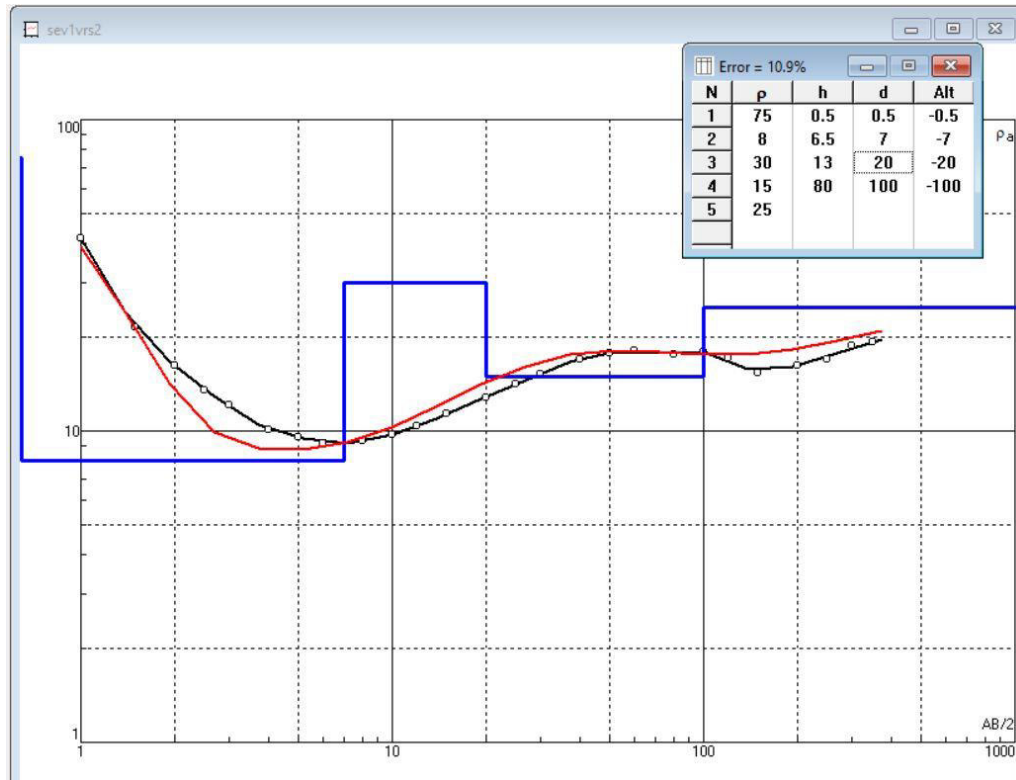


Figura N° 5 Gráfica de sondeo eléctrico vertical 1 (SEV)

Tabla N° 3 Modelo de capas SEV 1

Capa	Profundidad (m)	Espesor (m)	Resistividad (Ωm)	Litología asociada
1	0.5	0.5	75	Material de relleno superficial
2	7	6.5	8	Material limo-arcilloso correlacionado con depósitos finos de inundación,
3	20	13	30	Depósitos aluviales finos saturados.
4	100	80	15	Macizo rocoso ligeramente meteorizado formación Arío
5	Al menos 116 m.	Al menos 36 m	25	Macizo rocoso sano formación Arío

En la figura N°6 se presenta la gráfica correspondiente con la interpretación del sondeo eléctrico vertical (SEV 2). En la Tabla N°4 se presenta la interpretación del modelo de capas para el SEV 2.

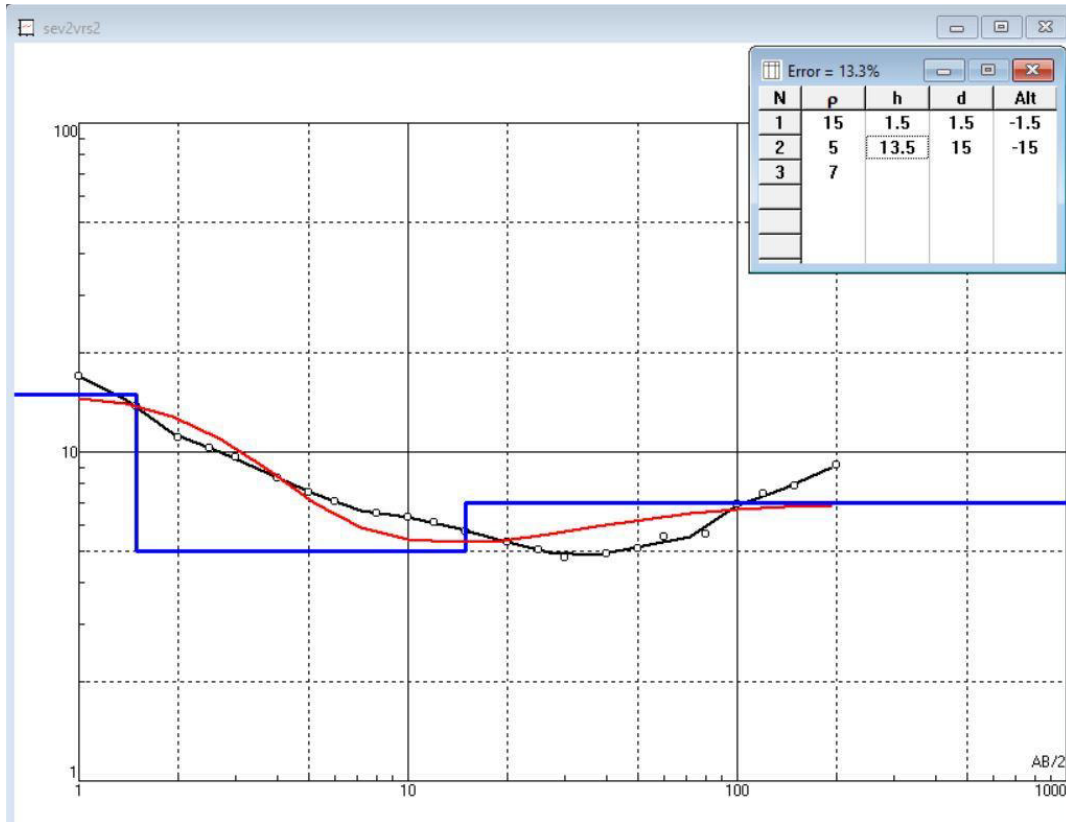


Figura N° 6 Gráfica de sondeo eléctrico vertical 2 (SEV)

Tabla N° 4 Modelo de capas SEV 2

Capa	Profundidad (m)	Espesor (m)	Resistividad (Ωm)	Litología asociada
1	1.5	1.5	15	Suelo
2	15	13.5	5	Material limoso fino
3	Al menos 67 m.	Al menos 52 m	7	Macizo rocoso formación Arío

En la figura N°7 se presenta la gráfica correspondiente con la interpretación del sondeo eléctrico vertical (SEV 3). En la Tabla N°5 se presenta la interpretación del modelo de capas para el SEV 3.

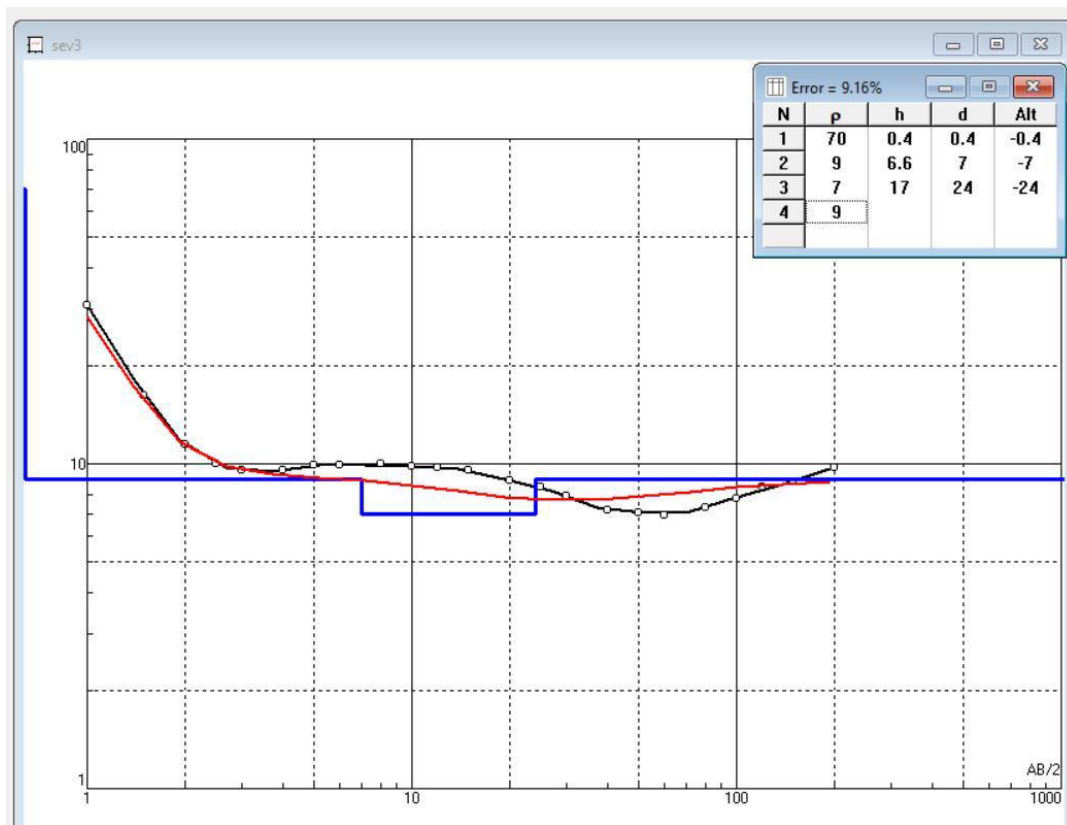


Figura N° 7 Gráfica de sondeo eléctrico vertical 3 (SEV).

Tabla N° 5 Modelo de capas SEV 3

Capa	Profundidad (m)	Espesor (m)	Resistividad (Ωm)	Litología asociada
1	0.4	0.4	70	Suelo
2	7	6.6	9	Material limoso fino
3	24	17	7	Macizo rocoso meteorizado formación Arío
4	Al menos 67 m.	Al menos 43 m	9	Macizo rocoso formación Arío

En la figura N°8 se presenta la gráfica correspondiente con la interpretación del sondeo eléctrico vertical (SEV 4). En la Tabla N°6 se presenta la interpretación del modelo de capas para el SEV 4.

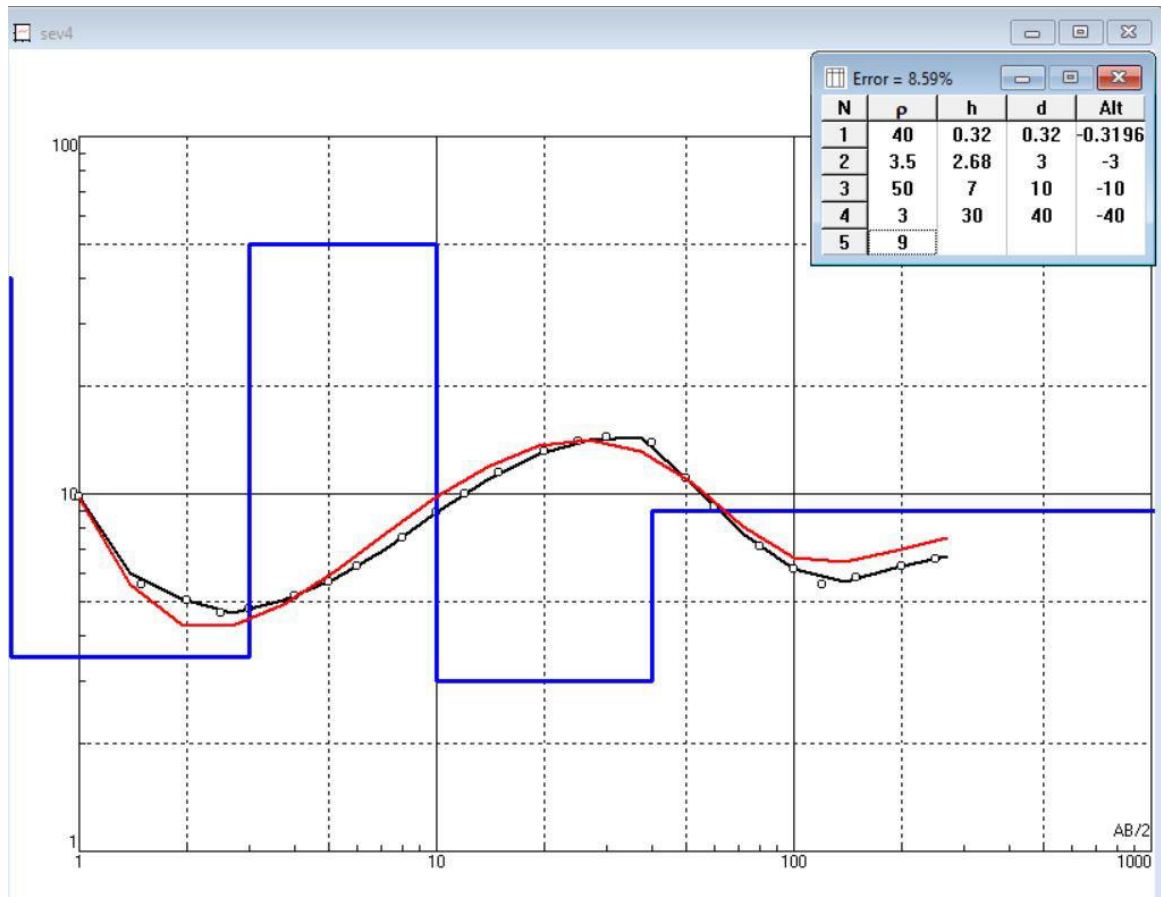


Figura N° 8 Gráfica de sondeo eléctrico vertical 4 (SEV)

Tabla N° 6 Modelo de capas SEV 4

Capa	Profundidad (m)	Espesor (m)	Resistividad (Ω m)	Litología asociada
1	0.32	0.32	40	Relleno
2	3	2.68	3.5	Suelo Material limoso fino
3	10	7	50	Material aluvial fino arenas y gravas
4	40	30	3	Macizo rocoso sedimentario meteorizado
4	Al menos 83 m.	Al menos 43 m	9	Macizo rocoso sano formación Arío

En la figura N°9 se presenta la gráfica correspondiente con la interpretación del sondeo eléctrico vertical (SEV 5). En la Tabla N°7 se presenta la interpretación del modelo de capas para el SEV 5.

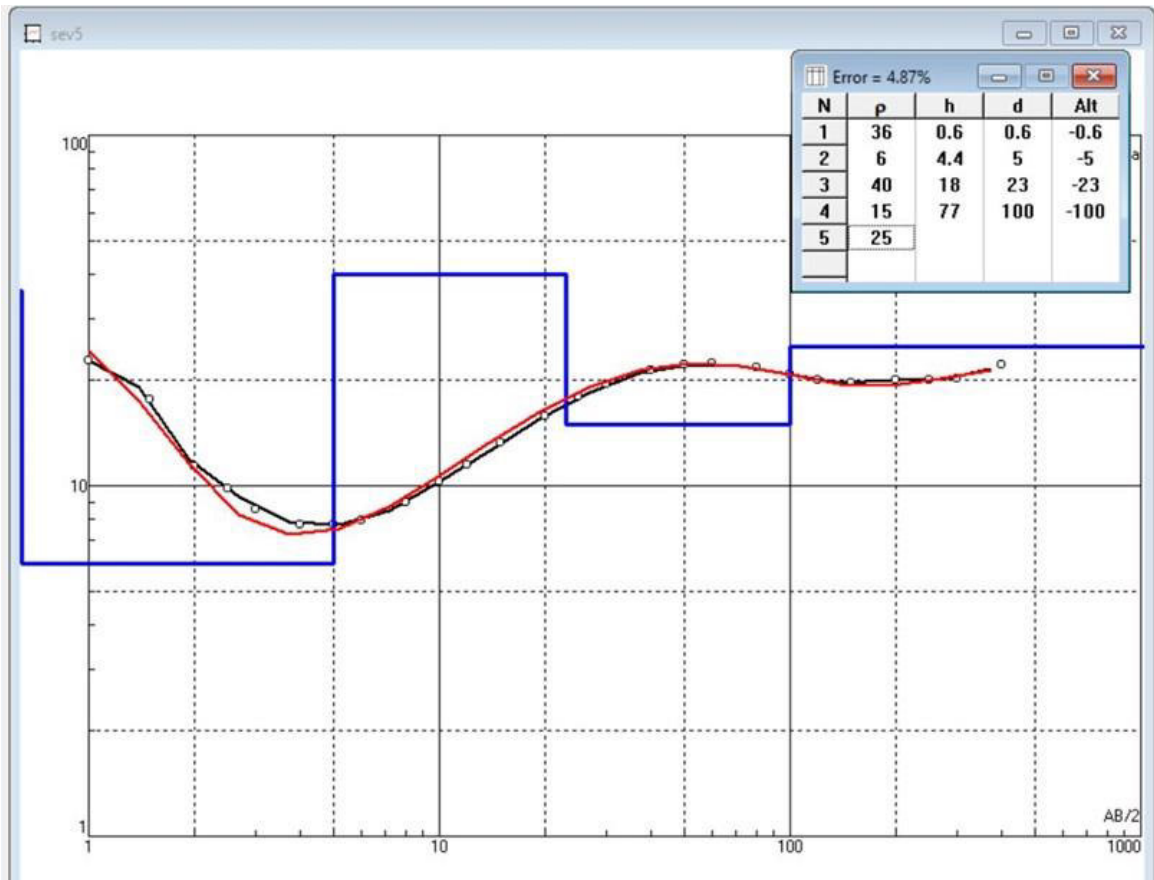


Figura N° 9 Gráfica de sondeo eléctrico vertical 5 (SEV)

Tabla N° 7 Modelo de capas SEV 5

Capa	Profundidad (m)	Espesor (m)	Resistividad (Ωm)	Litología asociada
1	0.6	0.6	36	Relleno
2	5	4.4	6	Suelo Material limoso fino
3	23	18	40	Material aluvial fino arenas y gravas
4	100	77	15	Macizo rocoso sedimentario ligeramente meteorizado
4	Al menos 133 m.	Al menos 33 m	25	Macizo rocoso sano formación Arío

En la figura N°10 se presenta la gráfica correspondiente con la interpretación del sondeo eléctrico vertical (SEV 7). En la Tabla N°8 se presenta la interpretación del modelo de capas para el SEV 7.

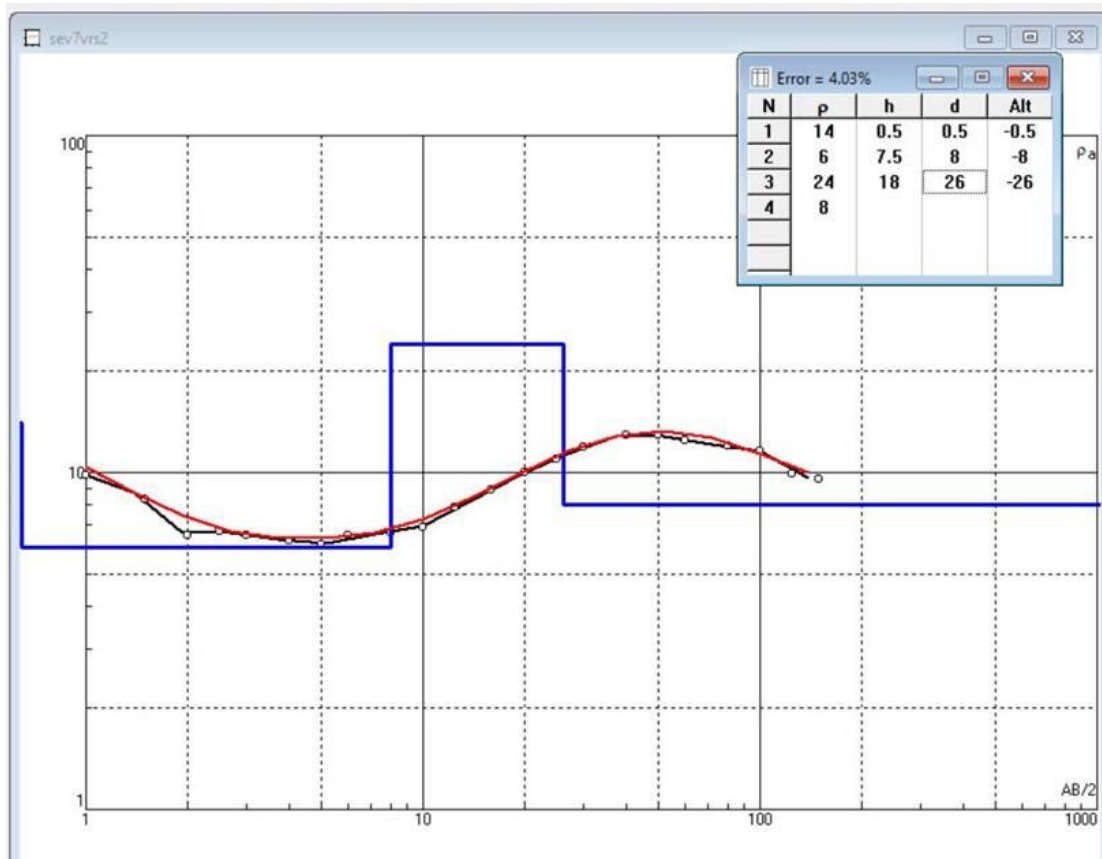


Figura N° 10 Gráfica de sondeo eléctrico vertical 7 (SEV)

Tabla N° 8 Modelo de capas SEV 7.

Capa	Profundidad (m)	Espesor (m)	Resistividad (Ω m)	Litología asociada
1	0.5	0.5	14	Suelo limo-arcillos y material de relleno.
2	8	7.5	6	Material arcilloso correlacionado con depósitos finos de inundación,
3	26	18	24	Depósitos aluviales finos saturados.
4	Al menos 50 m.	Al menos 24 m	8	Material arcilloso meteorizado correlacionado a formación Arío.

En la figura N°11 se presenta la gráfica correspondiente con la interpretación del sondeo eléctrico vertical (SEV 8). En la Tabla N°9 se presenta la interpretación del modelo de capas para el SEV 8.

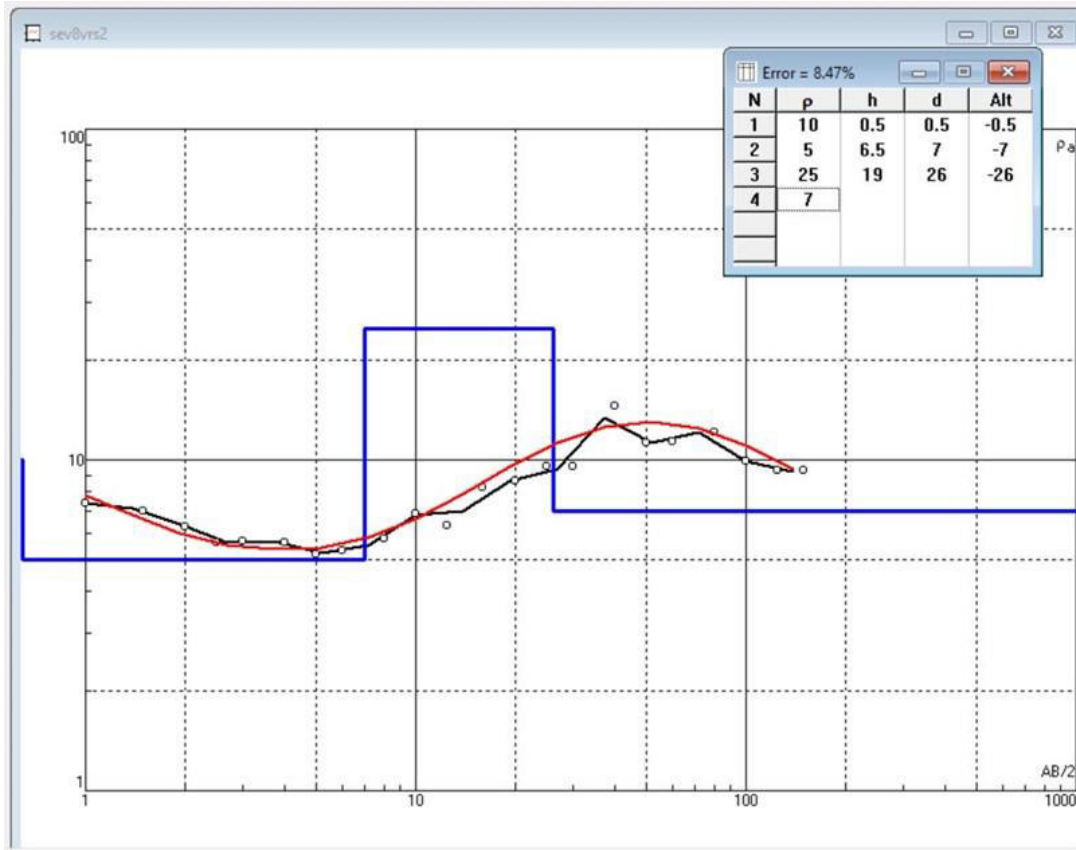


Figura N° 11 Gráfica de sondeo eléctrico vertical 8 (SEV)

Tabla N° 9 Modelo de capas SEV 8.

Capa	Profundidad (m)	Espesor (m)	Resistividad (Ω m)	Litología asociada
1	0.5	0.5	10	Suelo limo-arcillos
2	7	6.5	5	Material arcilloso correlacionado con depósitos finos de inundación,
3	26	19	25	Depósitos aluviales finos saturados.
4	Al menos 50 m.	Al menos 24 m	7	Material arcilloso meteorizado correlacionado a formación Arío.

En la figura N°12 se presenta la gráfica correspondiente con la interpretación del sondeo eléctrico vertical (SEV 9). En la Tabla N°10 se presenta la interpretación del modelo de capas para el SEV 9.

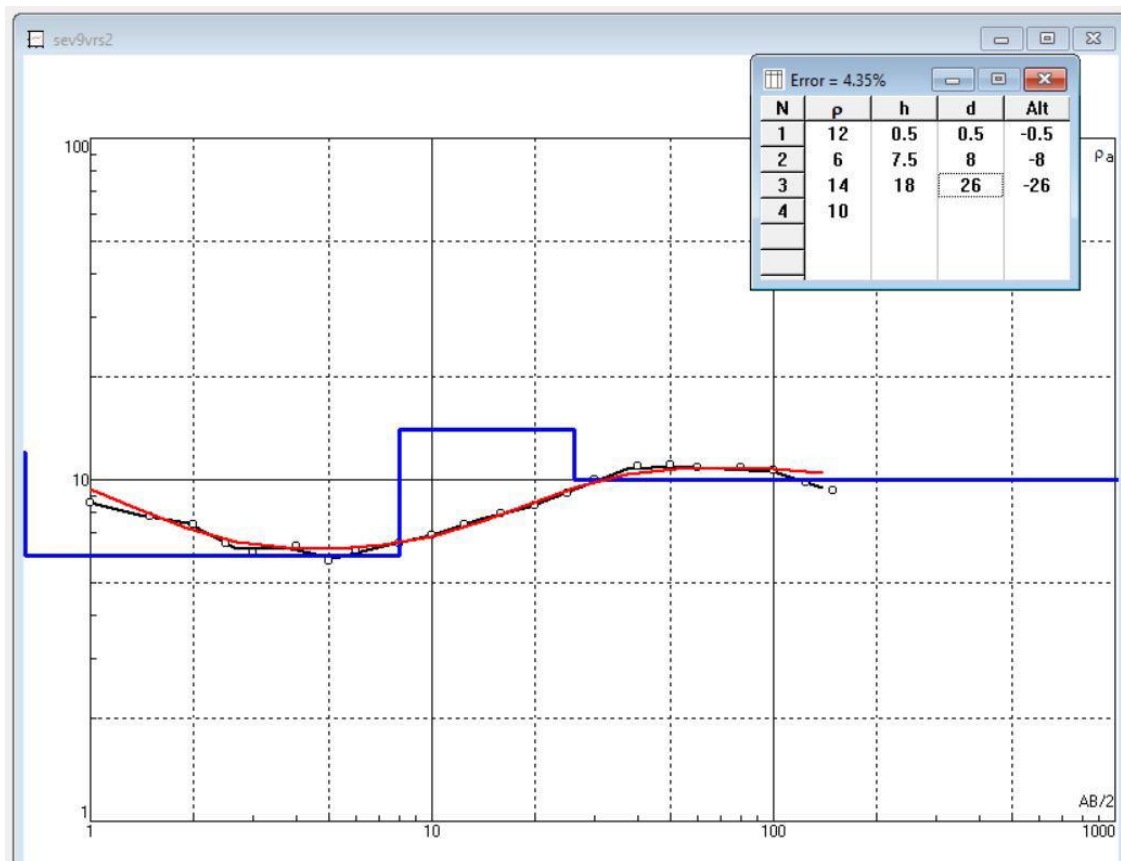


Figura N° 12 Gráfica de sondeo eléctrico vertical 9 (SEV).

Tabla N° 10 Modelo de capas SEV 9

Capa	Profundidad (m)	Espesor (m)	Resistividad (Ω m)	Litología asociada
1	0.5	0.5	12	Suelo limo-arcillos
2	8	7.5	6	Material arcilloso correlacionado con depósitos finos de inundación,
3	26	18	14	Depósitos aluviales finos saturados.
4	Al menos 50 m.	Al menos 24 m	10	Material arcilloso meteorizado correlacionado a formación Arío.

4.2 Sondeos Magnetotelúricos (SMTs)

Se realizaron 3 sondeos magnetotelúricos (Figura N°4) con el equipo Stratagem EH4 de la casa Geometrics, el cual consiste en un sistema magnetotelúrico (MT) que se utiliza para medir la resistividad eléctrica de la tierra.

En la figura N°13, se presenta el resultado obtenido del procesamiento de los dos sondeos SMT-1 y SMT-2, en los cuales se alcanzó una profundidad de investigación de hasta 1.35 km, sin embargo, dado el objetivo del estudio se realiza el procesamiento hasta una profundidad máxima de 60m. En la tabla N°11 se detalla del modelo de capas obtenido para este sector con base en los SMT.

En la figura N°14 se presenta el resultado obtenido del procesamiento del sondeo SMT-3 en conjunto con el SMT1 y 2, en los cuales se alcanzó una profundidad de investigación de hasta 1.35 km, sin embargo, dado el objetivo del estudio se realiza el procesamiento hasta una profundidad máxima de 60m. En la tabla N°12 se detalla del modelo de capas obtenido para este sector con base en el SMT 3.

De manera general es posible indicar que los modelos de capas realizados a partir de la interpretación de los datos de sondeos eléctricos verticales son concordantes con los modelos obtenidos a partir de los sondeos magnetotelúricos.

Para el caso particular de este estudio se utilizarán los valores de resistividades reales obtenidos de los SEV como los valores válidos para las litologías estudiadas.

Seudosección de resistividades aparentes
SMT1-SMT2

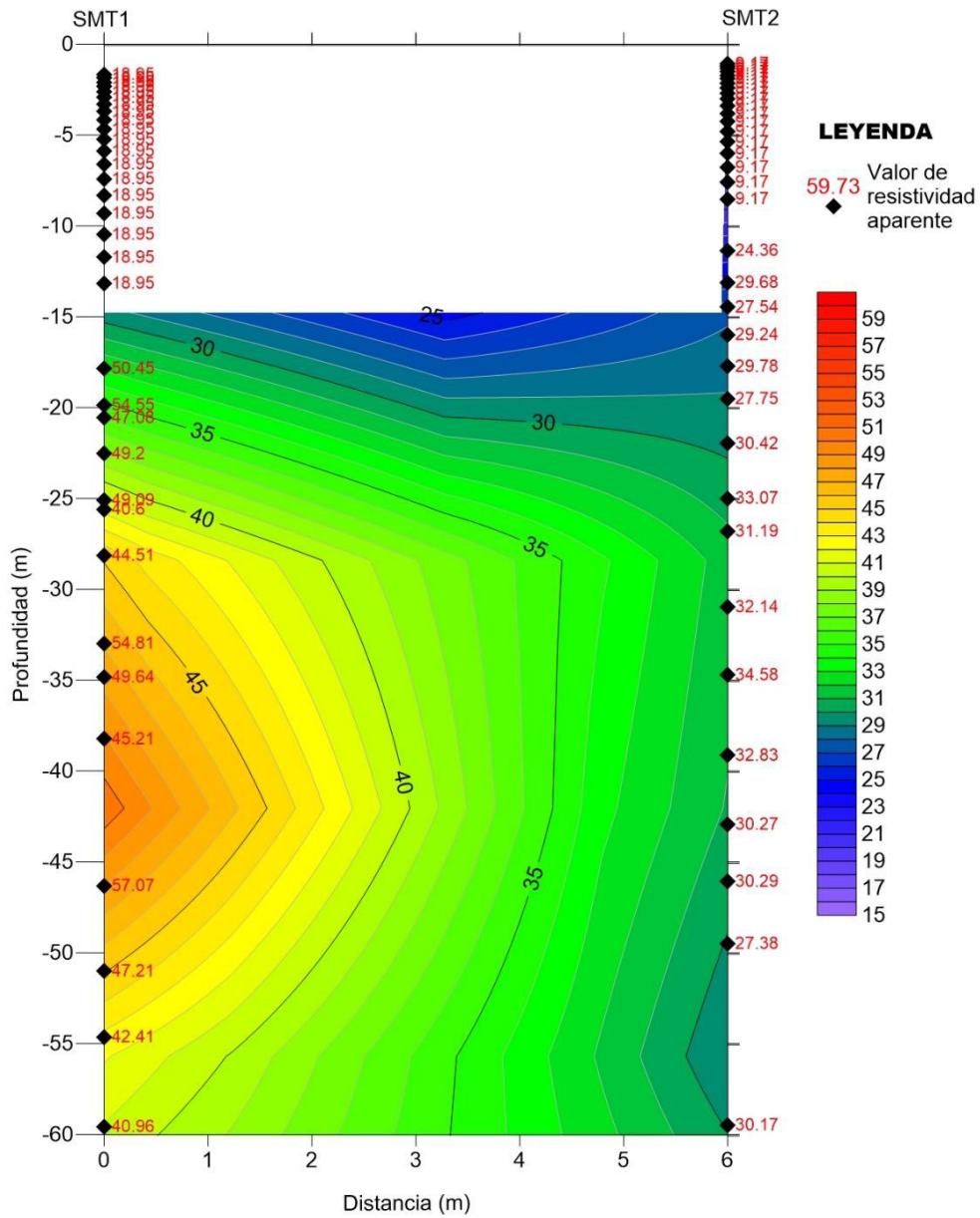


Figura N° 13 Seudosección de resistividades aparentes SMT1 y SMT2.

Tabla N° 11 Modelo de capas SMT1 y SMT2

Capa	Profundidad (m)	Espesor (m)	Resistividad aparentes (Ωm)	Litología asociada
1	13.16	13.16	18.95	Material limo-arcilloso
2	60	46.84	40-50	Macizo rocoso sedimentario

Seudosección de resistividades aparentes
SMT3

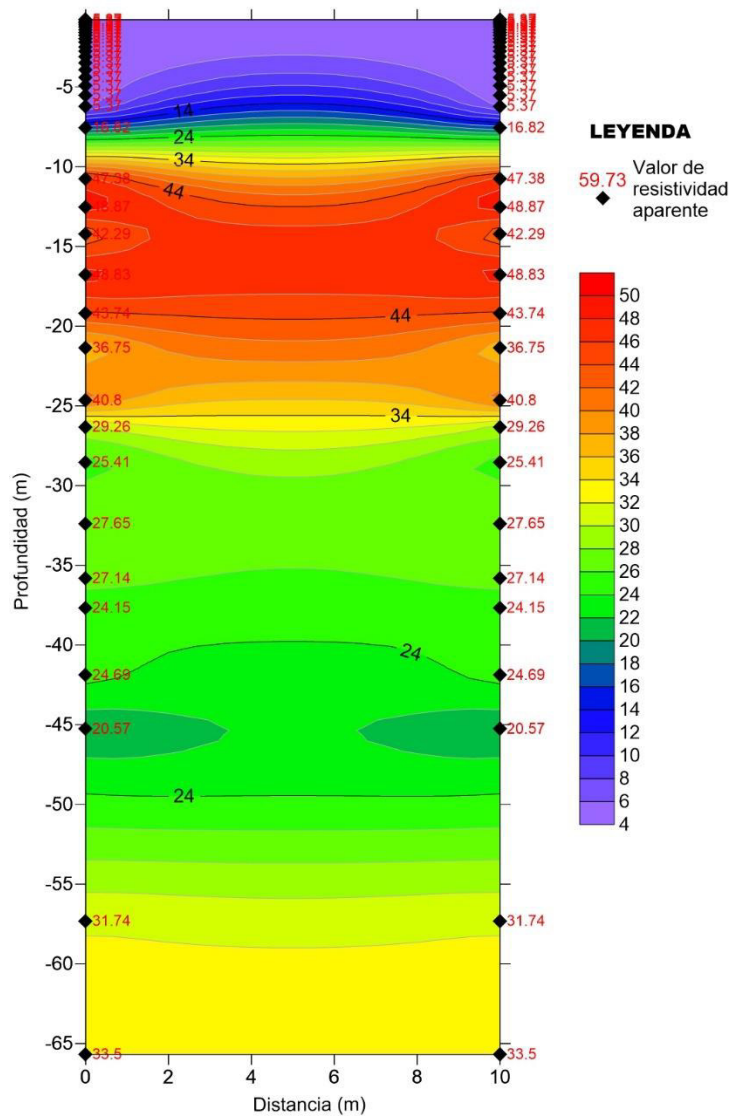


Figura N° 14 Seudosección de resistividades aparentes SMT3 y SMT1-2

Tabla N° 12 Modelo de capas SMT3

Capa	Profundidad (m)	Espesor (m)	Resistividad aparentes (Ωm)	Litología asociada
1	6.2	6.2	5.37	Material limo-arcilloso
2	25	18.8	36-48	Macizo rocoso sedimentario
3	65	40	21-33.5	Macizo rocoso sedimentario con nivel más arcilloso.

5. ANÁLISIS MEDIANTE FLUORESCENCIA DE RAYOS X (XRF) PORTÁTIL.

Con el objetivo de valorar las condiciones naturales de hierro y manganeso en los depósitos aluviales, suelos y rocas del área de estudio, se realizaron 8 análisis con el equipo portátil DELTA-OLYMPUS. La ubicación de los sitios analizados se presenta en la figura N°15. En la tabla N°13 se presentan los resultados para los elementos de Fe y Mn en % y ppm respectivamente.

Tabla N° 13 Resultados obtenidos para los elementos de Fe y Mn en los análisis realizados.

Pruebas	Coordenadas CRTM-05	Material	Sitio	Resultados
1	107702/367555	Depósitos sedimentarios Formación Arío	Sector entre Río Arío y Río Bongo	Fe 2.1%, Mn 312 ppm
2	1076474/369595	Depósitos sedimentarios Formación Arío	Cerro Villalta	Fe 11.79%, Mn 1400 ppm
3	1076578/368941	Depósitos sedimentarios Formación Arío	Entre Cerro Villalta y Camino Bajos Arío	Fe 10.04 %, Mn 322 ppm
4	1076162/367862	Suelo	Campo de Pozos Bajos Arío contiguo a pozo AyA-01	Fe 6.19%, Mn 698 ppm
5	1076226/367793	Suelo	Campo de Pozos Bajos Arío contiguo a pozo AyA-02	Fe 6.81 %, Mn 734 ppm
6	1076284/367819	Suelo	Campo de Pozos Bajos Arío contiguo a pozo AyA-03	Fe 8.07%, Mn 1111 ppm
7	1075739/367600	Depósito Aluvial material fino limos	Terraza Margen izquierda Río Arío	Fe 6.90%, Mn 1032 ppm
8	1075739/367600	Depósito aluvial material grava	Terraza Margen izquierda Río Arío	Fe 7.33%, Mn 1103 ppm

Diferentes tablas de interpretación de análisis de fertilidad de suelos para Costa Rica tal como Bertsch (1986) considera como valores anormales de hierro (Fe) aquellos mayores a 500 ppm y de Manganeso (Mn) mayores a 100 ppm. De igual manera Molina y Meléndez (2002) establece que valores de hierro (Fe) y manganeso (Mn) mayores a 50 ppm en suelos como valores altos. A partir de estas referencias es posible concluir que en general la zona de estudio presenta valores de Fe y Mn altos en suelos y depósitos coluvio-aluviales.

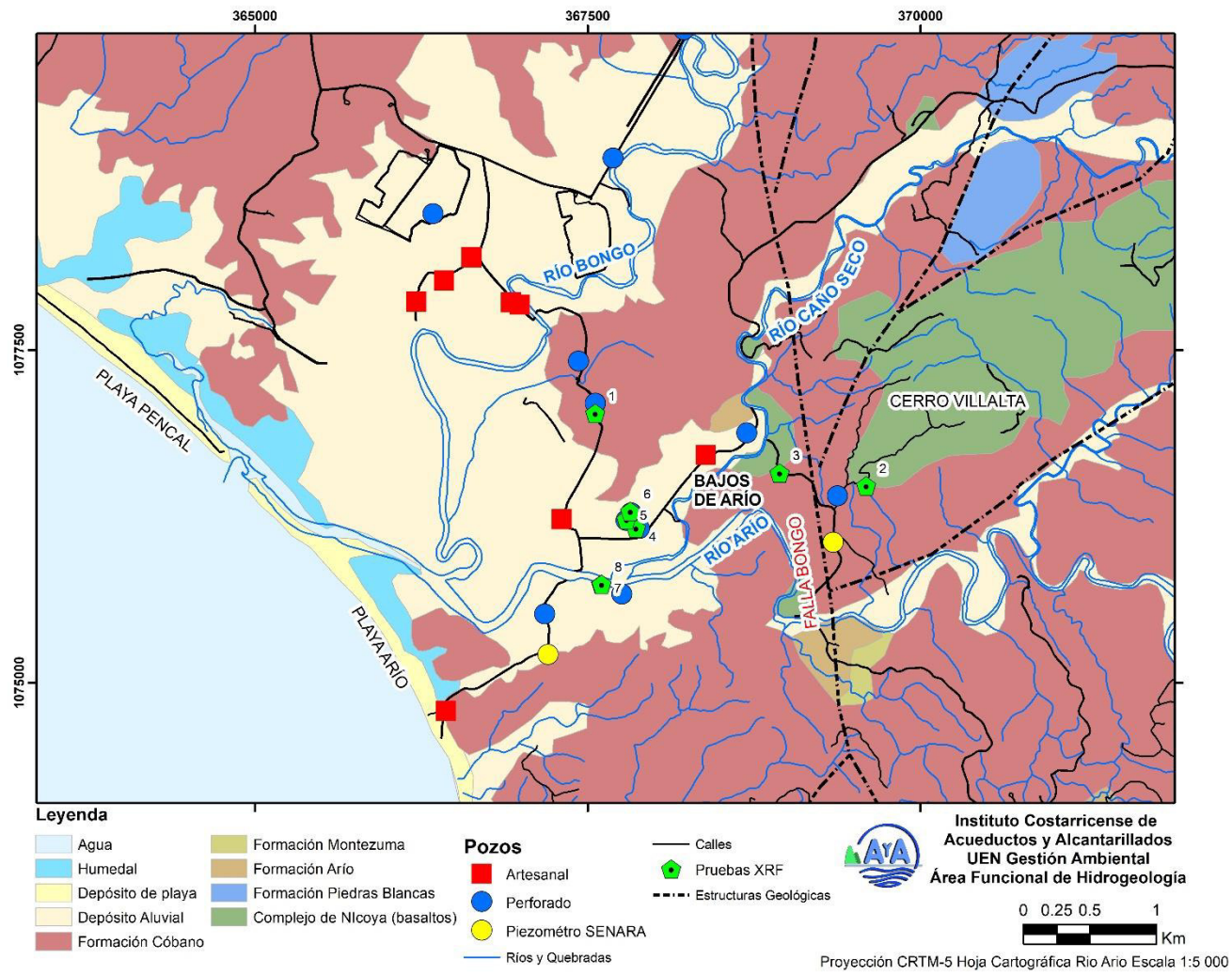


Figura N° 15 Ubicación de pruebas XRF realizadas.

6. DATOS DISPONIBLES DE AFOROS

Como parte de la tesis de licenciatura de Chacón (2016) denominada “Modelo conceptual hidrogeológico, recarga y vulnerabilidad a la contaminación de la cuenca río Arío, Cóbano, Puntarenas” realiza diferentes aforos a lo largo del río Arío en la zona de estudio y el río Caño Seco mediante molinetes Gurley y Precision obteniendo el caudal por medio del programa HidroEstra. Los aforos fueron realizados el 04/05/2015, en la tabla N° 14 se presentan los datos de los aforos realizados en el área de estudio y en la figura N ° 16 la ubicación de los aforos.

A partir de los datos de la tabla N°14 es posible indicar los tramos del río Caño Seco con características de influencia o efluencia, los tramos del río y su relación con el acuífero de la zona se presentan en la tabla N°15.

Tabla N° 14 Datos disponibles de aforos realizados en río Arío, y río Caño Seco sector área de estudio. (Chacón, 2016)

Aforo	Fecha	X (Lambert Norte)	Y (Lambert Norte)	Caudal (l-s)
13	04/05/2015	403525	190357	690.8
14	04/05/2015	405274	190025	609.6
15	04/05/2015	405093	191581	21
16	04/05/2015	405069	192124	9.6
30	04/05/2015	405164	191313	0
31	04/05/2015	404486	190835	0

Tabla N° 15 Tramos de río Caño Seco y Arío y su comportamiento con respecto al acuífero.

Río	Tramo	Diferencia de Caudal (l/s)	Comportamiento con respecto al acuífero
Caño Seco	Aforo 16 a Aforo 15	+11.4	Efluente
	Aforo 15 a Aforo 30	-21	Influente
	Aforo 30 a Aforo 31	0	Mantiene
Arío	Aforo 14 a Aforo 13	+80.4	Efluente

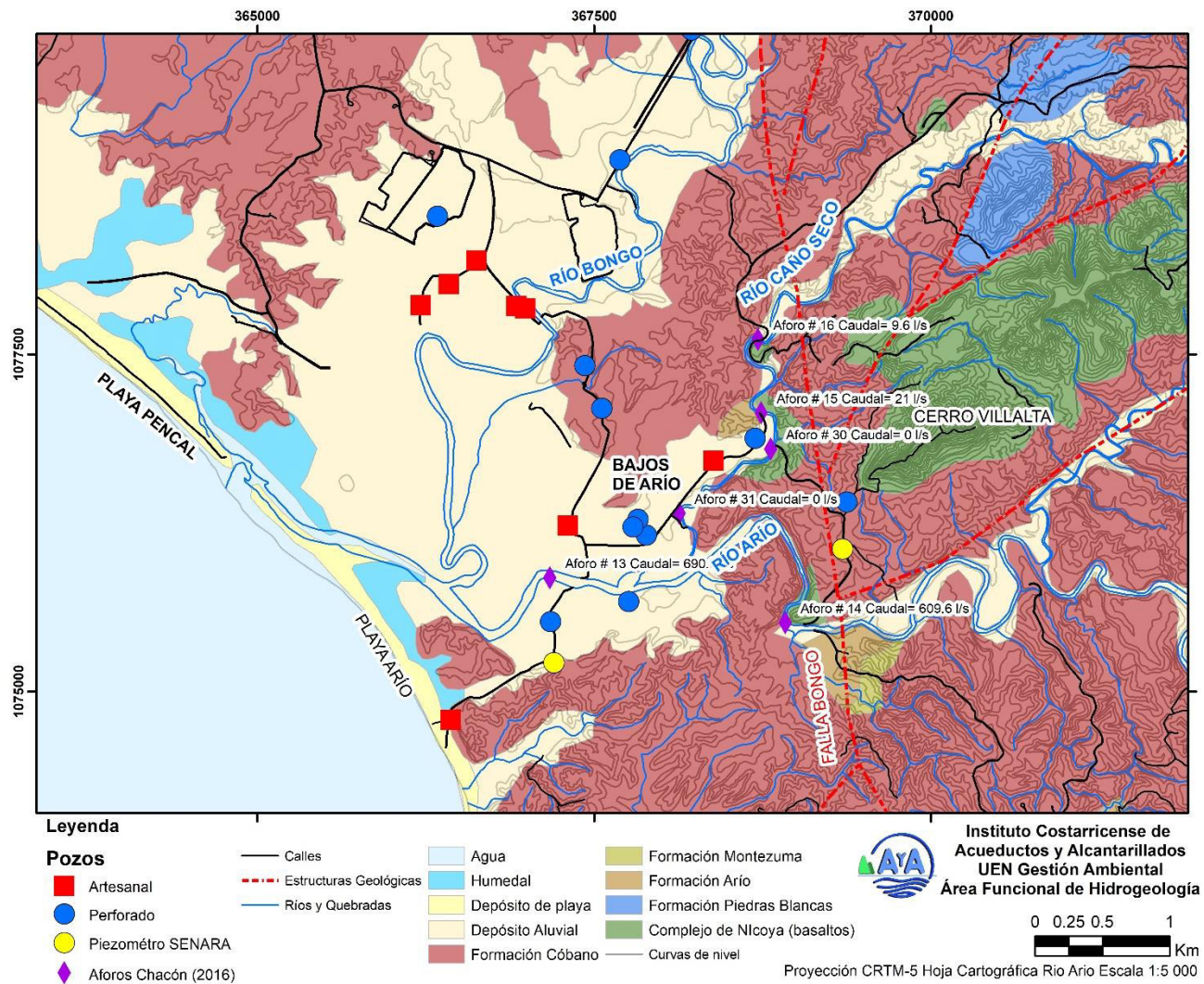


Figura N° 16 Mapa con ubicación de aforos realizados por Chacón (2016)

7.MODELO HIDROGEOLÓGICO.

En la figura N°17 se presenta el mapa hidrogeológico detallado para el sector de Bajos Arío en donde se observa una dirección preferencial del flujo hacia el sur oeste con un gradiente hidráulico bajo del orden 10^{-3} en la zona del campo de pozos Bajos Arío del AyA y un gradiente del orden 10^{-2} en la zona noreste.

En el sector del río Bongo a partir de la información geofísica y del registro del pozo RA-133 se define un espesor aluvial variable entre los 18 y 22m. Este acuífero presenta una dirección preferencial del flujo hacia el suroeste con un gradiente hidráulico bajo del orden 10^{-3} . En la figura N°18 se presenta el mapa hidrogeológico detallado para este sector.

El acuífero que se localiza en Bajos de Arío el cual es captado por el campo de pozos actual del AyA se presenta confinado por un espesor de depósitos de arcillas variable entre los 7 y 16 m con base en el registro de perforación de los pozos 04-01, 04-10 y 04-03 y la información geofísica interpretada (SEV7, SEV8 y SEV9). El espesor del aluvial captado en los pozos varía entre 17 y 6 m y el nivel piezométrico se mantiene entre los 5 y 6 m de profundidad. En la base del acuífero se presenta un material arcilloso correlacionado a las rocas sedimentarias meteorizadas.

En la figura N°19 se presenta el perfil hidrogeológico A-B el cual permite observar en detalle la distribución de los acuíferos en el área de estudio.

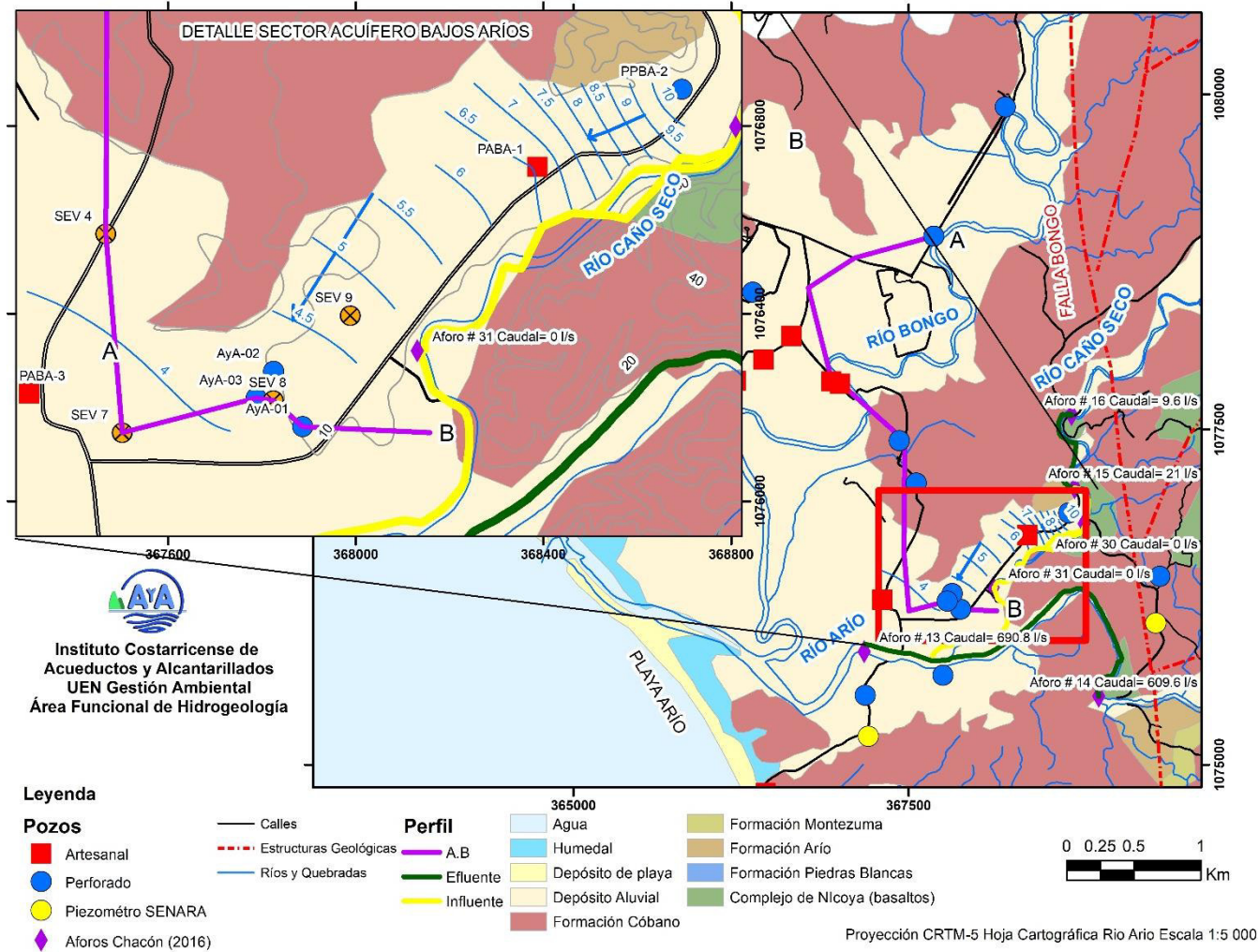


Figura N° 17 Modelo hidrogeológico sector Bajos de Arío.

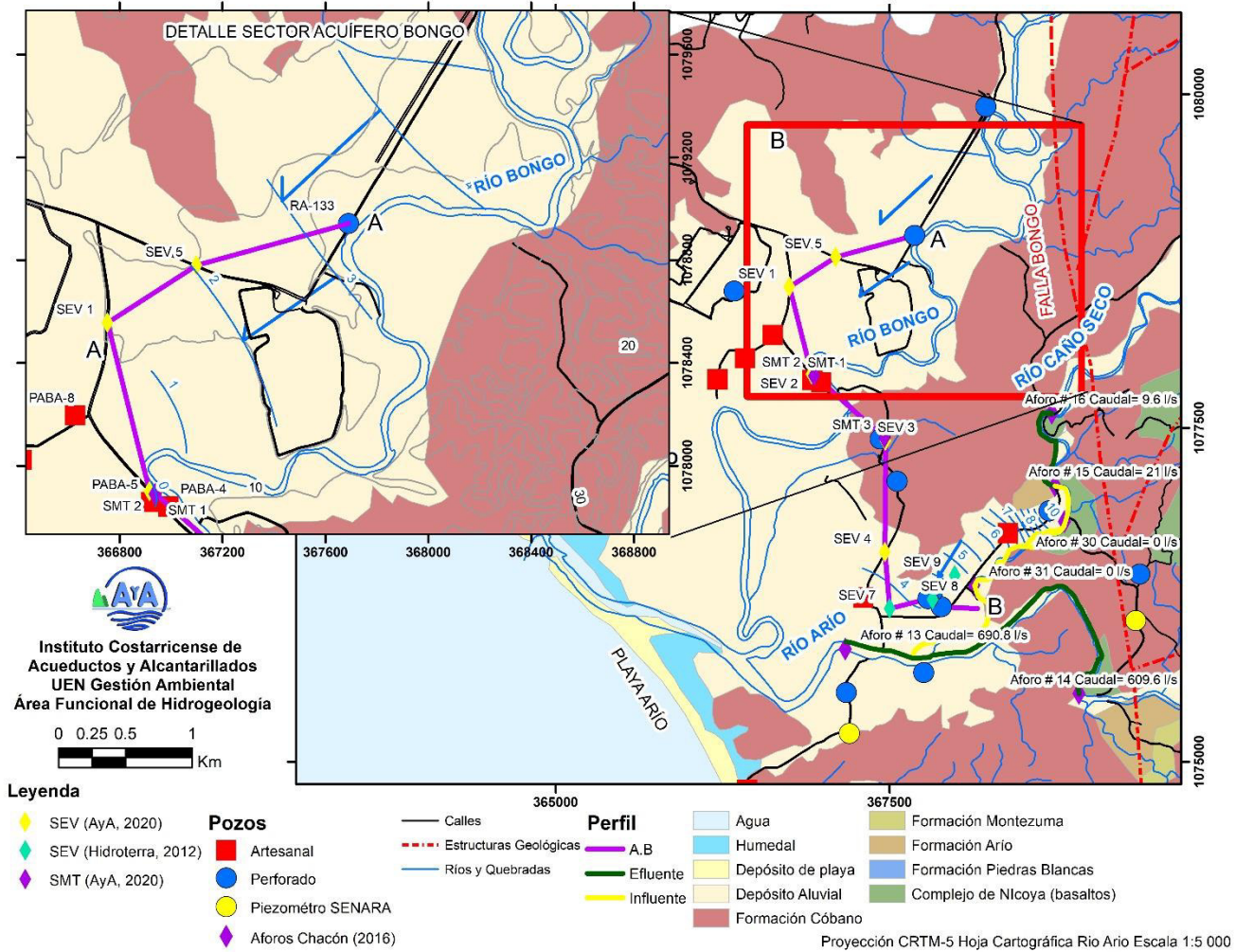
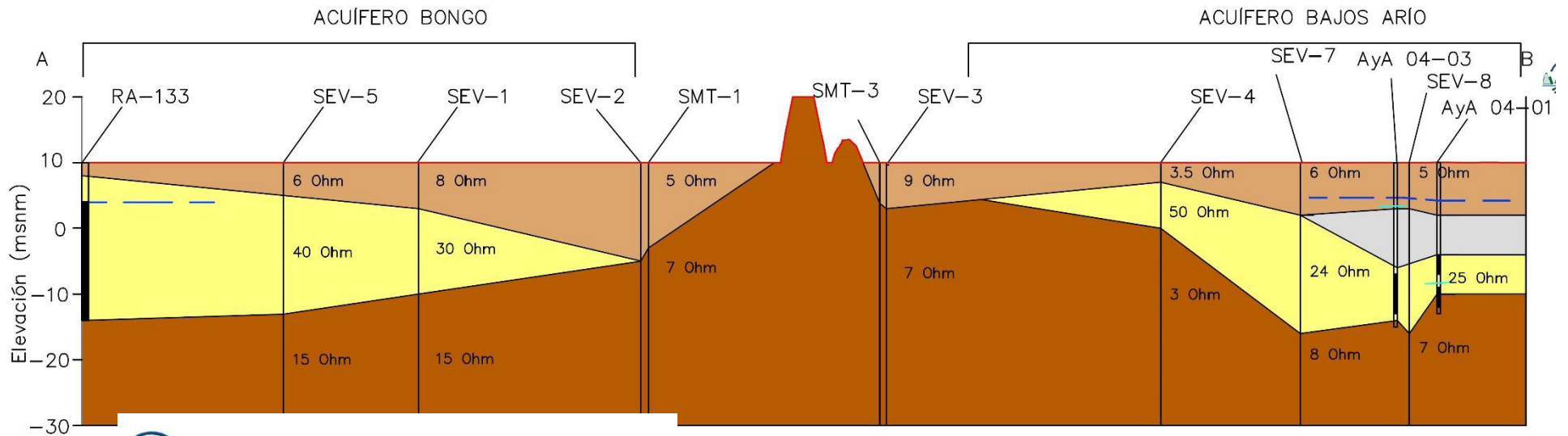
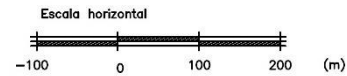


Figura N° 18 Modelo hidrogeológico sector Bongo.



IAA INSTITUTO COSTARRICENSE DE ACUEDUCTOS Y ALCANTARILLADOS
 BUEN GESTIÓN AMBIENTAL- ÁREA FUNCIONAL DE HIDROGEOLOGÍA



- Simbología**
- Nivel del terreno
 - Niveles del agua subterránea
 - Pozos
 - Rejilla
 - 5 Ohm Valor de resistividad de material
 - Suelo y arcilla plástica color café
 - Arcilla gris
 - Aluvión conformado por gravas y arenas
 - Macizo rocoso sedimentario. (Formación Arío)

Figura N° 19 Perfil hidrogeológico A-B.

8. ANÁLISIS DE COMPORTAMIENTO DE CAMPO DE POZOS BAJOS ARÍO.

El campo de pozos Bajos Arío está compuesto por 3 pozos, las características de estos se presentan en la Tabla N°16. En el anexo 2 se presenta el reporte de perforación de cada pozo.

Tabla N° 16 Características de pozos Campo Bajo Arío.

Pozo	Caudal recomendado (UTP) (l/s)	X	Y	Bro-cal	NE	ND	Elevación	Elevación de NF	Profundidad
PozoAyA-01 (04-01)	15	367887	1076159	0.4	5.81	17	10	3.79	23
Pozo AyA-02 (04-10)	25	367825	1076277	0.45	5.32	18.34	10	4.23	25
Pozo AyA-03 (04-03)	25	367788	1076220	0.4	5.34	7.9	10	4.26	25

Estos pozos fueron perforados en el 2004, y cuenta con diferentes pruebas de bombeo (2004, 2011 y 2015) realizadas previo a la entrada en operación de estos. Solamente se registra la ejecución de pruebas escalonada en el 2004 en los pozos 1 y 2.

Como antecedentes para el análisis del comportamiento del campo de pozos es necesario indicar que el campo de pozos inició operaciones en el 2018 con un caudal de producción de diseño estimado de 65 l/s distribuyéndose de la siguiente manera:

- Pozo AyA-01= 15l/s.
- Pozo AyA -02= 25l/s.
- Pozo AyA.03= 25l/s

Estos caudales surgen como recomendación a partir de las pruebas de bombeo del 2015, según consta en los registros de perforación. (Anexo 2).

Como parte del análisis del comportamiento del campo de pozos se procedió a analizar cada una de las pruebas de bombeo, a partir de los datos obtenidos de campo con el objetivo de obtener parámetros hidráulicos del acuífero.

8.1 Prueba de bombeo escalonada Pozo Bajos Arío AyA-01 (04-01)

La prueba de bombeo por etapas del Pozo Bajos Arío AyA-01 (04-01) se realizó en el 2004 considerando los caudales de la tabla N° 17. La figura N° 20 presenta la gráfica de los caudales de la prueba escalonada contra el abatimiento obtenido en cada etapa. La tercera etapa no pudo ser culminada por un fallo de la planta eléctrica según consta en las observaciones de campo

Tabla N° 17 Caudales utilizados en prueba de bombeo por etapas Pozo Bajos Arío AyA-01 (04-01).

Caudal (l/s)
Q1= 2
Q2= 4
Q3= 6

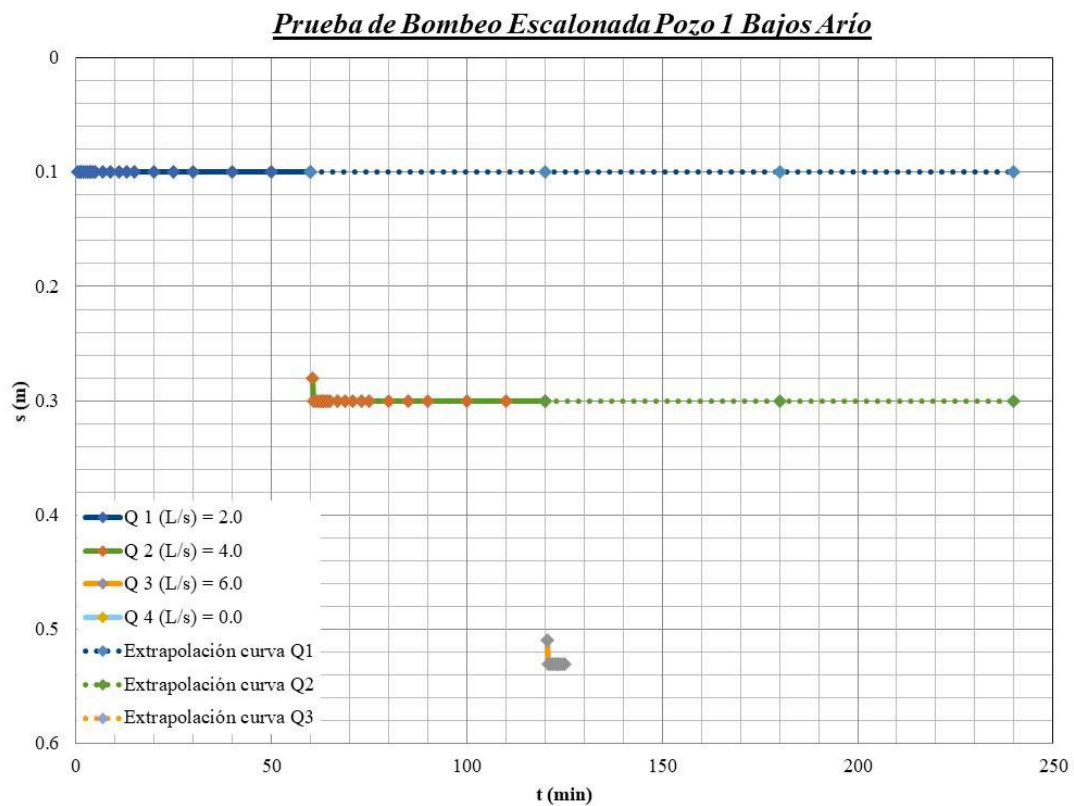


Figura N° 20 Gráfica de abatimiento con respecto al tiempo para cada caudal probado.

A partir de los datos obtenidos se calcula los parámetros B y C con base en la gráfica de S/Q y Q. (Figura N°21)

Se obtiene un valor de B y C de 0.033 ms/l y 0.00958 ms²/L² respectivamente.

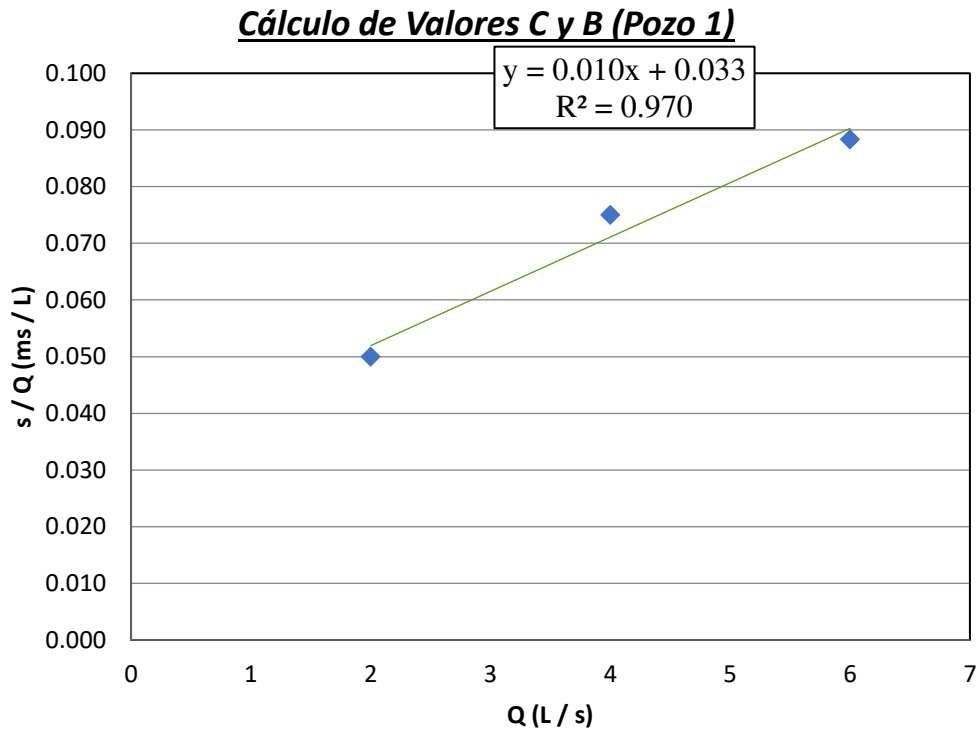


Figura N° 21 Gráfica de S/Q eje Y y Q eje X para cálculo de valores B y C

A partir de los datos obtenidos es posible indicar en la tabla N°18 las siguientes eficiencias para diferentes caudales de extracción.

Tabla N° 18 Eficiencia para diferentes caudales de extracción del pozo Bajos Arío 1 (04-01)

Caudal (l/s)	Eficiencia (%)
Q1= 2	65
Q2= 4	43
Q3= 6	37
Q4=15	18.56

8.2 Prueba de bombeo escalonada Pozo Bajos Arío AyA-02 (04-10)

La prueba de bombeo por etapas del Pozo Bajos Arío AyA-02 (04-10) se realizó en el 2004 considerando los caudales de la tabla N°19. La figura N°22 presenta la gráfica de los caudales de la prueba escalonada contra el abatimiento obtenido en cada etapa.

Tabla N° 19 Caudales utilizados en prueba de bombeo por etapas Pozo Bajos Arío AyA-01 (04-01).

Caudal (l/s)
Q1= 3
Q2= 6
Q3= 9
Q4= 11

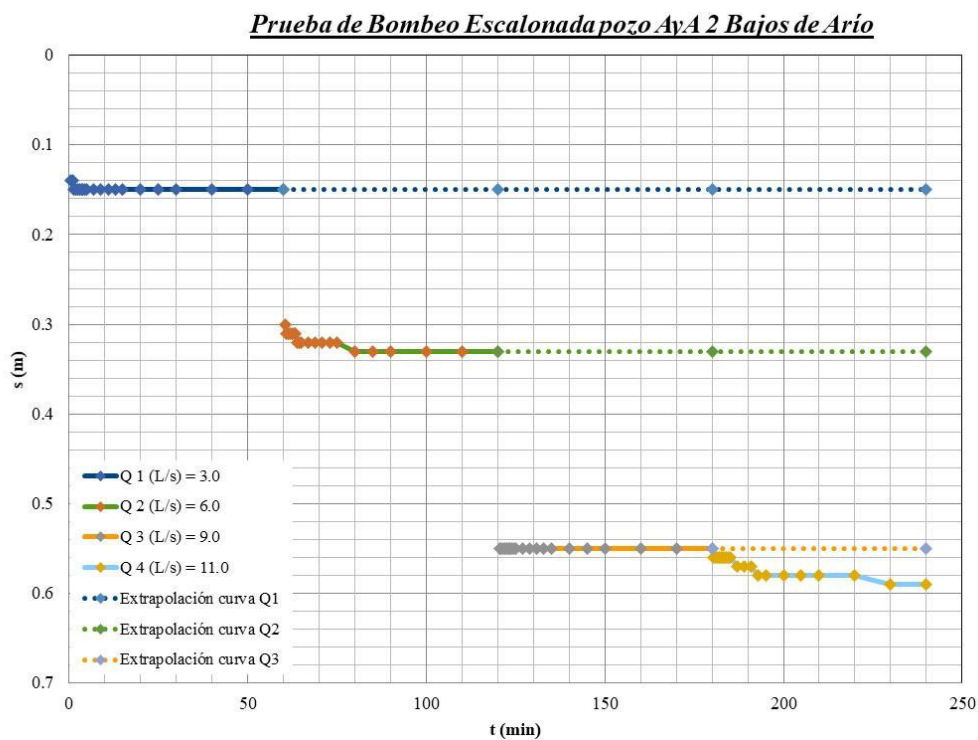


Figura N° 22 Gráfica de abatimiento con respecto al tiempo para cada caudal probado.

A partir de los datos obtenidos se calcula los parámetros B y C con base en la gráfica de S/Q y Q . (Figura N°23)

Se obtiene un valor de B y C de 0.050 ms/l y 0.00073 ms²/L² respectivamente.

Cálculo de Valores C y B (Pozo 2 Bajos Arío)

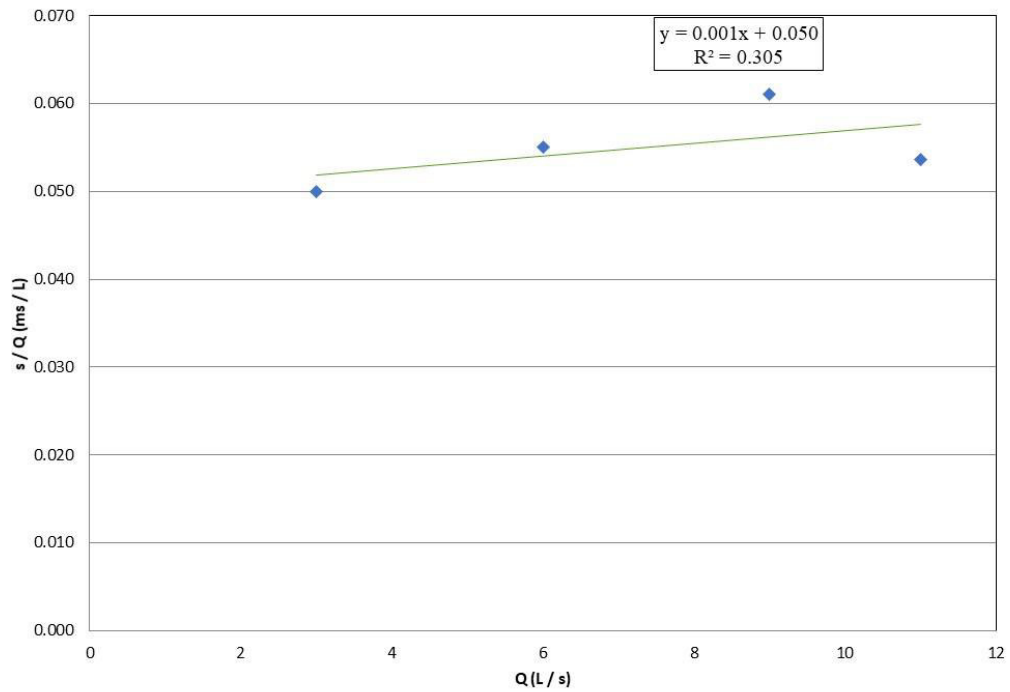


Figura N° 23 Gráfica de S/Q eje Y y Q eje X para cálculo de valores B y C

A partir de los datos obtenidos es posible indicar en la tabla N°20 las siguientes eficiencias para diferentes caudales de extracción.

Tabla N° 20 Eficiencia para diferentes caudales de extracción del pozo Bajos Arío 2 (04-10)

Caudal (l/s)	Eficiencia (%)
Q1= 3	99
Q2= 6	90
Q3= 9	81
Q4=11	68.61
Q5=25	48

8.3 Prueba de bombeo continua Pozo Bajos Arío AyA-01 (04-01) 2004

En la figura N°24 se presentan los resultados de la interpretación de la prueba del bombeo del 2004 por medio de la metodología de Jacob (Jacob-Cooper, para el periodo de bombeo para un tiempo total de bombeo de 48 horas. Tal como se observa se obtiene una transmisividad de 1501 m²/día para el periodo de bombeo, según se registra en observaciones no fue posible medir el periodo de recuperación.

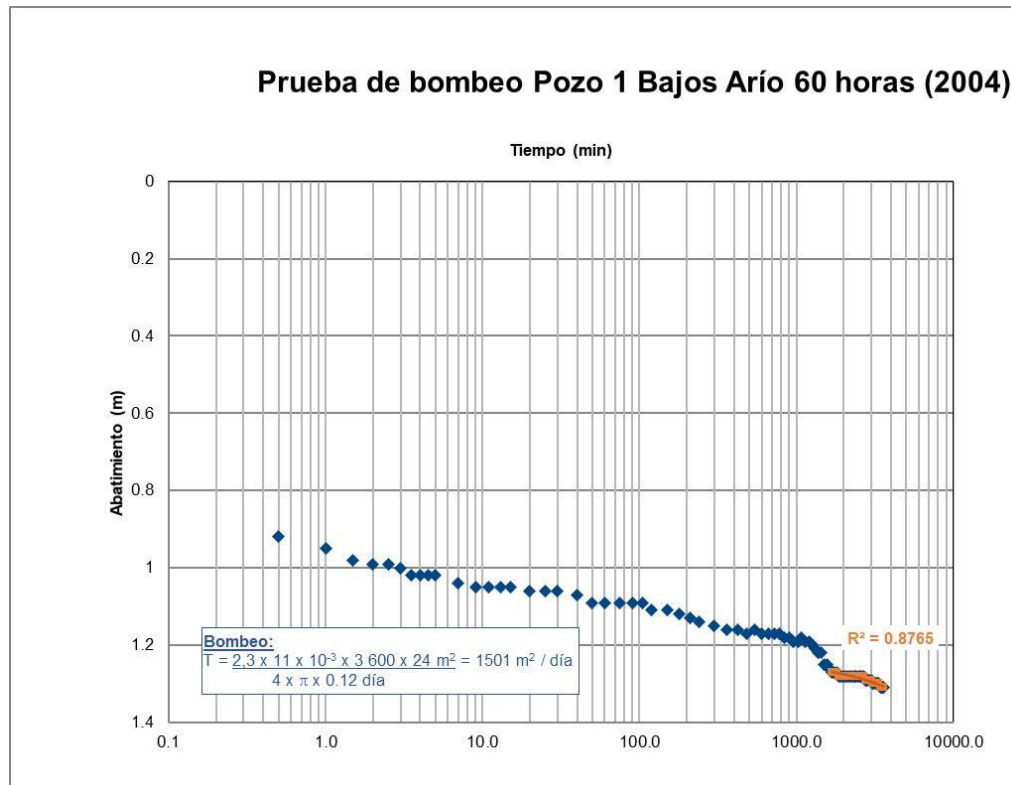


Figura N° 24 Interpretación de prueba de bombeo pozo AyA 04-01 metodología de Jacob (Jacob-Cooper).

8.4 Prueba de bombeo continua Pozo Bajos Arío AyA-02 (04-10) 2004

En la figura N°25 se presentan los resultados de la interpretación de la prueba del bombeo del 2004 por medio de la metodología de Jacob (Jacob-Cooper para el periodo de bombeo para un tiempo total de bombeo de 24 horas. Después del minuto 180 se produce una recuperación, sin embargo, no se indica las causas de este comportamiento.

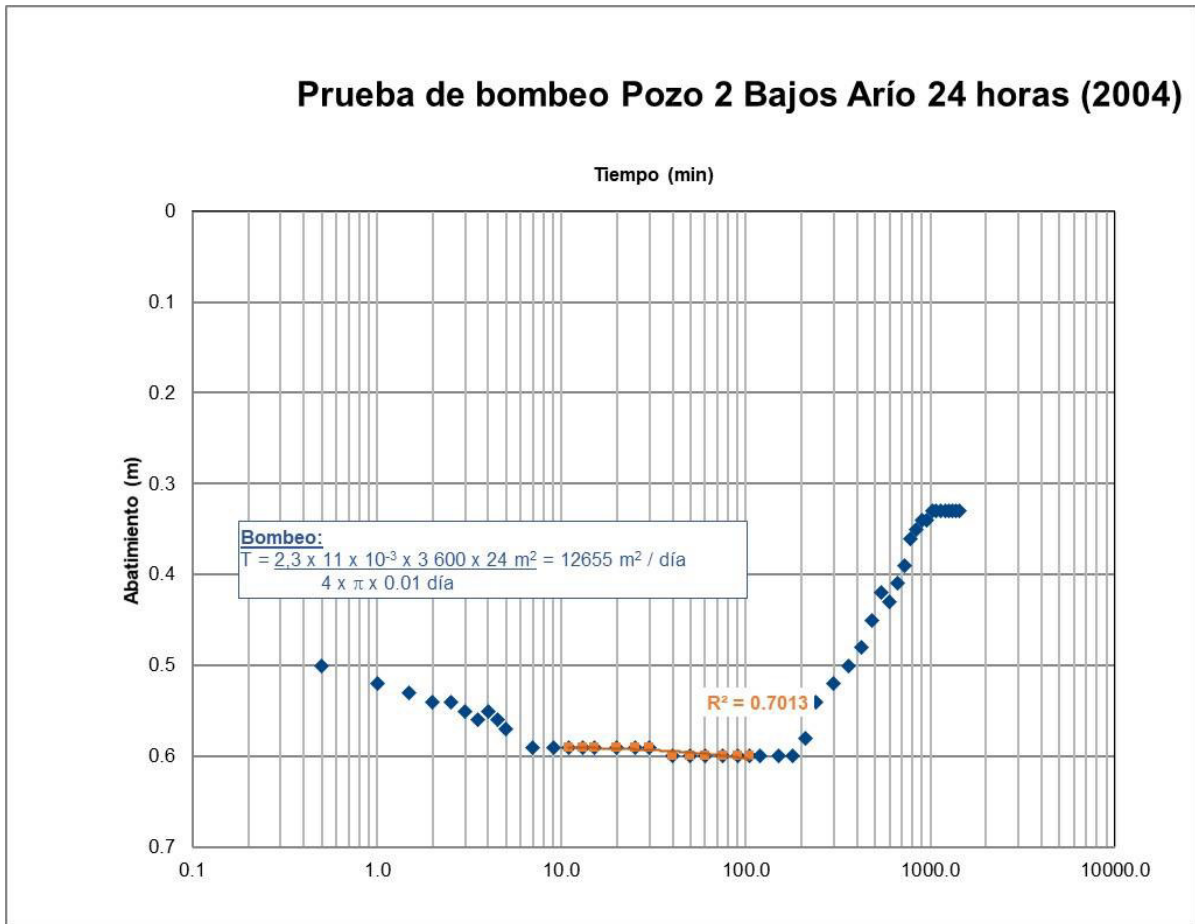


Figura N° 25 Interpretación de prueba de bombeo pozo AyA 04-10 metodología de Jacob (Jacob-Cooper).

8.5 Prueba de bombeo continua Pozo Bajos Arío AyA-01 (04-01) (27/2/2011).

En la figura N°26, se presentan los resultados de la interpretación de la prueba del bombeo del 2011 por medio de la metodología de Jacob (Jacob-Cooper, tanto para el periodo de bombeo como de recuperación para un tiempo total de bombeo de 24 horas. Tal como se observa se obtiene una transmisividad de 2393 m²/día para el periodo de bombeo y una transmisividad de 2067 m²/día para el periodo de recuperación.

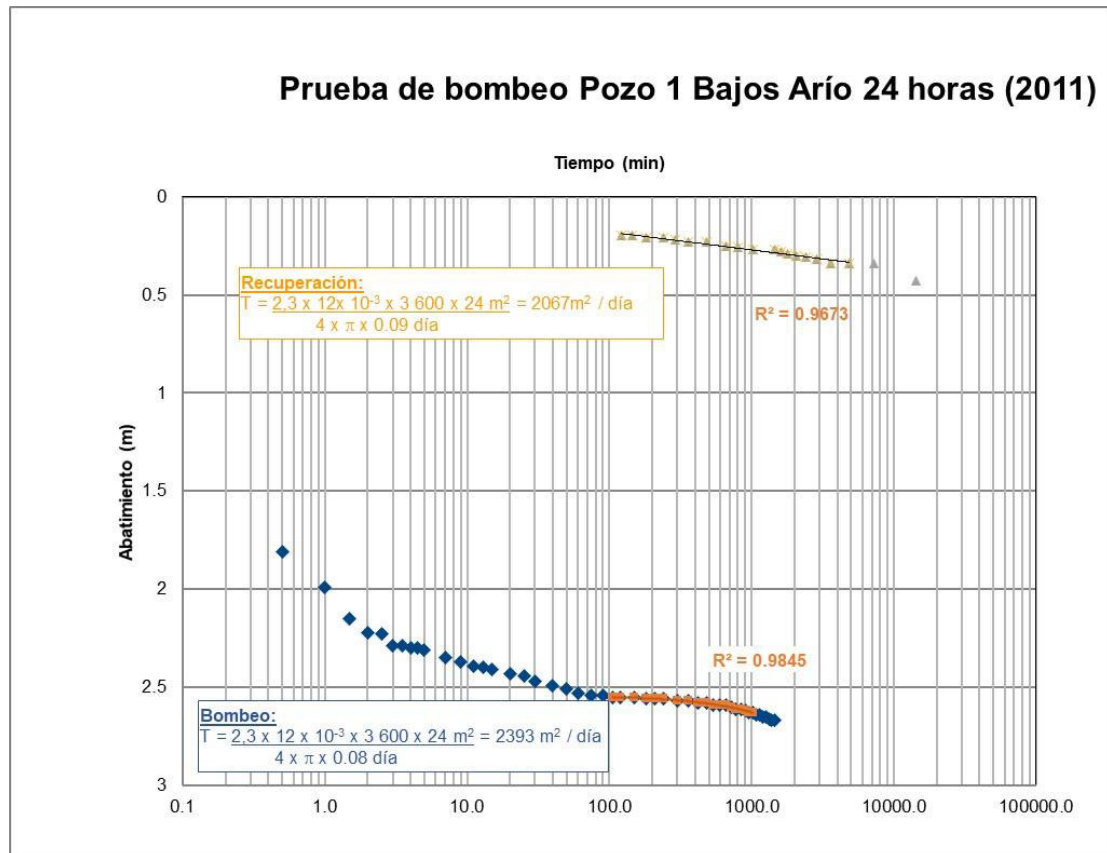


Figura N° 26 Interpretación de prueba de bombeo pozo AyA 04-01 metodología de Jacob (Jacob-Cooper).

8.6 Prueba de bombeo continua Pozo Bajos Arío AyA-02 (04-010) (26/2/2011)

En la figura N°27 se presentan los resultados de la interpretación de la prueba del bombeo del 2011 por medio de la metodología de Jacob (Jacob-Cooper, tanto para el periodo de bombeo como de recuperación para un tiempo total de bombeo de 72 horas.) Tal como se observa se obtiene una transmisividad de 2177.80 m²/día para el periodo de bombeo y una transmisividad de 5717 m²/día para el periodo de recuperación.

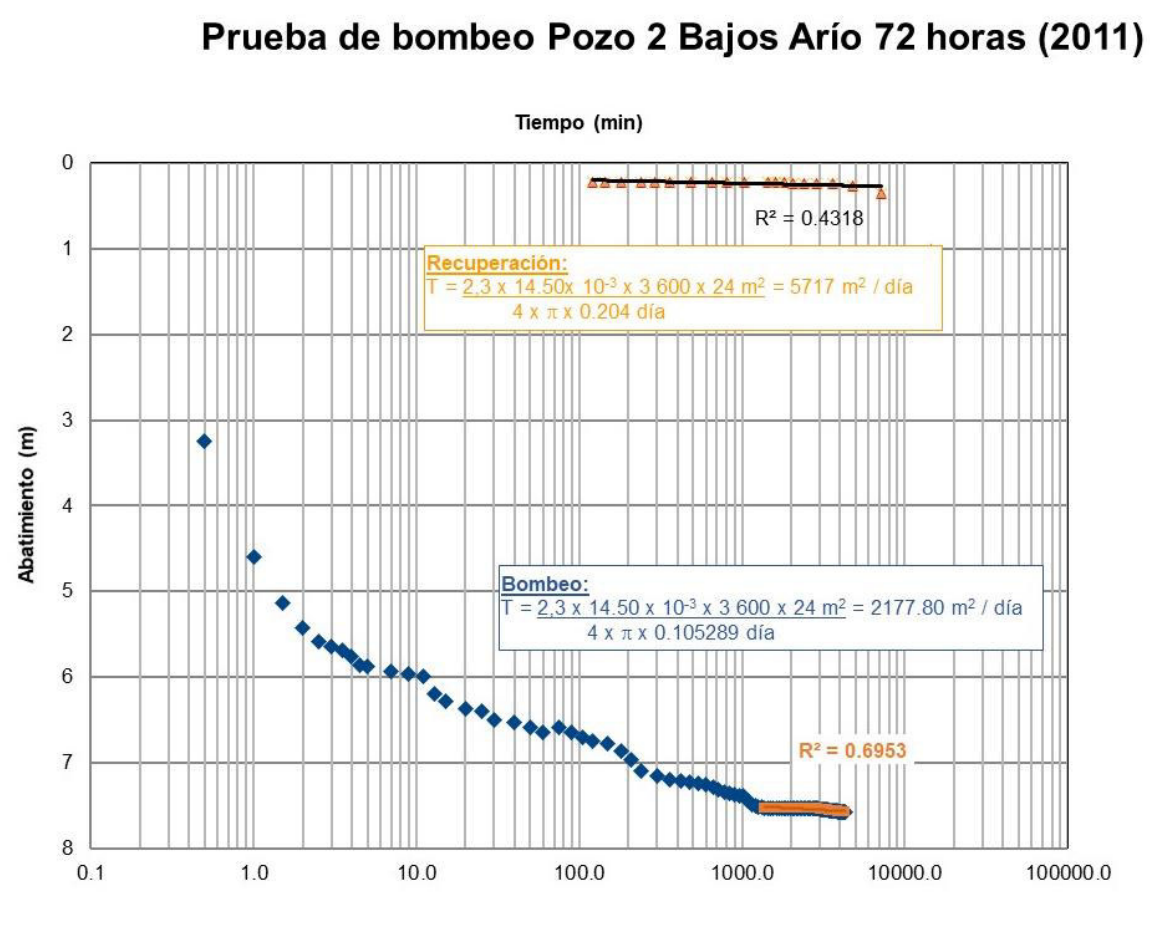


Figura N° 27 Interpretación de prueba de bombeo pozo AyA 04-10 metodología de Jacob (Jacob-Cooper).

8.7 Prueba de bombeo continua Pozo Bajos Arío AyA-03 (04-03) (26/02/2011)

En la figura N°28 se presentan los resultados de la interpretación de la prueba del bombeo del 2011 por medio de la metodología de Jacob (Jacob-Cooper, tanto para el periodo de bombeo como de recuperación para un tiempo total de bombeo de 48 horas.) Tal como se observa se obtiene una transmisividad de 2003 m²/día para el periodo de bombeo y una transmisividad de 2333 m²/día para el periodo de recuperación.

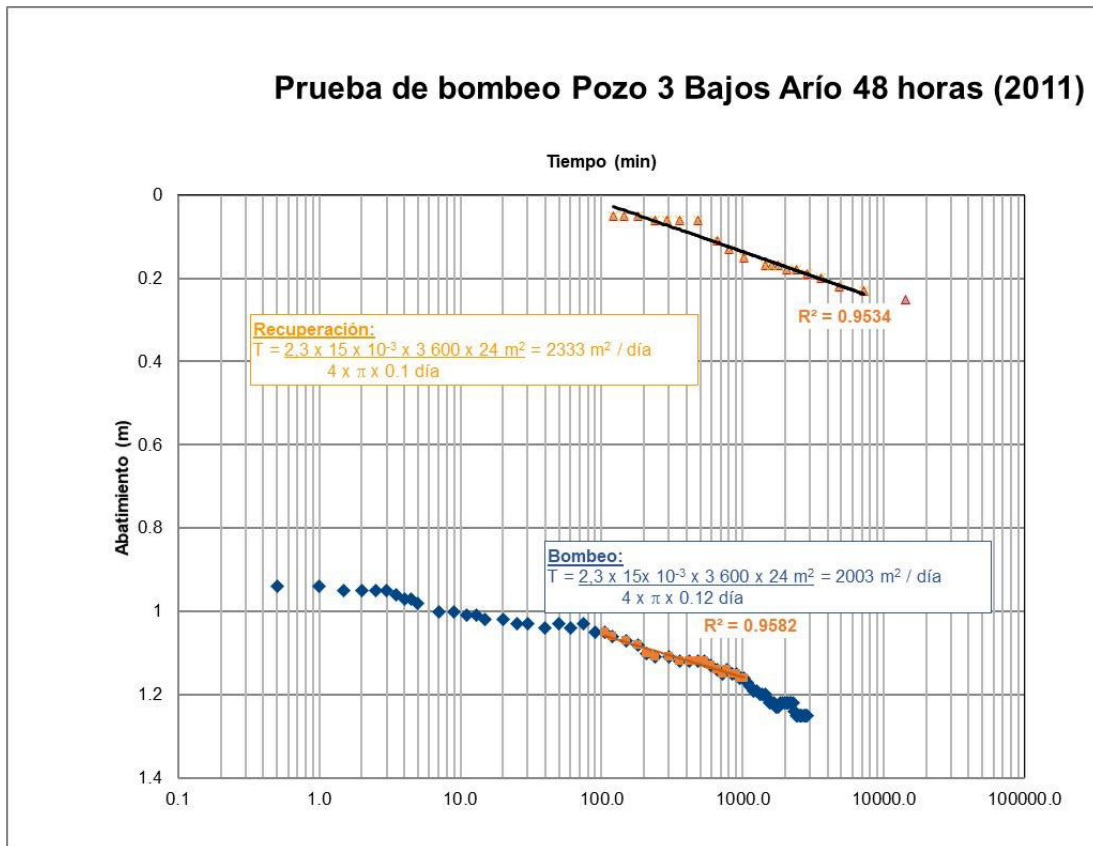


Figura N° 28 Interpretación de prueba de bombeo pozo AyA 04-03 metodología de Jacob (Jacob-Cooper).

8.8 Prueba de bombeo continua Pozo Bajos Arío AyA-01 (04-01) 2015 (20/05/15)

En la figura N°29 se presentan los resultados de la interpretación de la prueba del bombeo del 2015 por medio de la metodología de Jacob (Jacob-Cooper, tanto para el periodo de bombeo como de recuperación para un tiempo total de bombeo de 48 horas.) Tal como se observa se obtiene una transmisividad de 2374 m²/día para el periodo de bombeo y una transmisividad de 600.70 m²/día para el periodo de recuperación.

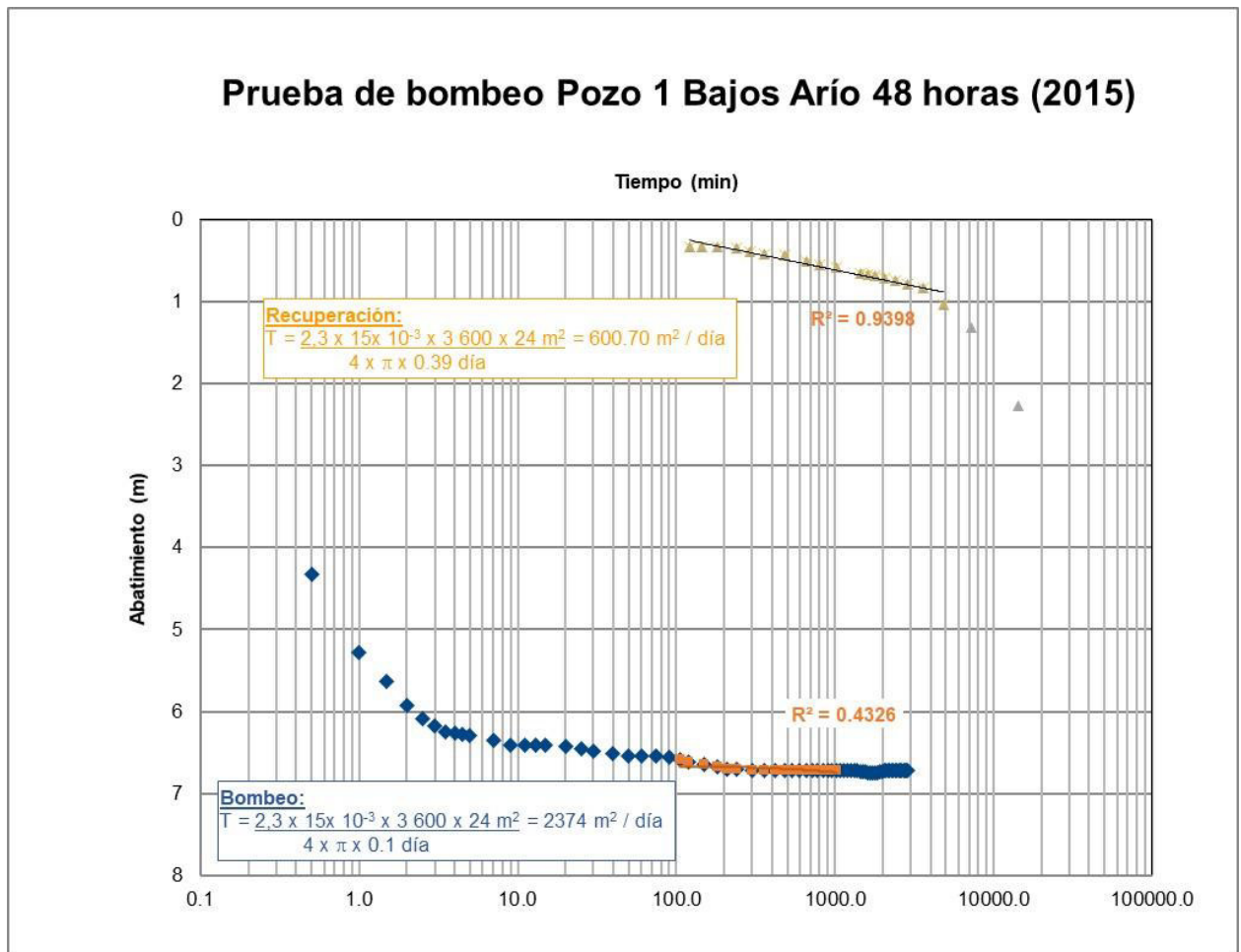


Figura N° 29 Interpretación de prueba de bombeo pozo AyA 04-01 metodología de Jacob (Jacob-Cooper).

8.9 Prueba de bombeo continua Pozo Bajos Arío AyA-02 (04-010) (20/05/2015)

En la figura N°30 se presentan los resultados de la interpretación de la prueba del bombeo del 2015 por medio de la metodología de Jacob (Jacob-Cooper, tanto para el periodo de bombeo como de recuperación para un tiempo total de bombeo de 48 horas.) Tal como se observa se obtiene una transmisividad de 2393 m²/día para el periodo de bombeo y una transmisividad de 1745 m²/día para el periodo de recuperación.

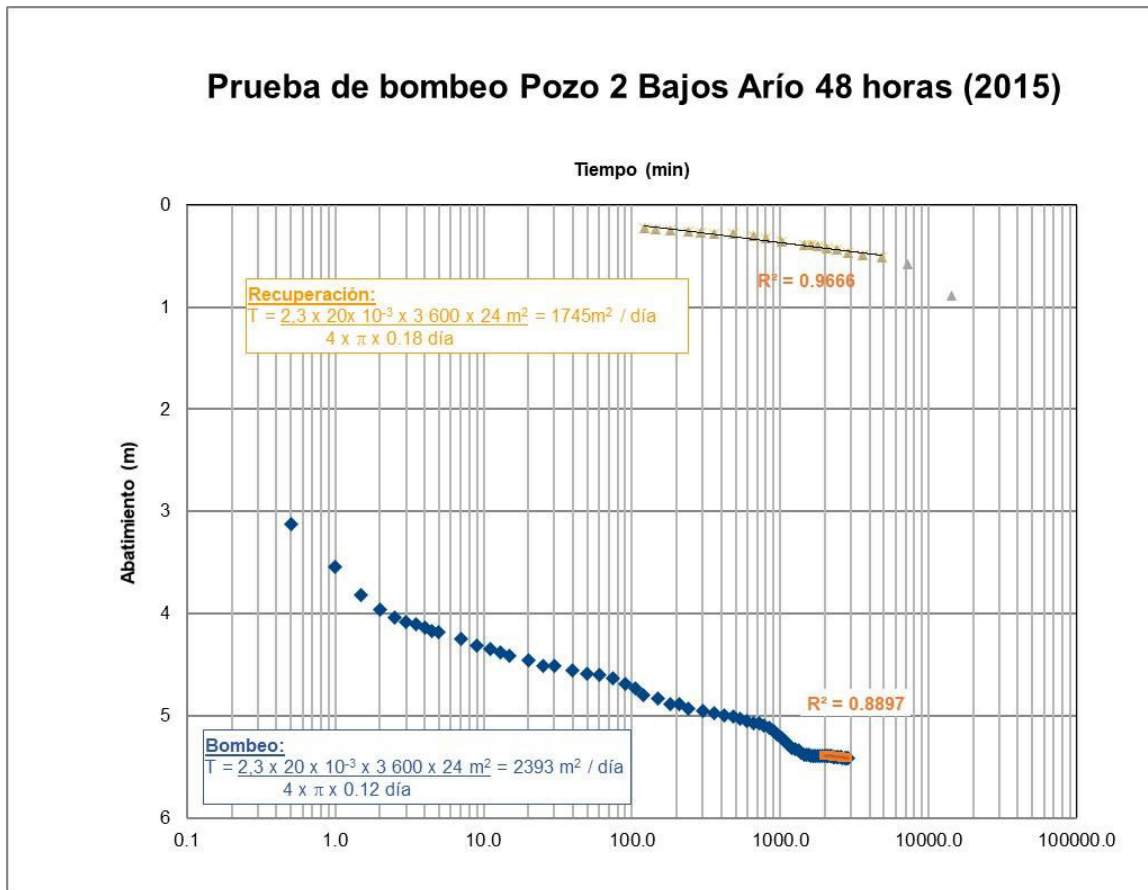


Figura N° 30 Interpretación de prueba de bombeo pozo AyA 04-10 metodología de Jacob (Jacob-Cooper).

8.10 Prueba de bombeo continua Pozo Bajos Arío AyA-03 (04-03) (20/05/2015)

En la figura N°31 se presentan los resultados de la interpretación de la prueba del bombeo del 2015 por medio de la metodología de Jacob (Jacob-Cooper, tanto para el periodo de bombeo como de recuperación para un tiempo total de bombeo de 48 horas.) Tal como se observa se obtiene una transmisividad de 3664 m²/día para el periodo de bombeo y una transmisividad de 1927 m²/día para el periodo de recuperación.

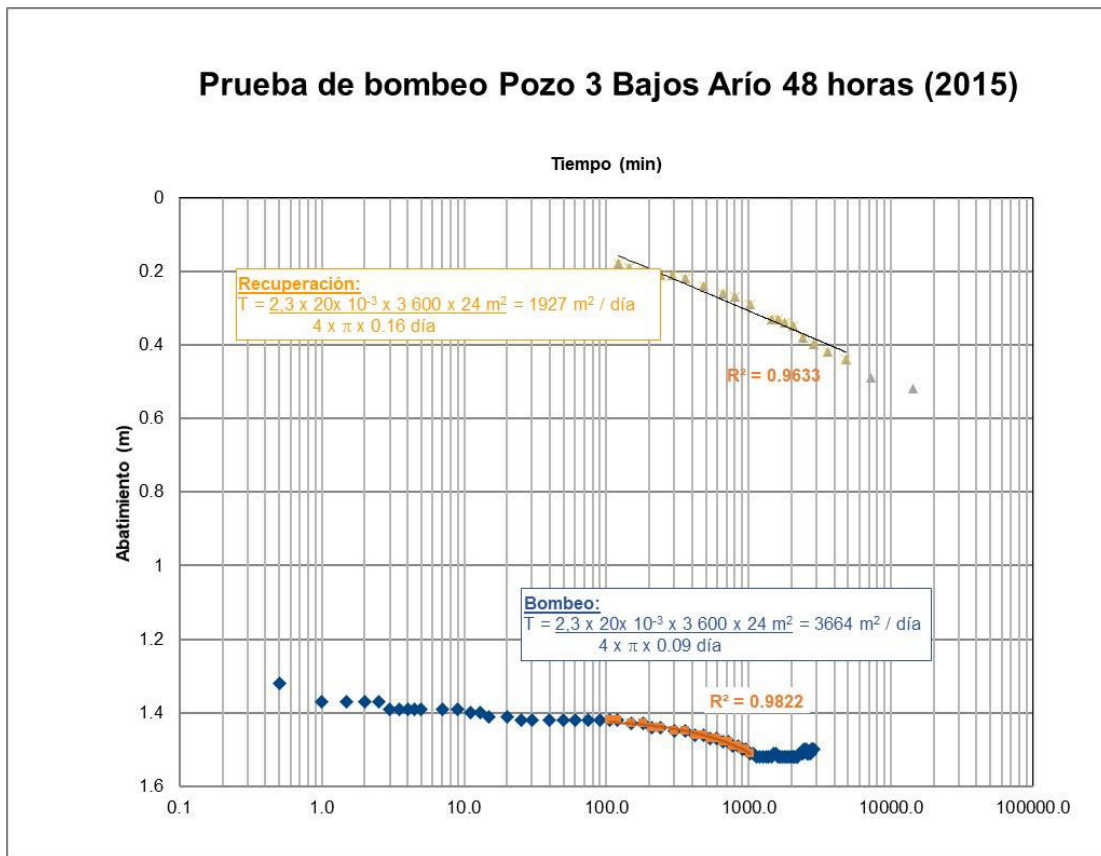


Figura N° 31 Interpretación de prueba de bombeo pozo AyA 04-03 metodología de Jacob (Jacob-Cooper).

8.11 Resumen de parámetros hidráulicos de pozos Bajos Aríos.

En la tabla N°21 se presenta el resumen con los parámetros hidráulicos calculados a partir de las pruebas de bombeo realizadas en el 2004, 2011 y 2015.

Tabla N° 21 Resumen de parámetros hidráulicos calculados a partir de las pruebas de bombeo,

Pozo	Fecha	Tiempo de Bombeo (horas)	Transmisividad bombeo (m ² /día)	Transmisividad recuperación (m ² /día)
AyA-01 (04-01)	2/3/2004	48	1501	-
	25/2/2011	24	2393	2067
	20/05/2015	48	2374	600.70
Promedio			2089	1333
AyA-02 (04-10)	19/5/2004	24	12655	-
	26/2/2011	72	2177	5717
	20/05/2015	48	2393	1745
Promedio			5741	3731
AyA-03 (04-03)	27/02/2011	48	2003	2333
	20/05/2015	48	3664	1927
Promedio			2833	2130

8.12 Análisis de prueba de bombeo corta 2020 y proyecciones.

Dado que la última prueba de bombeo realizada a los pozos fue en el 2015 con el objetivo de valorar un comportamiento más reciente se realizó una prueba de bombeo de una duración total de 3.25 horas durante la visita al campo de pozos el 28 de abril del 2020, cabe indicar que esta prueba no es equivalente a una prueba formal de bombeo, sin embargo dado que el campo de pozos se encuentra actualmente en operación permite realizar proyecciones conservadoras del comportamiento de los pozos durante su bombeo simultáneo.

Previo al inicio de la prueba de bombeo los 3 pozos se presentaban bombeando de manera simultánea por un lapso estimado de 6 horas, dado esta condición se apagaron los tres pozos y se procedió a realizar la medición de recuperación en el pozo 1 (04-01). Los resultados del análisis de esta recuperación se presentan en la figura 32, obteniéndose una transmisividad de 254 m²/día con una recuperación del 96%.

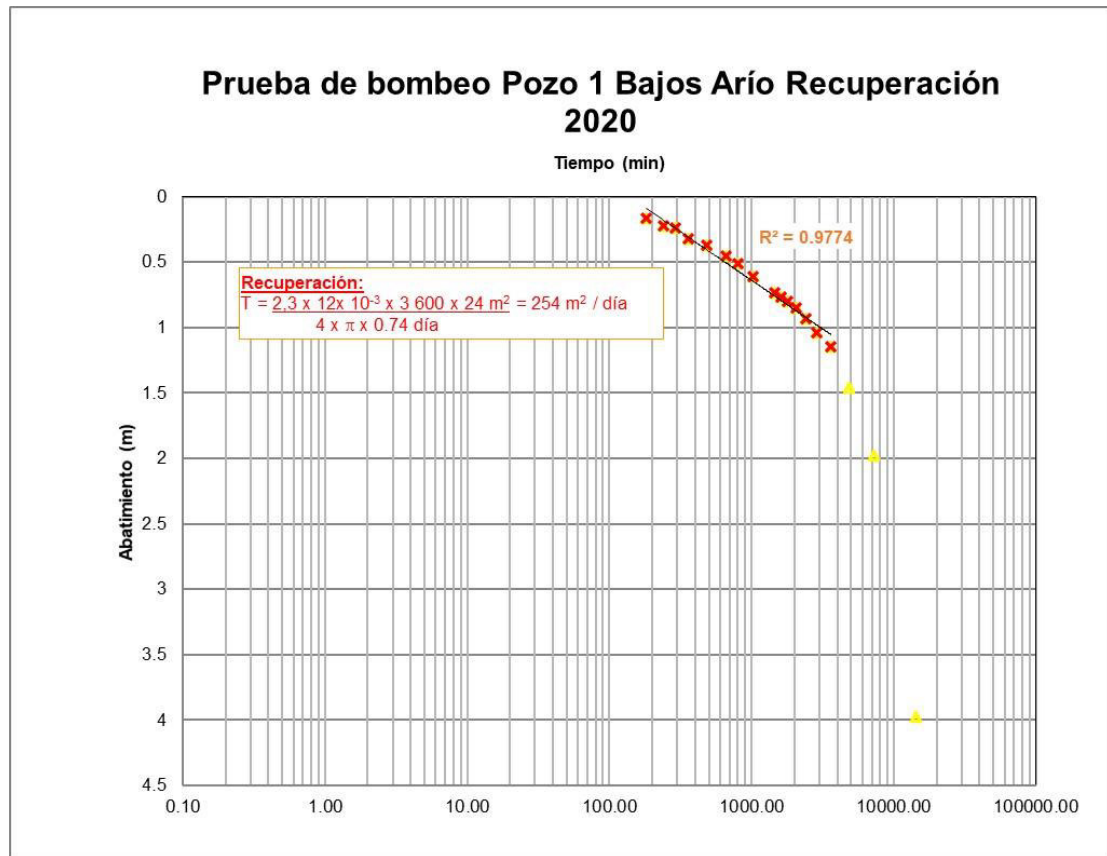


Figura N° 32 Interpretación de prueba de recuperación de pozo 1 AyA 04-01 metodología de Jacob (Jacob-Cooper).

Posteriormente se realizó la prueba de bombeo de corta duración que consistió en iniciar el bombeo del pozo 1 por un periodo de 25 minutos con su caudal mínimo de extracción posible en el momento siendo este de 13.5 l/s, a los 25 minutos se encendió el pozo 2 con su caudal mínimo de extracción posible en el momento siendo este de 8 l/s, posteriormente a los 50 minutos se encendió el pozo 3 con su con su caudal mínimo de extracción posible en el momento siendo este de 15 l/s, posterior a los 75 minutos se realizó una medición a los 195 minutos. En la figura N°33 se presenta la gráfica obtenida a partir de la prueba de bombeo y las proyecciones realizadas.

Prueba de bombeo Pozo 1 Bajos Arío 3.5 horas de bombeo y proyecciones (2020).

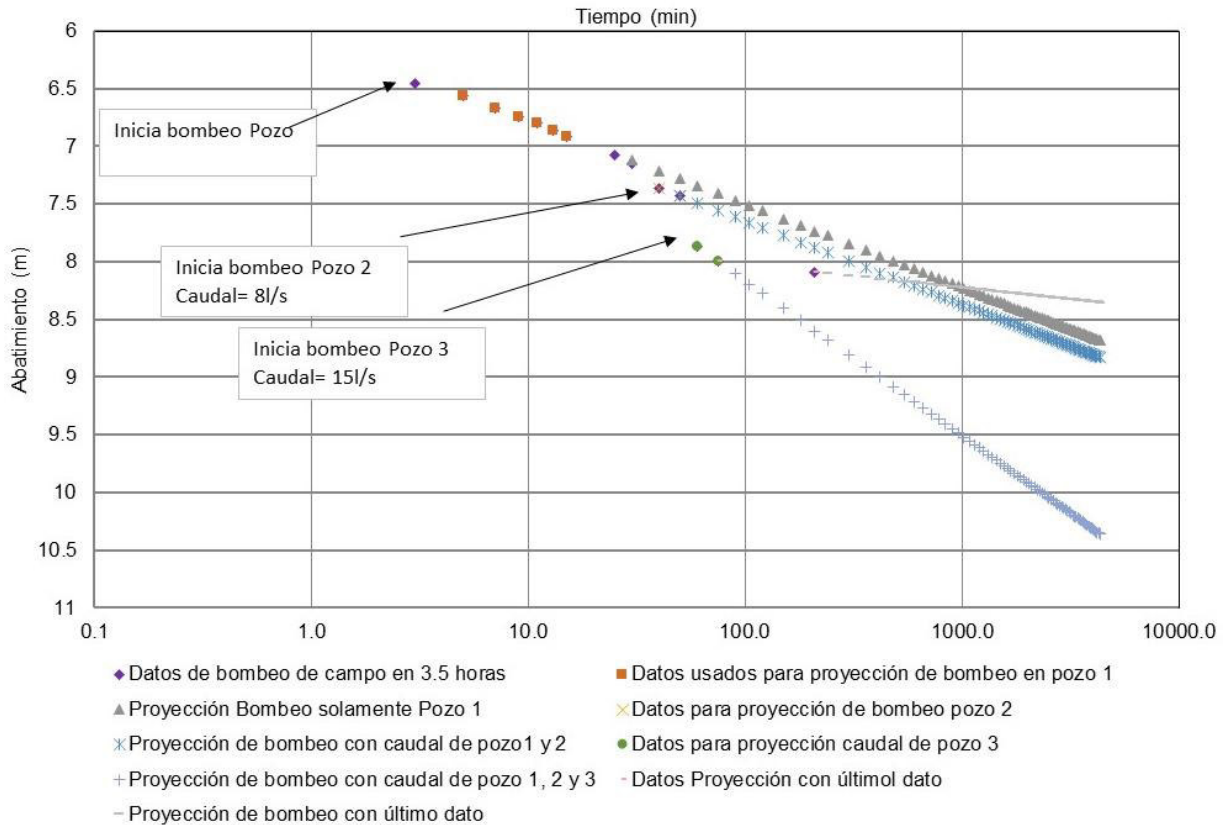


Figura N° 33 Prueba de bombeo de 3.25 horas simultánea en los 3 pozos y proyecciones. Eje Y abatimiento (m) Eje x tiempo (min).

En el escenario más conservador (considerando un escenario sin recarga) es posible concluir que con los siguientes caudales pozo 1= 13.5 l/s , pozo 2= 8l/s y pozo 3=15 l/S se obtendría un abatimiento a las 12 horas de bombeo simultánea (720 minutos de bombeo) de 9.3 m lo cual correspondería con una profundidad del nivel dinámico de 15.89m en el pozo 1. A 20 horas de bombeo se tendría un abatimiento de 9,61 m presentándose el nivel dinámico a 16.2 m en el pozo 1.

A partir de los resultados obtenidos del análisis de la información de pruebas de bombeo es posible concluir que el campo de pozos Bajo Arío presenta actualmente abatimientos mayores que los obtenidos durante las pruebas de bombeo del 2004, 2011 y 2015. Por lo tanto, es necesario realizar una inspección de los pozos mediante cámara de video para evaluar si la rejilla de estos se presenta obstruida por sedimentos y/o mineralizaciones y realizar una limpieza y desarrollo de estos, para posteriormente realizar las pruebas de bombeo escalonadas (4 etapas) y constantes de 72 horas que permitan evaluar la eficiencia y el caudal de extracción de los pozos.

9. RADIO DE INFLUENCIA

Para determinar el radio de influencia de los pozos del campo Bajos de Arío se utiliza la siguiente ecuación:

$$R = \sqrt{\frac{2.25Tt}{S}}$$

Donde:

T = Transmisividad del acuífero. Se utiliza el promedio de bombeo para cada pozo con base en la tabla N°21

t = Tiempo de bombeo [día]

r = radio o distancia de influencia total del pozo [m]

S = coeficiente de almacenamiento 5 E-03 [adimensional], considerando que el acuífero es confinado ya que no se cuenta con datos de pozos de observación para calcular dicho valor.

En la tabla N° 22 se presentan los resultados para el radio de influencia de los pozos del campo Bajos de Arío

Tabla N° 22 Radio de influencia pozos campo Bajos de Arío

Pozo	Transmisividad (m ² /día)	Tiempo de bombeo (días)	Coeficiente de almacenamiento (S)	Radio de influencia (m)
AyA-01 (04-01)	2089	1	5 E-03	969
AyA-02 (04-10)	5126	1	5 E-03	1607
AyA-03 (04-03)	2833	1	5 E-03	1129

10. DISPONIBILIDAD HÍDRICA CAMPO DE POZOS BAJOS DE ARIO

Se realiza un análisis de disponibilidad hídrica para la celda de flujo en la que se encuentra el campo de pozos Bajos de Arío. (Figura N°34)

Para calcular la disponibilidad hídrica se utiliza la ecuación de Darcy:

$$Q = T i L$$

Donde:

T= transmisividad 2461[m²/día] transmisividad promedio de pruebas de bombeo de pozo 04-01 y 04-04. No se utilizan el promedio del pozo 04-10 ya que se obtienen valores muy altos que aumentan la desviación estándar de los datos.

i= gradiente hidráulico [m/m] 0.003

L= ancho de la celda de flujo del tubo de flujo: L Darcy) = 500 m

Q=caudal total que pasa por la celda [m³/d o l/s]

En la tabla N°23 se presentan los cálculos respectivos para la celda de flujo representada en la Figura N°34.

Tabla N° 23 Disponibilidad hídrica celda de flujo campo de pozos Bajos de Arío

Celda	Transmisividad (T) (m ² /día)	Gradiente hidráulico (i) (m/m)	Ancho de la celda de flujo (L) (m)	Caudal total que pasa por la celda (m ³ /d)	Caudal total que pasa por la celda (l/s)	Caudal de reserva (l/s)	Caudal extraído actualmente. (l/s)*	Caudal disponible (l/s)
Campo de pozos Bajos de Arío (condición actual con extracción de 41 l/s)	2461	0,003	1000	7383	85.45	33.78	41	10.67

*Dentro de la celda de flujo definida solo se presentan los pozos perforados del AyA.

A partir del análisis es posible estimar que la celda tiene la capacidad de 85.451 l/s.

Dada la siguiente ecuación:

$$Q_{total} = Q_{reserva} + Q_{extracción}$$

$$Q_{total} (85.45 \text{ l/s}) = Q_{reserva} (33.78 \text{ l/s}) + Q_{extracción} (51.67 \text{ l/s})$$

Se tiene que considerando un caudal de reserva del 40% equivalente a 33.78 l/s, tendríamos un caudal de extracción disponible de extracción de 51.671 l/s.

Actualmente el campo de pozos Bajos Arío extrae un caudal de 40.9 l/s, sin embargo, será necesario valorar una vez realizadas las inspecciones y limpieza de los pozos para extraer un caudal mayor de este campo hasta un máximo de 51 l/s.

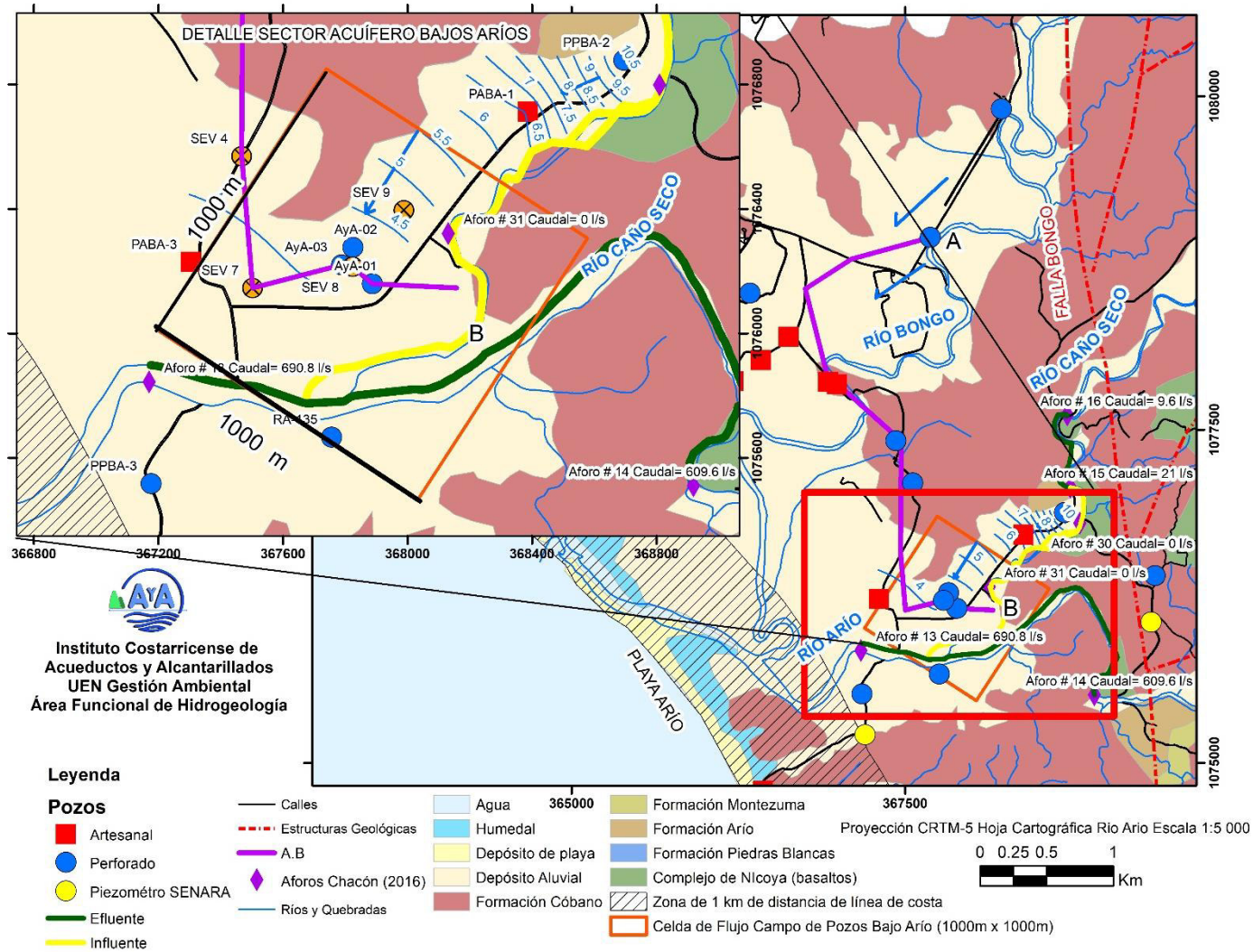


Figura N° 34 Celda de flujo campo de pozos Bajo Arío.

11. ANÁLISIS DE INTRUSIÓN SALINA

Con el objetivo de garantizar que tanto el campo de pozos Bajo Arío como los sitios propuestos para perforación de pozos de exploración-producción no tendrán afectación por el fenómeno de intrusión salina se realizó el cálculo de la profundidad de la cuña de intrusión salina mediante la metodología de Glover para tal fin se utiliza las siguientes ecuaciones

Profundidad de intrusión salina:

$$z = \frac{G * q}{k} + \sqrt{\frac{2 * G * q * x}{k}}$$

Distancia o anchura de descarga:

$$x_0 = \frac{-G * q}{2k}$$

Altura de nivel freático sobre el nivel del mar:

$$H = \sqrt{\frac{2 * Q * X}{g * K}}$$

Donde:

G= relación de agua dulce-agua salada usando 40

q= caudal unitario utilizando 7.38 calculado a partir de una transmisividad de 2461 m²/día y un gradiente hidráulico de 0.003

k= conductividad hidráulica de 307 m/día consideran una transmisividad de 2461 m²/día y un espesor de acuífero de 8m.

X= distancia de la costa 2000 m en línea de recta de la línea costa hasta el campo de pozos Bajo Arío.

En la tabla N°24 se presentan los cálculos respectivos.

Tabla N° 24 Análisis de intrusión salina campo de pozos Bajos de Arío

G Re-lación agua dulce-agua salada)	Transmisividad (T) (m ² /día)	Gra-diente hidráulico (i)	q (caudal Unitario)	Espe-sor del acuífero (b) (m)	k Conduc-tividad hi-dráulica	X Dis-tancia de la costa (m)	Z Profun-didad de la intru-sión Sa-lina (m)	X0 Dis-tancia de la des-carga (m)	H (Altura del nivel freático sobre el nivel del mar) (m)
40	2810	0.003	7.38	8	307	2000	62.927734	-0.48	1.549193

A partir de los resultados se obtiene que la cuña de intrusión salina se localiza a 62 m bajo el nivel del suelo del campo de pozos Bajos Arío por lo que no habría afectación hacia este sistema ya que los pozos no poseen profundidades mayores a los 25m.

12 CALIDAD FISICOQUÍMICA DEL CAMPO DE POZOS.

Los últimos resultados fisicoquímicos realizados a los pozos 1 y 2 registran niveles de hierro y manganeso por encima de lo permitido por el reglamento de calidad de agua potable. Pozo 1 196.5 µg/l de Fe y 179.4 µg/l de Mn y Pozo 2 9251.6 µg/l de Fe y 29.0 µg/l de Mn (Anexo3). Resultados obtenidos durante la prueba de bombeo del 2004 para el pozo 1 no registraban estas anomalías. Pozo 1(2004) 4 µg/l y 11 µg/l.

Escuder et al. (2009) indica que en acuíferos nos consolidados la presencia de cantidades elevadas de hierro y manganeso disueltos suele ser debida a la existencia de restos orgánicos acumulados en el subsuelo dando un ambiente reductor al agua que favorece la disolución de estas especies presentes en el subsuelo en forma de compuestos insolubles.

13. ALTERNATIVAS DE SITIO PARA PERFORACIÓN DE POZOS DE EXPLORACIÓN-PRODUCCIÓN.

A partir de los diferentes análisis realizados en el área de estudio se propone la ubicación de un sitio de perforación en el acuífero del sector del río Bongo específicamente en las coordenadas 1078798/367100 CRTM 05 en las cercanías donde se ejecutó el sondeo eléctrico vertical SEV-5 correspondiendo con el sector con mayor espesor de aluvial identificado. La profundidad propuesta de perforación sería de 30 m. En la figura N°35 se muestra el sitio de perforación.

Una vez realizada la perforación y ejecutada la prueba de bombeo escalonada (4 etapas) y la prueba de bombeo constante (72 horas), así como realizado el muestreo fisicoquímico podrá evaluarse la eventual perforación de perforaciones adicionales en este nuevo sector de ser necesario contar con un mayor caudal en el futuro.

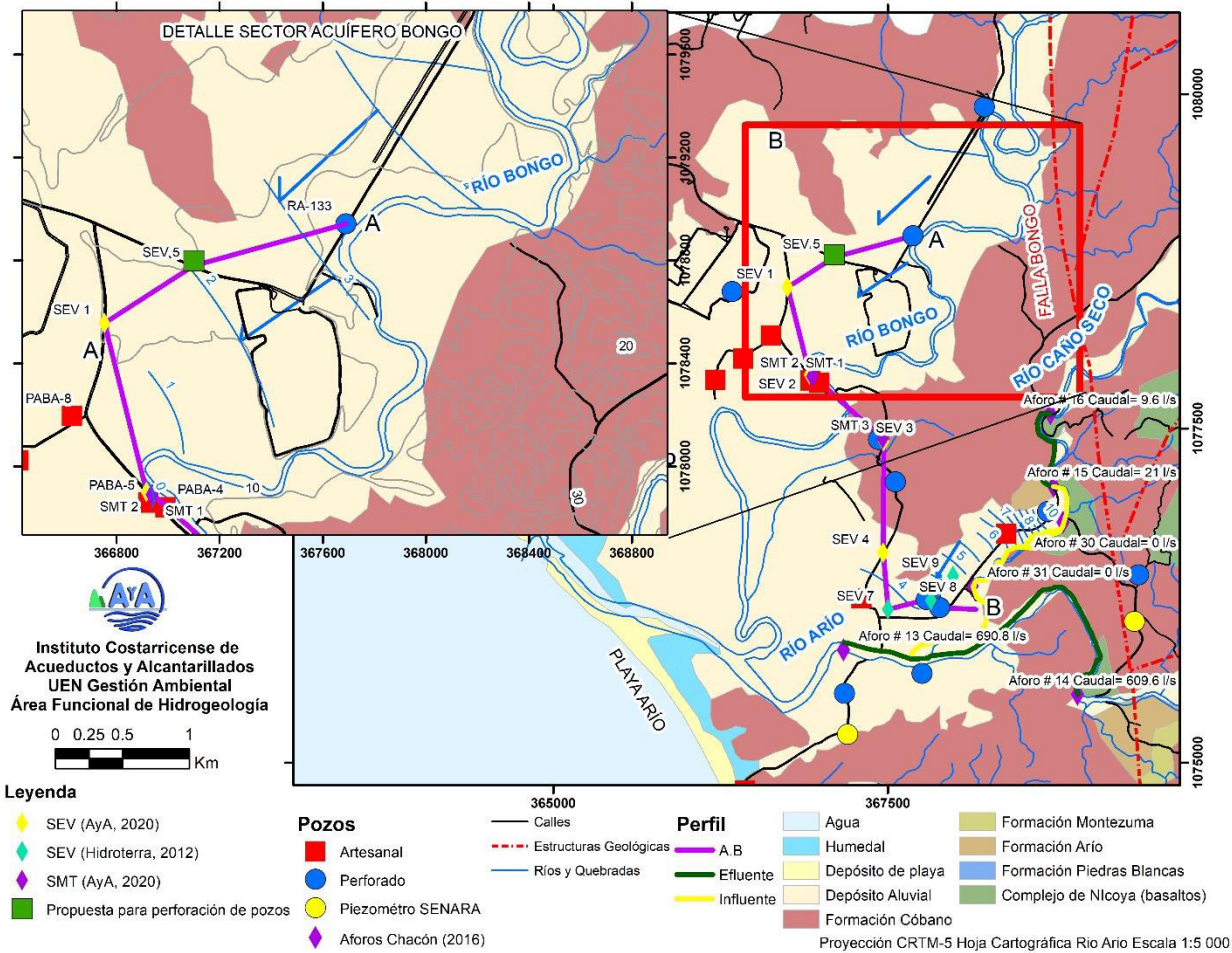


Figura N° 35 Propuesta para perforación de un pozo de exploración-producción en sector de acuífero Bongo.

14. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A) GENERALES

- 1) En el área de estudio se identifican rocas volcánicas correlacionadas al complejo de Nicoya y rocas sedimentarias correlacionadas a la formación Cóbano y Arío, de igual manera se presentan depósitos aluviales asociado al río Arío y Caño Seco.
- 2) A partir de las pruebas realizadas de fluorescencia de rayos x se concluye que en general la zona de estudio presenta valores de Fe y Mn altos en suelos y depósitos coluvio-aluviales.
- 3) La investigación geofísica realizada permite definir la distribución espacial de los principales acuíferos en la zona de Bajos Aríos y del río Bongo.
- 4) Se define para el sitio de estudio dos acuíferos aluviales en materiales finos gravas, arenas y ocasionalmente bloques.
 - a) El primer acuífero se localiza en Bajos de Arío el cual es captado por el campo de pozos actual del AyA y se presenta confinado por un espesor de depósitos de arcillas variable entre los 7 y 16 m con base en el registro de perforación de los pozos 04-01, 04-10 y 04-03 y la información geofísica interpretada (SEV7, SEV8 y SEV9). El espesor del aluvial captado en los pozos varía entre 17 y 6 m y el nivel piezométrico se mantiene entre los 5 y 6 m de profundidad. En la base del acuífero se presenta un material arcilloso correlacionado a las rocas sedimentarias meteorizadas.
 - b) El segundo acuífero se desarrolla en el sector del río Bongo a partir de la información geofísica y del registro del pozo RA-133 se define un espesor aluvial variable entre los 18 y 22m. Este acuífero presenta una dirección preferencial del flujo hacia el suroeste con un gradiente hidráulico bajo del orden 10^{-3} .

B) CAMPO DE POZOS BAJOS ARÍOS.

- 1) A partir de los resultados obtenidos del análisis de la información de pruebas de bombeo es posible concluir que el campo de pozos Bajo Arío presenta actualmente abatimientos mayores que los obtenidos durante las pruebas de bombeo del 2004, 2011 y 2015. Por lo tanto, se recomienda de manera prioritaria realizar una inspección de los pozos mediante cámara de video para evaluar si la rejilla de estos se presenta obstruida por sedimentos y/o mineralizaciones y realizar una limpieza y desarrollo de los pozos, para

posteriormente realizar pruebas de bombeo escalonadas (4 etapas) y constantes de 72 horas que permitan evaluar la eficiencia y el caudal de extracción de los pozos.

- 2) El radio de influencia del campo de pozos Bajos Arío varía entre 969 m y 1607m.
- 3) A partir del análisis de disponibilidad hídrica se obtiene que la celda de flujo en la que se encuentra el campo de pozos Bajos Aríos tiene una capacidad de 85.45 l/s, considerando que el caudal de reserva del 40% equivale a 33.78 l/s quedaría disponible un caudal de extracción de 51.67 l/s. Dado que actualmente el campo de pozos extrae un caudal de 40.9 l/s y por la condición actual de los pozos (grandes abatimientos) asociados a una obstrucción de rejillas y por ende pérdida de eficiencia no es posible extraer mayor cantidad de agua, se recomienda una vez realizada la limpieza y desarrollo de los pozos actuales evaluar el aumento en la capacidad de extracción del campo de pozos hasta 51 l/s.
- 4) A partir de los resultados se obtiene que la cuña de intrusión salina se localiza a 62 m bajo el nivel del suelo del campo de pozos Bajos Arío por lo que no habría afectación hacia este sistema ya que los pozos no poseen profundidades mayores a los 25m.
- 5) A partir del modelo hidrogeológico, de los resultados de las pruebas XRF que evidencia presencia alta de Fe y Mn en los suelos y depósitos aluviales de la zona y a la pérdida de eficiencia del campo de pozos evidenciado en las pruebas de bombeo, donde el acuífero confinado pasa a comportarse como un acuífero libre, se reafirma la necesidad de realizar una limpieza y desarrollo en los pozos para aprovechar el mayor caudal disponible, debido a que la presencia de estos elementos Fe y Mn, provocan incrustaciones en las rejillas de los pozos y con esto una disminución en los caudales de los mismos.
- 6) Los últimos resultados fisicoquímicos realizados (setiembre 2019) a los pozos 1 y 2 registran niveles de hierro y manganeso por encima de lo permitido por el reglamento de calidad de agua potable, sin embargo, los efectuados durante la prueba de bombeo del 2004 para el pozo 1 no registraban estas anomalías, dada esta condición se recomienda una vez sean limpiados y desarrollados los pozos se deberá de colocar el equipo de bombeo para cada pozo específicamente la succión en las siguientes profundidades:
 - Para el pozo # 1 se recomienda ubicar el equipo de bombeo en la cámara localizada entre los 17 y 19 m, lo anterior con el objetivo de que la succión no quede expuesta directamente al sector de rejillas y no incremente el arrastre de Fe y Mn, actualmente según la rotulación en los equipos electromecánicos para el pozo # 1 la succión de la bomba se presenta en 20.13m.

- Para el pozo # 2 se recomienda ubicar el equipo de bombeo en la cámara localizada entre los 15 y 21 m, lo anterior con el objetivo de que la succión no quede expuesta directamente al sector de rejillas y no incremente el arrastre de Fe y Mn, actualmente según la rotulación en los equipos electromecánicos para el pozo # 1 la succión de la bomba se presenta en 21 m.
 - El pozo # 3 al no contar con cámara de bombeo se recomienda mantener la profundidad actual de ubicación de la bomba, así como el encamisado de la misma, actualmente según la rotulación en los equipos electromecánicos para el pozo # 3 la succión de la bomba se presenta en 22.17 m.
- 7) Adicionalmente se deberá de realizar un monitoreo trimestral de calidad fisicoquímica del campo de pozos para evaluar el comportamiento de la cantidad de Fe y Mn a lo largo del tiempo y con el objetivo de valorar los lapsos de mantenimientos adecuado de los pozos.
- 8) Se procederá a solicitar por parte de la Subgerencia de Ambiente, Investigación y Desarrollo a la Dirección de Aguas del MINAE la inspección de los pozos perforados en propiedades privada en la zona de Bajos Arío para evaluar si estos cuentan con los permisos y concesiones respectivas con el objetivo de controlar el aprovechamiento del recurso hídrico en la zona, de igual manera se planteará solicitar al CTI (Comisión Técnica Interinstitucional para la gestión de acuíferos) incluir este acuífero como de aprovechamiento exclusivo del AyA para el abastecimiento poblacional.

C) ALTERNATIVA DE SITIO DE PERFORACIÓN.

- 1) A partir de los diferentes análisis realizados en el área de estudio se propone la ubicación de un sitio de perforación en el acuífero del sitio Bongo específicamente en las coordenadas 1078798/367100 CRTM 05 en las cercanías donde se ejecutó el sondeo eléctrico vertical SEV-5 correspondiendo con el sector con mayor espesor de aluvial identificado. La profundidad propuesta de perforación sería de 30 m.
- 2) Una vez realizada la perforación es necesario realizar una prueba de bombeo a caudal variable con un mínimo de 4 etapas y la prueba de bombeo a caudal constante por 72 horas, a partir de los resultados de estas pruebas será necesario valorar el caudal de explotación. De igual manera una vez finalizadas las 72 horas de bombeo será necesario tomar una muestra de agua para evaluar la calidad bacteriológica y fisicoquímica.

13. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- ASTORGA, A., 1987: El Cretácico Superior y el Paleógeno de la vertiente Pacífica de Nicaragua Meridional y Costa Rica septentrional: origen, evolución y dinámica de las cuencas profundas relacionadas al margen convergente de Centroamérica. -182 págs. Univ. De Costa Rica, San José.
- AGUILAR, T., DENYER, P., MONTERO, W., 2014: Geología de la península de Nicoya: Actualización, sintetización y digitalización de la cartografía geológica de la península de Nicoya. -302 págs. Informe final MINAET-UCR.
- AGUILAR, T., DENYER, P. & MONTERO, W., 2018: Mapa Geológico de la Hoja Río Arío. - Escala 1:50 000, CICG-UCR & DGM-MINAE, San José.
- BERTSCH, F., 1986. Manual para interpretar la fertilidad de los suelos en Costa Rica, San José. UCR.
- DENGO, G., 1962: Estudio geológico de la región de Guanacaste, Costa Rica.-112 págs. Instituto Geográfico Nacional, San José.
- DENYER, P. & ARIAS, O., 1993: Geología del Norte de la Península de Nicoya, Costa Rica.- Rev. Geól. Amér. Central, 16:69-84
- ESCUDE R., FRAILE, J., JORDANA S., RIBERA, F., SÁNCHEZ, X. & VAZQUEZ E., 2009: Hidrogeología. 768 págs. Fundación Centro Internacional de Hidrología Subterránea. Barcelona.
- CUSTODIO, E. & LLAMAS, M., 1983: Hidrología subterránea. Edit. Omega. Barcelona.2 Tomos, 2359pp.
- CHACON, D., 2016: Modelo conceptual hidrogeológico, recarga y vulnerabilidad a la contaminación cuenca río Arío, Cóbano, Puntarenas- págs. Univ. Costa Rica, San José [*Tesis Lic.*]
- HIDROTERRA, 2012: Estudio hidrogeológico-geofísico en la Cuenca Ario-Cóbano, Puntarenas.-95págs.Contratación Directa AyA. [*Informe técnico*]
- IGLESIAS A., 2002: Hidrogeología. Capitulo 5 de Ingeniería Geológica. Editor: González de Vallejo, L. Edit. Prentice may, Madrid, 263-302pp.
- KOZLOVSKYE. 1984. Hydrogeological principles of groundwater protection. Vol. I:1-164. UNESCO-UNEP. Moscú.
- MOLINA, E. y MELÉNDEZ , G. 2002. Tabla de interpretación de análisis de suelos. Centro de Investigaciones Agronómicas, Universidad de Costa Rica. Mimeo.

Anexo 1 Inventario de Pozos



INVENTARIO DE ELEMENTOS HIDROGEOLÓGICOS

Código de elemento		RA-208		
Fecha:	28/04/2020	Tipo de elemento	Piezómetro SENARA	
Levantó:	Jorge Salazar/Marvin Gómez	Proyecto:	Bajos Arío-Mal País-Cobano	
Coordenadas	Norte	Oeste	Altura de brocal (m)	0.6
	1076056	369344	Nivel estático NE (m)	14.34
Profundidad (m)	NA		Nivel dinámico ND (m)	NA
Elevación (msnm)	67		Elevación de nivel freático (msnm)	52.06
Uso	Investigación		Propietario	SENARA

FOTOGRAFÍAS



Código de elemento		PPBA-1		
Fecha:	28/04/2020	Tipo de elemento	Perforado	
Levantó:	Jorge Salazar/Marvin Gómez	Proyecto:	Bajos Arío-Mal País-Cobano	
Coordenadas	Norte	Oeste	Altura de brocal (m)	0.46
	1076404	369374	Nivel estático NE (m)	23.35
Profundidad (m)	NA		Nivel dinámico ND (m)	NA
Elevación (msnm)	80		Elevación de nivel freático	56.19
Uso	Desconocido		Propietario	Desconocido

FOTOGRAFÍAS





INVENTARIO DE ELEMENTOS HIDROGEOLÓGICOS

Código de elemento			PPBA-2	
Fecha:	28/04/2020		Tipo de elemento	Perforado
Levantó:	Jorge Salazar/Marvin Gómez		Proyecto:	Bajos Arío-Mal País-Cobano
Coordenadas	Norte	Oeste	Altura de brocal (m)	ND
	1076877	368695	Nivel estático NE (m)	ND
Profundidad (m)	NA		Nivel dinámico ND (m)	ND
Elevación (msnm)	17.7		Elevación de nivel freático (msnm)	ND
Uso	Desconocido		Propietario	Desconocido

FOTOGRAFÍAS

Código de elemento			PABA-1	
Fecha:	28/04/2020		Tipo de elemento	Artesanal
Levantó:	Jorge Salazar/Marvin Gómez		Proyecto:	Bajos Arío-Mal País-Cobano
Coordenadas	Norte	Oeste	Altura de brocal (m)	0.9
	1076713	368387	Nivel estático NE (m)	6.57
Profundidad (m)	NA		Nivel dinámico ND (m)	NA
Elevación (msnm)	14		Elevación de nivel freático	6.53
Uso	Desconocido		Propietario	Desconocido

FOTOGRAFÍAS





INVENTARIO DE ELEMENTOS HIDROGEOLÓGICOS

Código de elemento			PPBA-2	
Fecha:	28/04/2020		Tipo de elemento	Perforado
Levantó:	Jorge Salazar/Marvin Gómez		Proyecto:	Bajos Arío-Mal País-Cobano
Coordenadas	Norte	Oeste	Altura de brocal (m)	0.55
	1076877	368695	Nivel estático NE (m)	6.51
Profundidad (m)	NA		Nivel dinámico ND (m)	NA
Elevación (msnm)	17.7		Elevación de nivel freático (msnm)	10.64
Uso	Desconocido		Propietario	Desconocido

FOTOGRAFÍAS



Código de elemento			PABA-1	
Fecha:	28/04/2020		Tipo de elemento	Artesanal
Levantó:	Jorge Salazar/Marvin Gómez		Proyecto:	Bajos Arío-Mal País-Cobano
Coordenadas	Norte	Oeste	Altura de brocal (m)	0.9
	1076713	368387	Nivel estático NE (m)	6.57
Profundidad (m)	NA		Nivel dinámico ND (m)	NA
Elevación (msnm)	14		Elevación de nivel freático	6.53
Uso	Desconocido		Propietario	Desconocido

FOTOGRAFÍAS





INVENTARIO DE ELEMENTOS HIDROGEOLÓGICOS

Código de elemento			PABA-2	
Fecha:	28/04/2020		Tipo de elemento	Artesanal
Levantó:	Jorge Salazar/Marvin Gómez		Proyecto:	Bajo Arío-Mal País-Cobano
Coordenadas	Norte	Oeste	Altura de brocal (m)	0.65
	1074888	366387	Nivel estático NE (m)	5.07
Profundidad (m)	NA		Nivel dinámico ND (m)	NA
Elevación (msnm)	8.34		Elevación de nivel freático (msnm)	2.62
Uso	Consumo		Propietario	Consumo

FOTOGRAFÍAS



Código de elemento			PABA-3	
Fecha:	08/03/2018		Tipo de elemento	Artesanal
Levantó:	Jorge Salazar/Marvin Gómez		Proyecto:	Bajo Arío-Mal País-Cobano
Coordenadas	Norte	Oeste	Altura de brocal (m)	0.7
	1076230	367304	Nivel estático NE (m)	5.72
Profundidad (m)	NA		Nivel dinámico ND (m)	ND
Elevación (msnm)	10		Elevación de nivel freático	3.58
Uso	Desconocido		Propietario	Desconocido

FOTOGRAFÍAS





INVENTARIO DE ELEMENTOS HIDROGEOLÓGICOS

Código de elemento			PPBA-3	
Fecha:	28/04/2020		Tipo de elemento	Perforado
Levantó:	Jorge Salazar/Marvin Gómez		Proyecto:	Bajos Arío-Mal País-Cobano
Coordenadas	Norte	Oeste	Altura de brocal (m)	NA
	1075517	367176	Nivel estático NE (m)	NA
Profundidad (m)	NA		Nivel dinámico ND (m)	NM
Elevación (msnm)	10		Elevación de nivel freático (msnm)	NA
Uso	Desconocido		Propietario	Desconocido

FOTOGRAFÍAS



Código de elemento			PPBA-4	
Fecha:	28/04/2020		Tipo de elemento	Perforado
Levantó:	Jorge Salazar/Marvin Gómez		Proyecto:	Bajos Arío-Mal País-Cobano
Coordenadas	Norte	Oeste	Altura de brocal (m)	NA
	1077416	367430	Nivel estático NE (m)	NA
Profundidad (m)	NA		Nivel dinámico ND (m)	0
Elevación (msnm)	10		Elevación de nivel freático	NA
Uso	Desconocido		Propietario	Desconocido

FOTOGRAFÍAS





INVENTARIO DE ELEMENTOS HIDROGEOLÓGICOS

Código de elemento			PABA-4	
Fecha:	28/04/2020		Tipo de elemento	Artesanal
Levantó:	Jorge Salazar/Marvin Gómez		Proyecto:	Bajo Arío-Mal País-Cobano
Coordenadas	Norte	Oeste	Altura de brocal (m)	0.93
	1077842	366990	Nivel estático NE (m)	7.78
Profundidad (m)	NA		Nivel dinámico ND (m)	0
Elevación (msnm)	10		Elevación de nivel freático (msnm)	1.29
Uso	Sin uso		Propietario	Desconocido

FOTOGRAFÍAS



Código de elemento			PABA-5	
Fecha:	28/04/2020		Tipo de elemento	Perforado
Levantó:	Jorge Salazar/Marvin Gómez		Proyecto:	Bajo Arío-Mal País-Cobano
Coordenadas	Norte	Oeste	Altura de brocal (m)	1.18
	1077859	366924	Nivel estático NE (m)	9.36
Profundidad (m)	2.7		Nivel dinámico ND (m)	0
Elevación (msnm)	10		Elevación de nivel freático	-0.54
Uso	Doméstico		Propietario	Desconocido

FOTOGRAFÍAS





INVENTARIO DE ELEMENTOS HIDROGEOLÓGICOS

Código de elemento		PPBA-5	
Fecha:	28/04/2020	Tipo de elemento	Perforado
Levantó:	Jorge Salazar/Marvin Gomez	Proyecto:	Bajos Arío-Mal País-Cobano
Coordenadas	Norte	Oeste	Altura de brocal (m)
	1079905	368222	Nivel estático NE (m)
Profundidad (m)	NA	Nivel dinámico ND (m)	0
Elevación (msnm)	11.5	Elevación de nivel freático (msnm)	5.13
Uso	Doméstico	Propietario	Desconocido

FOTOGRAFÍAS



Código de elemento		PozoAyA-01	
Fecha:	08/03/2018	Tipo de elemento	Pozo Perforado
Levantó:	Jorge Salazar/Marvin Gómez	Proyecto:	Bajos Arío-Mal País-Cobano
Coordenadas	Norte	Oeste	Altura de brocal (m)
	1076159	367887	Nivel estático NE (m)
Profundidad (m)	23	Nivel dinámico ND (m)	17
Elevación (msnm)		Elevación de nivel freático	3.79
Uso	Abastecimiento	Propietario	AyA

FOTOGRAFÍAS





INVENTARIO DE ELEMENTOS HIDROGEOLÓGICOS

Código de elemento			Pozo AyA-02	
Fecha:	28/04/2020		Tipo de elemento	Perforado
Levantó:	Jorge Salazar/Marvin Gómez		Proyecto:	Bajos Arío-Mal País-Cobano
Coordenadas	Norte	Oeste	Altura de brocal (m)	0.45
	1076277	367825	Nivel estático NE (m)	5.32
Profundidad (m)	25		Nivel dinámico ND (m)	18.34
Elevación (msnm)	10		Elevación de nivel freático (msnm)	4.23
Uso	Abastecimiento		Propietario	AyA

FOTOGRAFÍAS



Código de elemento			Pozo AyA-03	
Fecha:	28/04/2020		Tipo de elemento	Perforado
Levantó:	Jorge Salazar/Marvin Gómez		Proyecto:	Bajos Arío-Mal País-Cobano
Coordenadas	Norte	Oeste	Altura de brocal (m)	0.4
	1076220	367788	Nivel estático NE (m)	5.34
Profundidad (m)	25		Nivel dinámico ND (m)	7.9
Elevación (msnm)	10		Elevación de nivel freático	4.26
Uso	Abastecimiento		Propietario	AyA

FOTOGRAFÍAS



Anexo 2 Reporte de perforación de pozos.



Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados
UEN Administración de Proyectos
Unidad Técnica de Perforaciones

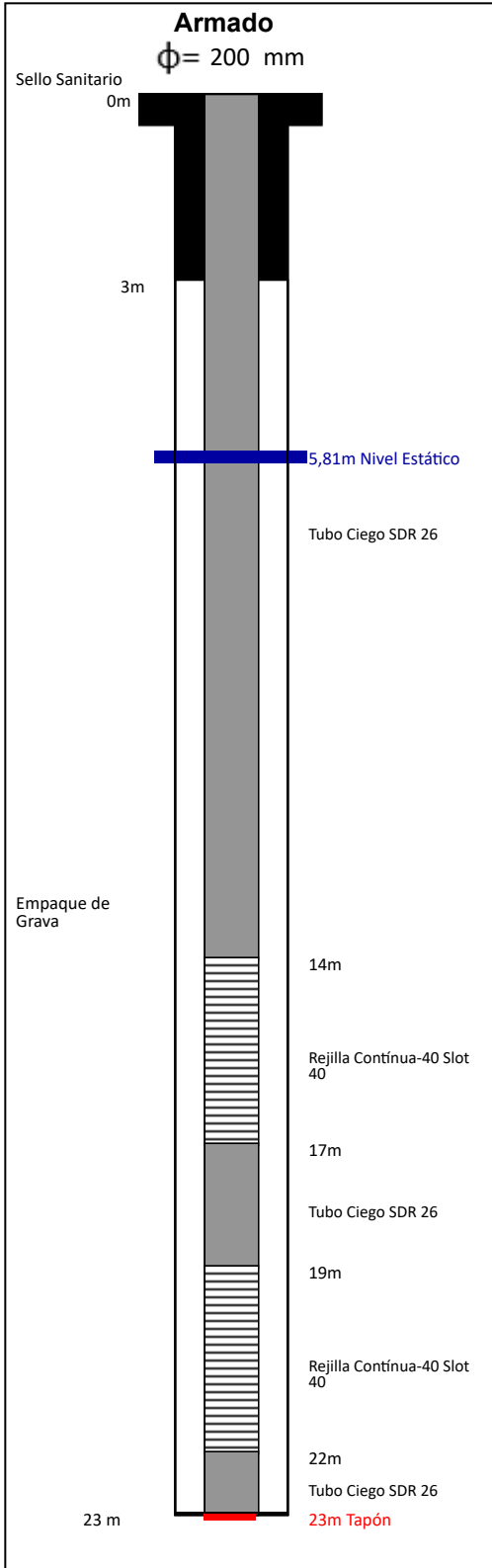
Pozo N° 04-01

Pag. 1

Nombre:

N° Pozo SENARA/MINAE:

VALIDACIÓN: Informe generado por Perfil Visita el 24/04/2020. Nulo sin firma y sello de persona autorizada



Ubicación

Localidad: Bajos de Ario N°1

Coord: N 0 - E 0

Elev(m): 0

Sist:

Lambert Norte

H/IGN: RIO ARIO 3145 II

Provincia:

Puntarenas

Propietario: AYA

Cantón:

Puntarenas

Código: 06-01-05

Distrito:

Paquera

Equipo de Perforación

Maquinaria: 22 W n°1

Método:

Percusión

Perforador: Ronulfo Badilla

Orden Costos:

Inicio: 19/01/2004

Final: 11/03/2004

Duración:

52 días

Datos de Perforación

	Diámetro (mm)	Longitud (m)
Perforación	300	23
Tubería	200	17
Rejilla	200	6
Ademe	300	0

Material: PVC

Tiempo Desarrollo (h): 4

Desarrollo: Aire comprimido

Observaciones:

La prueba de bombeo realizada en el 2004 recomienda extraer un caudal de 22.05 l/s con un abatimiento de 5.00 m. A partir de la prueba de bombeo realizada el 20 de mayo del 2015 se recomienda un caudal de extracción de 15 L/s, considerando un periodo de bombeo continuo de 20 horas diarias y 4 horas de reposo. Se recomienda ubicar el equipo de bombeo a la profundidad de 18 m, la bomba deberá de ser encamizada para garantizar el enfriamiento y protección del equipo.

Datos Prueba de Bombeo

Fecha de prueba:	20/05/2015
Potencia bomba (hp):	7.5
Profundidad bomba (m):	18
Nivel estático (m):	5.81
Nivel dinámico (m):	12.53
Caudal prueba (l/s):	15
Abatimiento (m):	6.72
Coef.almacenamiento:	0
Transmisividad (m²/día):	1502
Caudal rec. (l/s):	15
Tiempo bombeo rec.(h):	20

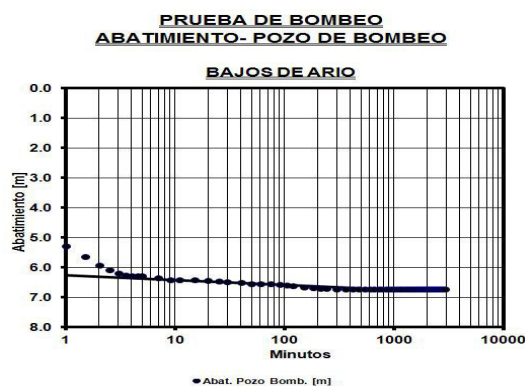
Litología

0-8 m	Arcilla beige alta plasticidad limo arcilloso.
8-14 m	Arcilla gris alta plasticidad limo arcilloso.
14-15 m	Aluvión con arcilla bloques subangulares.
15-16 m	Aluvión con arena fina por la presencia del contacto.
16-17 m	Aluvión limpio.
17-18 m	Aena media (arenón)
18-19 m	Aluvión medio con clastos angulosos.
19-20 m	Aluvión medio con clastos redondeadas.
20-23 m	complejo de Nicoya, lutita calcárea.

Imágenes



Pozo en operación 04-01, utilizando durante la prueba de bombeo, el equipo previamente instalado.



Comportamiento de los abatimientos durante el desarrollo de la prueba de bombeo.

Reportes de calidad de agua

No. Prueba	Tipo de prueba	No. Reporte	Fecha recolección muestra	Observaciones
1	Físico-química	AyA-ID-03835-2015	20/05/2015	Los resultados del análisis físico-químico bajo las determinaciones efectuadas establecen que el agua cumple con el Reglamento para la Calidad del Agua Potable 32327-S.
2	Microbiológica	124195	20/05/2015	A partir del análisis microbiológico se determina que la muestra de agua evaluada es de calidad excelente para aguas de consumo humano, puesto que no se identificó la presencia de coliformes fecales.

Ver validación en página 1



Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados
UEN Administración de Proyectos
Unidad Técnica de Perforaciones

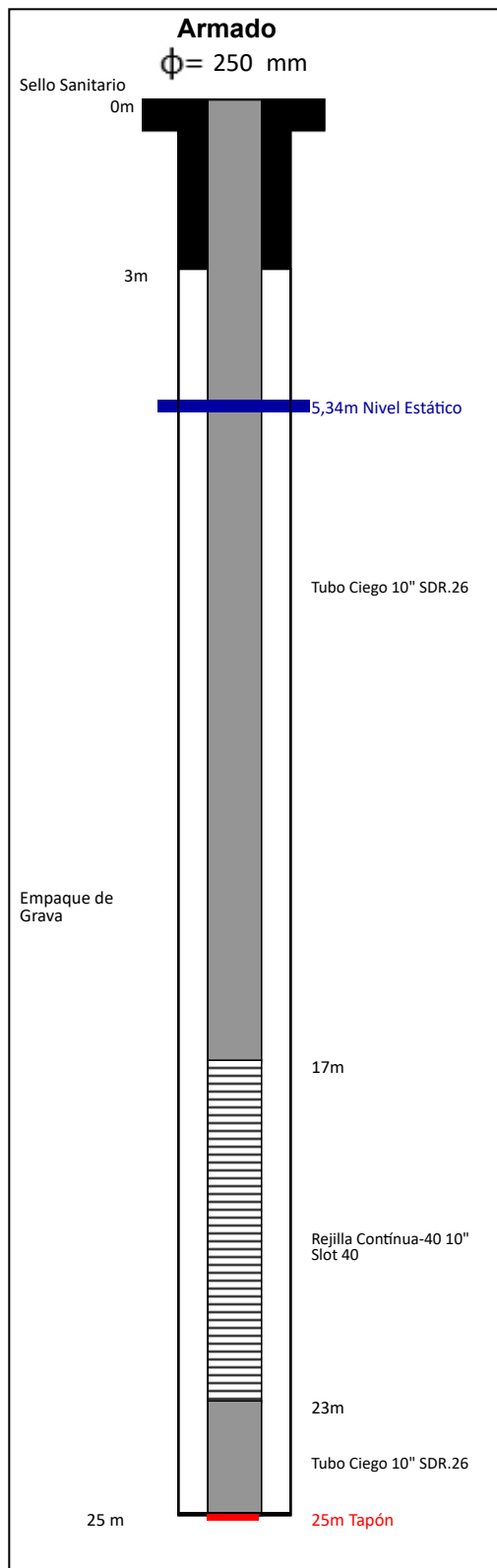
Pozo N° 04-03

Pag. 1

Nombre:

N° Pozo SENARA/MINAE:

VALIDACIÓN: Informe generado por Perfil Visita el 24/04/2020. Nulo sin firma y sello de persona autorizada



Ubicación

Localidad: Bajos de Ario N°3

Coord: N 0 - E 0

Elev(m): 0

Sist:

Lambert Norte

H/IGN: RIO ARIO 3145 II

Provincia:

Puntarenas

Propietario: AyA

Cantón:

Puntarenas

Código: 06-01-05

Distrito:

Paquera

Equipo de Perforación

Maquinaria: 22 W n°1

Método:

Percusión

Perforador: Bayardo Ramírez

Orden Costos:

Inicio: 03/05/2004

Final: 20/05/2004

Duración:

17 días

Datos de Perforación

	Diámetro (mm)	Longitud (m)
Perforación	350	25
Tubería	250	18
Rejilla	250	6
Ademe	350	0

Material: PVC
Tiempo Desarrollo (h): 4
Desarrollo: Pistón

Observaciones:

A partir de la prueba de bombeo realizada el día 20 de mayo del 2015 se recomienda un caudal de extracción máximo de 25 L/s, considerando un abatimiento teórico de 7.55 m. Se recomienda una extracción de 20 horas diarias de bombeo, con 4 horas de reposo. El equipo de bombeo deberá de ser localizado a la profundidad de 20 m, el mismo será encamizado con el fin de enfriar y proteger el equipo.

Datos Prueba de Bombeo

Fecha de prueba:	20/05/2015
Potencia bomba (hp):	7.5
Profundidad bomba (m):	18
Nivel estático (m):	5.34
Nivel dinámico (m):	10.75
Caudal prueba (l/s):	20
Abatimiento (m):	5.41
Coef.almacenamiento:	0
Transmisividad (m2/día):	682.12
Caudal rec. (l/s):	25
Tiempo bombeo rec.(h):	20

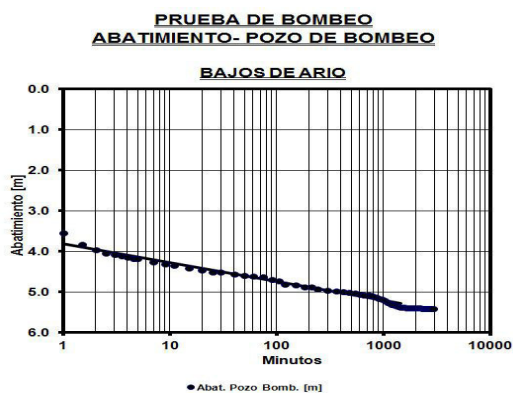
Litología

0-7 m	Arcilla plástica color café
7-16 m	Arcilla gris
16-19 m	Arenas con gravas
19-24 m	Aluvión
24-25 m	Arcilla plástica

Imágenes



Desarrollo de la prueba de bombeo en el pozo 04-03.



Comportamiento de los abatimientos durante el desarrollo de las prueba de bombeo.

Reportes de calidad de agua

No. Prueba	Tipo de prueba	No. Reporte	Fecha recolección muestra	Observaciones
1	Microbiológica	124195	20/05/2015	A partir del análisis microbiológico se determina que la muestra de agua evaluada es de calidad excelente para aguas de consumo humano, puesto que no se identificó la presencia de coliformes fecales.
2	Físico-química	AyA-ID-03837-2015	20/05/2015	Los resultados del análisis físico-químico bajo las determinaciones efectuadas establecen que el agua cumple con el Reglamento para la Calidad del Agua Potable 32327-S.

Ver validación en página 1



Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados
UEN Administración de Proyectos
Unidad Técnica de Perforaciones

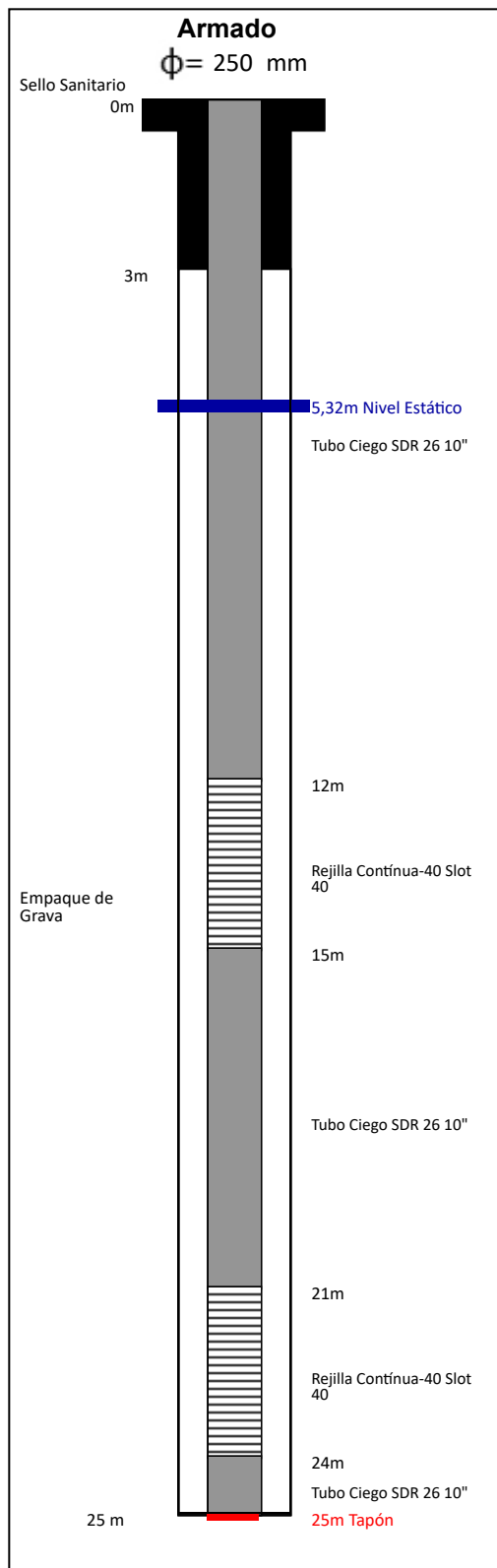
Pozo N° 04-10

Pag. 1

Nombre:

N° Pozo SENARA/MINAE:

VALIDACIÓN: Informe generado por Perfil Visita el 24/04/2020. Nulo sin firma y sello de persona autorizada



Ubicación

Localidad: Bajos de Ario N°2

Coord: N 0 - E 0

Elev(m): 0

Sist:

Lambert Norte

H/IGN: RIO ARIO 3145 II

Provincia:

Puntarenas

Propietario: Comunal

Cantón:

Puntarenas

Código: 06-01-05

Distrito:

Paquera

Equipo de Perforación

Maquinaria: 22 W n°1

Método:

Percusión

Perforador: Bayardo Ramírez

Orden Costos:

Inicio: 11/03/2004

Final: 30/04/2004

Duración:

50 días

Datos de Perforación

	Diámetro (mm)	Longitud (m)
Perforación	350	25
Tubería	250	19
Rejilla	250	6
Ademe	350	0

Material: PVC
Tiempo Desarrollo (h): 19
Desarrollo: Pistón

Observaciones:

La prueba de bombeo realizada en el 2004 recomienda un caudal de 15.53 l/s con un abatimiento de 1.00 m. A partir de la prueba realizada el día 20 de mayo del 2015 se recomienda un caudal de extracción de 25 L/s, considerando un abatimiento teórico de 2.16 m, con un periodo de bombeo continuo de 20 horas y 4 horas de reposo; ante tal recomendación se deberá de colocar el equipo de bombeo a la profundidad de 22 m.

Datos Prueba de Bombeo

Fecha de prueba:	20/05/2015
Potencia bomba (hp):	15
Profundidad bomba (m):	22
Nivel estático (m):	5.32
Nivel dinámico (m):	6.82
Caudal prueba (l/s):	20
Abatimiento (m):	1.5
Coef.almacenamiento:	0
Transmisividad (m2/día):	5222.34
Caudal rec. (l/s):	25
Tiempo bombeo rec.(h):	20

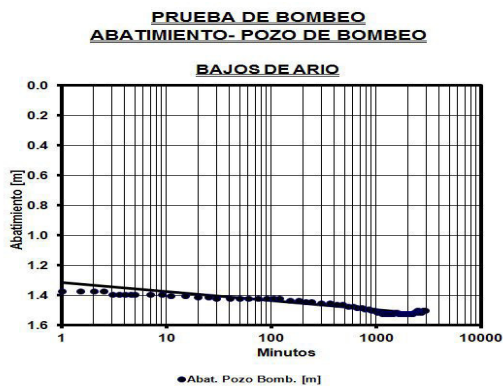
Litología

0-8 m	Arcillas plásticas
8-25 m	Aluvion con presencia de gravas inmersos en una matriz arenosa.

Imágenes



Labores previas realizadas para la instalación del equipo de bombeo.



Comportamiento de los abatimientos durante el desarrollo de la prueba de bombeo.

Reportes de calidad de agua

No. Prueba	Tipo de prueba	No. Reporte	Fecha recolección muestra	Observaciones
1	Físico-química	AyA-ID-03836-2015	20/05/2015	Los resultados del análisis físico-químico bajo las determinaciones efectuadas establecen que el agua cumple con el Reglamento para la Calidad del Agua Potable 32327-S.
2	Microbiológica	124195	20/05/2015	A partir del análisis microbiológico se determina que la muestra de agua evaluada es de calidad excelente para aguas de consumo humano, puesto que no se identificó la presencia de coliformes fecales.

Ver validación en página 1

Si *[Handwritten signature]*

Archivo.

REPORTE FINAL DE PERFORACIÓN

Página 1

Empresa perforadora:

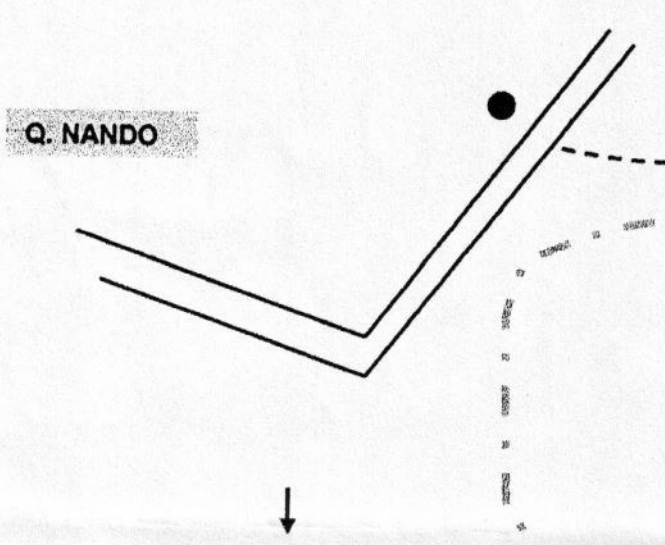
PERFORACIONES ULATE INT, S.A.

Pozo Número:
RA-133

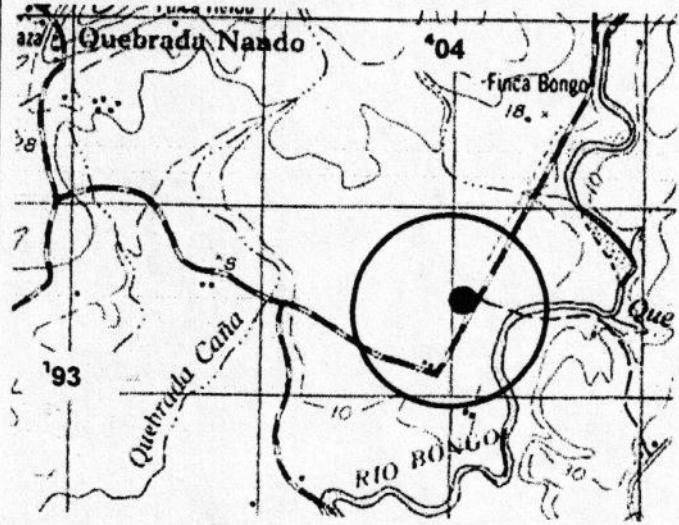
BITACORA No.
CGCR

Localidad:
EL BONGO DE BEJUCO, NANDAYURE, PTNAS

Croquis del pozo con relación al terreno:



UBICACIÓN CARTOGRÁFICA



Hoja: RÍO ARÍO No. 3145 II
Escala: 1: 50.000
Latitud: 193.456 Longitud: 404.042

Propietario:

ENSENADA, S.A.

Uso que se dará al agua:
DOMÉSTICO Y RIEGO

Método de perforación:
ROTACIÓN

Equipo de perforación:
FABRICACIÓN NACIONAL

Inicio de perforación:
JULIO 2007

Final de perforación:
JULIO 2007

Profundidad total:
24.00 m

VARIACIÓN DE NIVEL DE AGUA Y AVANCE DE LA PERFORACIÓN

Prof. (m)	Nivel (m)

DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA DETALLADA

Tramo (m)	Descripción
0.00 m- 2.00 m	MATERIAL ARCILLOSO
2.00 m - 24.00 m	MATERIALES SUELTOS, ARCILLAS Y ALUVIONES FINOS



[Handwritten signature]
6351393

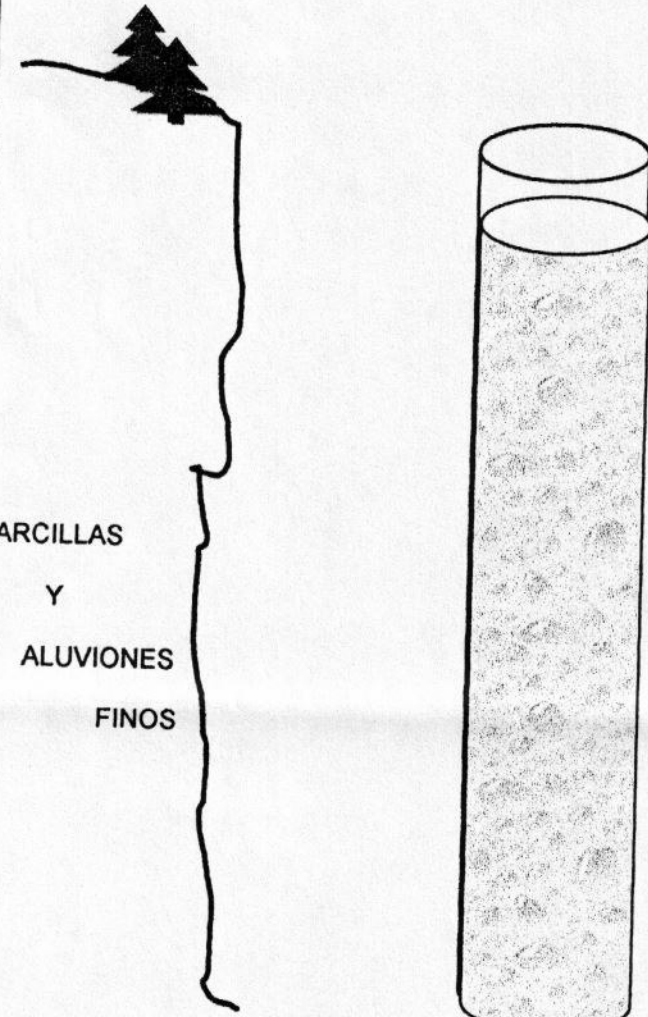

CONDICIONES HIDROGEOLÓGICAS ENCONTRADAS

ES U ACUÍFERO LIBRE, EN MATERIALES SUELTOS. EL NIVEL ESTÁTICO SE UBICÓ A LOS 2.10 METROS .EL POZO SE ARMÓ, DE LA SIGUIENTE: DE LOS 0.00 m HASTA LOS 6.00 m SE COLOCÓ PVC CIEGO. LUEGO DE LOS 6.00 m HASTA LOS 24.00 m SE COLOCÓ PVC RANURADO.

REPORTE FINAL DE PERFORACIÓN

Página 2

POZO No. RA-133

PROFUNDIDAD (m)	DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA	DETALLES CONSTRUCTIVOS	OTROS DETALLES
0.00 m	 <p>ARCILLAS Y ALUVIONES FINOS</p>		SELLO SANITARIO
			Tipo: CONCRETO
			Prof.: 0.80 m.
			FILTRO DE GRAVA
			Tipo: CUARTILLA
			Tramo: RESTO DEL TRAMO DESARROLLO
			Tipo: CON AIRE
			Horas: 6
			DESINFECCIÓN
			CALIDAD DEL AGUA
			LODOS/ADITIVOS USADOS
			PRUEBA DE BOMBEO
			Equipo:
			Profundidad (m):
			Fecha:
			Horas de bombeo:
			Caudal (l/s): 1.10
			Nivel inicial: 2.10 m
			Nivel final:
			¿Estabilizado?
			Tiempo recuperación:
			% recuperación:
			Transm. (m ² /D):
			Capacidad esp.
24.00 m			

RECOMENDACIONES

EQUIPO A INSTALAR

Bomba: SUMERGIBLE Capacidad 1 HP Profundidad 21.00 m Motor _____

Cable Tubería descarga Electrodo encendido/apagado

EXPLORACIÓN

Caudal en litros por segundo: 1 Horas diarias: 8 Nivel de bombeo máximo: 10.00 m

PERMISO DE EXPLORACIÓN

De conformidad con la Ley de Aguas #276, deberá el propietario del pozo solicitar la respectiva concesión de aprovechamiento de aguas ante el Departamento de Aguas del MINAE.

Supervisó: Geol. ROBERTO CHÁVEZ CERNAS

Representante de la empresa: JORGE ULATE R.

Firma: _____

Firma: _____

Fecha: JULIO 2007 Carné: 97

Fecha: JULIO 2007 Cédula: 4-118-543

SI

OK

Archivo

REPORTE FINAL DE PERFORACIÓN

Página 1

Empresa perforadora:

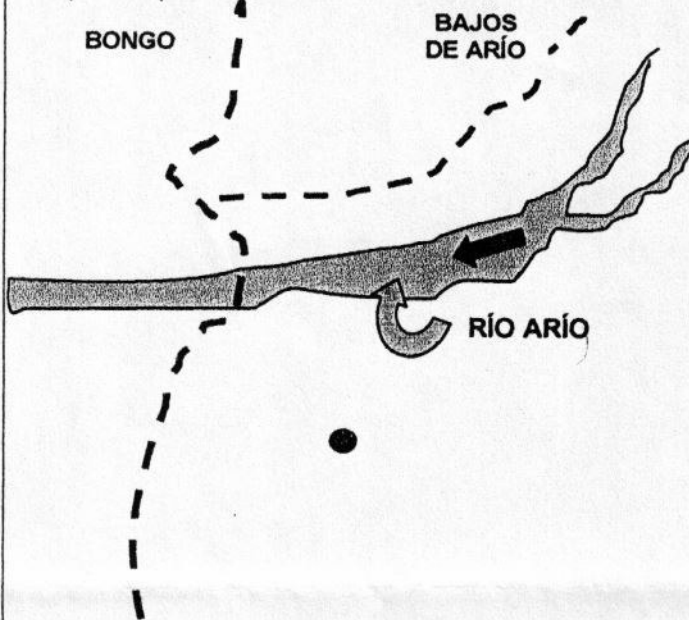
PERFORACIONES ULATE INT, S.A.

Pozo Número:
RA-135

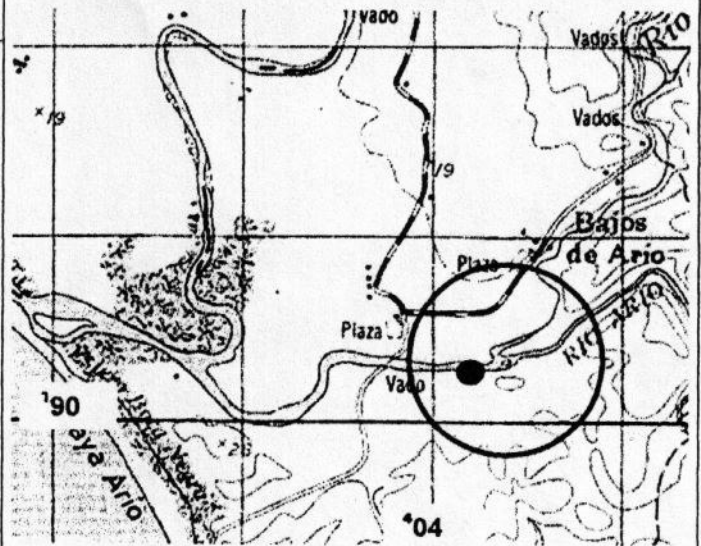
BITACORA No.
CGCR

Localidad:
MANZANILLO DE ARÍO, CÓBANO, PUNTARENAS

Croquis del pozo con relación al terreno:



UBICACIÓN CARTOGRÁFICA



Hoja: RÍO ARÍO No. 3145 II
 Escala: 1: 50.000
 Latitud: 190.180 Longitud: 404.111

Propietario:

ARÍO, S.A.

Uso que se dará al agua:
DOMÉSTICO Y RIEGO

Método de perforación:
ROTACIÓN

Equipo de perforación:
FABRICACIÓN NACIONAL

Inicio de perforación:
JULIO 2007

Final de perforación:
JULIO 2007

Profundidad total:
14.00 m

VARIACIÓN DE NIVEL DE AGUA Y AVANCE DE LA PERFORACIÓN

Prof. (m)	Nivel (m)
-----------	-----------

DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA DETALLADA

Tramo (m)	Descripción
0.00 m - 2.00 m	MATERIAL ARCILLOSO
2.00 m - 14.00 m	MATERIALES SUELTOS, ARENAS Y ALUVIONES

[Firma] 6 351 393

DEPARTAMENTO DE AGUAS
 MINAE
 10 AGO 2007
RECIBIDO

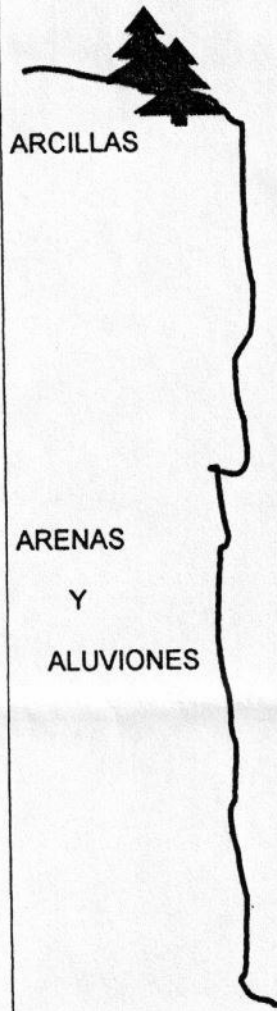
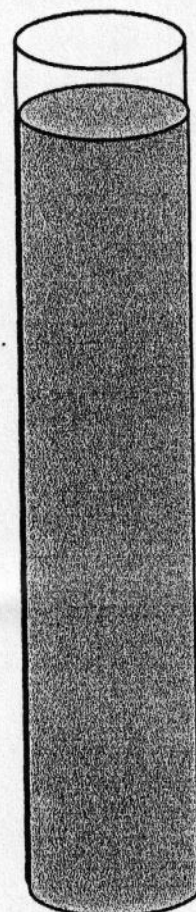
CONDICIONES HIDROGEOLÓGICAS ENCONTRADAS
EL NIVEL ESTÁTICO SE UBICÓ A LOS 00.50 METROS.

EL POZO SE ARMÓ, DE LA SIGUIENTE: DE LOS 0.00 m HASTA LOS 2.00 m SE COLOCÓ PVC CIEGO. LUEGO DE LOS 2.00 m HASTA LOS 14.00 m SE COLOCÓ PVC RANURADO, DE 127 mm DE DIÁMETRO.

REPORTE FINAL DE PERFORACIÓN

Página 2

POZO No. RA-135

PROFUNDIDAD (m)	DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA	DETALLES CONSTRUCTIVOS	OTROS DETALLES
0.00 m			SELLO SANITARIO
			Tipo: CONCRETO
			Prof.: 1.20 m.
			FILTRO DE GRAVA
			Tipo: CUARTILLA
			Tramo: RESTO DEL TRAMO DESARROLLO
			Tipo: CON AIRE
			Horas: 3
			DESINFECCIÓN
			CALIDAD DEL AGUA
			LODOS/ADITIVOS USADOS
			PRUEBA DE BOMBEO
			Equipo:
			Profundidad (m):
			Fecha:
			Horas de bombeo:
			Caudal (l/s): 1.10
14.00 m			Nivel inicial: 00.70 m
			Nivel final:
			¿Estabilizado?
			Tiempo recuperación:
			% recuperación:
			Transm. (m ² /D):
			Capacidad esp.

RECOMENDACIONES

EQUIPO A INSTALAR

Bomba: SUMERGIBLE Capacidad 1 HP Profundidad 11.00 m Motor _____

Cable Tubería descarga Electrodo encendido/apagado

EXPLORACIÓN

Caudal en litros por segundo: 1 Horas diarias: 6 Nivel de bombeo máximo: 10.00 m

PERMISO DE EXPLORACIÓN

De conformidad con la Ley de Aguas #276, deberá el propietario del pozo solicitar la respectiva concesión de aprovechamiento de aguas ante el Departamento de Aguas del MINAE.

Supervisó: Geol. ROBERTO CHÁVEZ CERNAS

Firma: _____

Fecha: JULIO 2007

Carné: 97

Representante de la empresa: JORGE ULATE R.

Firma: _____

Fecha: JULIO 2007

Cédula: 4-118-543

Anexo 3 Datos de calidad fisicoquímico campo de pozos Bajo Arío.



LABORATORIO NACIONAL DE AGUAS

AYA-ID-07703-2019

INFORME DE RESULTADOS

AYA-FPT-011B

Tres Ríos, Cartago
Teléfono: (506) 2279-5118
Fax: (506) 2279-5973
e-mail: dmora@aya.go.cr



Laboratorio de Ensayo
Alcance de Acreditación Nº. LE-049
Acreditado a partir de: 11.02.2008

Alcance disponible en www.eca.or.cr

DATOS DE LA MUESTRA

Cliente:	REGION PACIFICO CENTRAL			Proc. muestreo	AYA-PT-019-5	
Contacto:	Ing. German Araya Montezuma			Muestreado por	Canales Canales J	
SISTEMA:	PC-A-33-ARIO-MAL PAIS			Fecha de muestreo	12-sep.-19	
				Fecha de ingreso :	12-sep.-19	
Muestreo:	POZO 1			Fecha de Reporte:	20-sep.-19	
Dirección:	Llave de chorro			Inicio Análisis MIC:	12-sep.-19	
				Teléfono:	2663-67-98	
PROVINCIA:	Puntarenas	CANTON:	San José	Tipo de muestra:	Agua	
e-mail:	garayam@aya.go.cr		Fax:		Hora de recolección:	08:30

DETALLE REPORTE DE RESULTADOS ANALISIS

PARAMETRO	E	RESULTADO	INCERT	LD	LC	VA	VMA	UNIDADES	METODO
Alcalinidad	*	175	1,0	2,0	3,0			mg/L	2320
Aluminio	*	286,3	11,3	21,2	24,0		200	µg/L	3125 B Mo
Antimonio	*	N.D.	1,2	1,2	1,4		5	µg/L	3125 B Mo
Arsénico	*	N.D.	1,2	1,2	1,4		10	µg/L	3125 B Mo
Cadmio	*	N.D.	1,2	1,2	1,4		3	µg/L	3125 B Mo
Calcio	*	56,1	1,0	1,5	2,0		100	mg/L	3500-Ca B
Cloruros	*	2,58	0,81	1,10	1,30	25	250	mg/L	4110B Cro
Cobre	*	N.D.	11,3	21,2	24,0	1000	2000	µg/L	3125 B Mo
Color Aparente	*	D.	1,0	2,0	4,0	5	15	UPT-Co	2120 C
Conductividad	*	355	1,0	2	4	400		µS/cm	2510
Cromo	*	N.D.	1,2	1,2	1,4		50	µg/L	3125 B Mo
Dureza de Calcio	*	140	2,0	2,0	3,0			mg/L	3500-Ca D
Dureza Total	*	185	2,0	2,0	3,0	300	400	mg/L	2340 C
Fluoruros	*	D.	0,027	0,040	0,100		0,7-1,5	mg/L	4110B Cro
Hierro	*	196,5	11,3	21,2	24,0		300	µg/L	3125 B Mo
Magnesio	*	10,9	0,10	0,50	1,0	30	50	mg/L	3500 B
Manganeso	*	179,4	11,3	21,2	24,0	100	500	µg/L	3125 B Mo
Mercurio	*	N.D.	0,18	0,18	0,19		1	µg/L	3125 B Mo
Niquel	*	N.D.	1,2	1,2	1,4		20	µg/L	3125 B Mo
Nitratos	*	N.D.	0,53	0,81	1,40		50	mg/L	4110B Cro
Nitritos	*	N.D.	0,026	0,040	0,10		0,1	mg/L	4110B Cro
Olor	**	Aceptable	N.A.	N.A.	N.A.	Aceptable	Aceptable		2150 B
pH	*	7,09	0,10	0,10	0,20	6,0-8,0			4500-H+
Plomo	*	N.D.	1,2	1,2	1,4		10	µg/L	3125 B Mo
Potasio	*	D.	0,80	1,0	1,5		10	mg/L	3500-K B
Selenio	*	N.D.	1,2	1,2	1,4		10	µg/L	3125 B Mo
Sodio	*	10,2	1,9	2,0	2,5	25	200	mg/L	3500-Na B
Sulfatos	*	2,45	0,79	0,81	1,60	25	250	mg/L	4110B Cro



LABORATORIO NACIONAL DE AGUAS

INFORME DE RESULTADOS

AYA-FPT-011B

Tres Ríos, Cartago
Teléfono: (506) 2279-5118
Fax: (506) 2279-5973
e-mail: dmora@aya.go.cr



AYA-ID-07703-2019

PARAMETRO	E	RESULTADO	INCERT	LD	LC	VA	VMA	UNIDADES	METODO
Temperatura	*	27,9	0,10			18 a 30) °C		°C	2550 B
Turbiedad	*	2,30	0,10	0,12	0,15	<1	5	UNT	2130 B
Zinc	*	N.D.	11,3	21,2	24,0		3000	µg/L	3125 B Mo

INCERT: Corresponde a la Incertidumbre expandida k=2 para un 95% de confianza

LD: Límite de Detección en las unidades del parámetro analizado

LC: Límite de Cuantificación en las unidades del parámetro analizado

VA.: Valor Alerta del Decreto Ejecutivo 38924-S

VMA.: Valor Máximo Admisible del Decreto Ejecutivo 38924-S

N.D.: No detectable bajo el límite de detección

D.: Detectable pero no cuantificable

METODO: Corresponde al código del Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater o un método oficial.

* Ensayo acreditado. Ver alcance en www.eca.or.cr

** **Ensayo no acreditado**

Observaciones de Campo:

El Pozo 3 está fuera de operación,

Observaciones:

En este análisis puntual, la concentración de Aluminio y la suma de las concentraciones de Hierro y Manganeso no cumplen con el Reglamento para la Calidad del Agua Potable N° 38924-S.

Regla de decisión del Laboratorio Nacional de Aguas

-Cuando el resultado del ensayo sea igual o inferior al Valor Absoluto del Ministerio de Salud, únicamente se tomará en cuenta la incertidumbre hacia abajo, por lo cual el resultado siempre cumpliría con el reglamento respectivo.

-Cuando el resultado del ensayo sea superior al Valor Absoluto del Ministerio de Salud, únicamente se tomara en cuenta la incertidumbre hacia arriba, por lo cual el resultado siempre incumpliría con el reglamento respectivo.

Se prohíbe la reproducción de este documento en forma total o parcial sin la autorización del Laboratorio

Licda. Azucena Urbina Campos
Jefe del Laboratorio Química

Página 14 de 24	Rige: 16/01/17 AYA	Aprobado por: Dr. Darner Mora Alvarado
-----------------	------------------------------	---



LABORATORIO NACIONAL DE AGUAS

AYA-ID-07704-2019

INFORME DE RESULTADOS

AYA-FPT-011B

Tres Ríos, Cartago
Teléfono: (506) 2279-5118
Fax: (506) 2279-5973
e-mail: dmora@aya.go.cr



DATOS DE LA MUESTRA

Cliente:	REGION PACIFICO CENTRAL			Proc. muestreo	AYA-PT-019-5	
Contacto:	Ing. German Araya Montezuma			Muestreado por	Canales Canales J	
SISTEMA:	PC-A-33-ARIO-MAL PAIS			Fecha de muestreo	12-sep.-19	
				Fecha de ingreso :	12-sep.-19	
Muestreo:	POZO 2			Fecha de Reporte:	20-sep.-19	
Dirección:	Llave de chorro			Inicio Análisis MIC:	12-sep.-19	
				Teléfono:	2663-67-98	
PROVINCIA:	Puntarenas	CANTON:	San José	Tipo de muestra:	Agua	
e-mail:	garayam@aya.go.cr		Fax:		Hora de recolección:	08:42

DETALLE REPORTE DE RESULTADOS ANALISIS

PARAMETRO	E	RESULTADO	INCERT	LD	LC	VA	VMA	UNIDADES	METODO
Alcalinidad	*	164	1,0	2,0	3,0			mg/L	2320
Aluminio	*	83	11,3	21,2	24,0		200	µg/L	3125 B Mo
Antimonio	*	N.D.	1,2	1,2	1,4		5	µg/L	3125 B Mo
Arsénico	*	N.D.	1,2	1,2	1,4		10	µg/L	3125 B Mo
Cadmio	*	N.D.	1,2	1,2	1,4		3	µg/L	3125 B Mo
Calcio	*	47,4	1,0	1,5	2,0		100	mg/L	3500-Ca B
Cloruros	*	2,45	0,81	1,10	1,30	25	250	mg/L	4110B Cro
Cobre	*	N.D.	11,3	21,2	24,0	1000	2000	µg/L	3125 B Mo
Color Aparente	*	N.D.	1,0	2,0	4,0	5	15	UPT-Co	2120 C
Conductividad	*	330	1,0	2	4	400		µS/cm	2510
Cromo	*	N.D.	1,2	1,2	1,4		50	µg/L	3125 B Mo
Dureza de Calcio	*	118	2,0	2,0	3,0			mg/L	3500-Ca D
Dureza Total	*	166	2,0	2,0	3,0	300	400	mg/L	2340 C
Fluoruros	*	D.	0,027	0,040	0,100		0,7-1,5	mg/L	4110B Cro
Hierro	*	9251,6	11,3	21,2	24,0		300	µg/L	3125 B Mo
Magnesio	*	11,7	0,10	0,50	1,0	30	50	mg/L	3500 B
Manganeso	*	29,0	11,3	21,2	24,0	100	500	µg/L	3125 B Mo
Mercurio	*	N.D.	0,18	0,18	0,19		1	µg/L	3125 B Mo
Niquel	*	N.D.	1,2	1,2	1,4		20	µg/L	3125 B Mo
Nitratos	*	N.D.	0,53	0,81	1,40		50	mg/L	4110B Cro
Nitritos	*	N.D.	0,026	0,040	0,10		0,1	mg/L	4110B Cro
Olor	**	Aceptable	N.A.	N.A.	N.A.	Aceptable	Aceptable		2150 B
pH	*	7,20	0,10	0,10	0,20	6,0-8,0			4500-H+
Plomo	*	N.D.	1,2	1,2	1,4		10	µg/L	3125 B Mo
Potasio	*	D.	0,80	1,0	1,5		10	mg/L	3500-K B
Selenio	*	N.D.	1,2	1,2	1,4		10	µg/L	3125 B Mo
Sodio	*	10,0	1,9	2,0	2,5	25	200	mg/L	3500-Na B
Sulfatos	*	2,78	0,79	0,81	1,60	25	250	mg/L	4110B Cro

Página 15 de 24	Rige: 16/01/17 AYA	Aprobado por: Dr. Darner Mora Alvarado
-----------------	------------------------------	---



LABORATORIO NACIONAL DE AGUAS

INFORME DE RESULTADOS

AYA-FPT-011B

Tres Ríos, Cartago
Teléfono: (506) 2279-5118
Fax: (506) 2279-5973
e-mail: dmora@aya.go.cr



AYA-ID-07704-2019

PARAMETRO	E	RESULTADO	INCERT	LD	LC	VA	VMA	UNIDADES	METODO
Temperatura	*	28,0	0,10			18 a 30) °C		°C	2550 B
Turbiedad	*	0,40	0,10	0,12	0,15	<1	5	UNT	2130 B
Zinc	*	54,1	11,3	21,2	24,0		3000	µg/L	3125 B Mo

INCERT: Corresponde a la Incertidumbre expandida $k=2$ para un 95% de confianza

LD: Límite de Detección en las unidades del parámetro analizado

LC: Límite de Cuantificación en las unidades del parámetro analizado

VA.: Valor Alerta del Decreto Ejecutivo 38924-S

VMA.: Valor Máximo Admisible del Decreto Ejecutivo 38924-S

N.D.: No detectable bajo el límite de detección

D.: Detectable pero no cuantificable

METODO: Corresponde al código del Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater o un método oficial.

* Ensayo acreditado. Ver alcance en www.eca.or.cr

** **Ensayo no acreditado**

Observaciones de Campo:

El Pozo 3 está fuera de operación,

Observaciones:

En este análisis puntual, la suma de las concentraciones de Hierro y Manganeso no cumplen con ella suma de las concentraciones de Hierro y Manganeso

Regla de decisión del Laboratorio Nacional de Aguas

-Cuando el resultado del ensayo sea igual o inferior al Valor Absoluto del Ministerio de Salud, únicamente se tomará en cuenta la incertidumbre hacia abajo, por lo cual el resultado siempre cumpliría con el reglamento respectivo.

-Cuando el resultado del ensayo sea superior al Valor Absoluto del Ministerio de Salud, únicamente se tomara en cuenta la incertidumbre hacia arriba, por lo cual el resultado siempre incumpliría con el reglamento respectivo.

Se prohíbe la reproducción de este documento en forma total o parcial sin la autorización del Laboratorio

Licda. Azucena Urbina Campos
Jefe del Laboratorio Química

Página 16 de 24	Rige: 16/01/17 AYA	Aprobado por: Dr. Darner Mora Alvarado
-----------------	------------------------------	---



LABORATORIO NACIONAL DE AGUAS

AYA-ID-07706-2019

INFORME DE RESULTADOS

AYA-FPT-011B

Tres Ríos, Cartago
Teléfono: (506) 2279-5118
Fax: (506) 2279-5973
e-mail: dmora@aya.go.cr



Laboratorio de Ensayo
Alcance de Acreditación Nº. LE-049
Acreditado a partir de: 11.02.2008

Alcance disponible en www.eca.or.cr

DATOS DE LA MUESTRA

Cliente:	REGION PACIFICO CENTRAL			Proc. muestreo	AYA-PT-019-5	
Contacto:	Ing. German Araya Montezuma			Muestreado por	Canales Canales J	
SISTEMA:	PC-A-33-ARIO-MAL PAIS			Fecha de muestreo	12-sep.-19	
				Fecha de ingreso :	12-sep.-19	
Muestreo:	RED 1			Fecha de Reporte:	20-sep.-19	
Dirección:	Sr. Henry Campos			Inicio Análisis MIC:	12-sep.-19	
				Teléfono:	2663-67-98	
PROVINCIA:	Puntarenas	CANTON:	San José	Tipo de muestra:	Agua	
e-mail:	garayam@aya.go.cr		Fax:		Hora de recolección:	09:20

DETALLE REPORTE DE RESULTADOS ANALISIS

PARAMETRO	E	RESULTADO	INCERT	LD	LC	VA	VMA	UNIDADES	METODO
Alcalinidad	*	170	1,0	2,0	3,0			mg/L	2320
Aluminio	*	36	11,3	21,2	24,0		200	µg/L	3125 B Mo
Amonio	*	N.D.	0,10	0,1	0,15	0,05	0,5	mg/L	4500-NH3
Antimonio	*	N.D.	1,2	1,2	1,4		5	µg/L	3125 B Mo
Arsénico	*	N.D.	1,2	1,2	1,4		10	µg/L	3125 B Mo
Cadmio	*	N.D.	1,2	1,2	1,4		3	µg/L	3125 B Mo
Calcio	*	53,2	1,0	1,5	2,0		100	mg/L	3500-Ca B
Cloro Residual Libre	*	0,18	0,02	0,02	0,05	0,3	0,6	mg/L	4500-Cl G
Cloruros	*	2,97	0,81	1,10	1,30	25	250	mg/L	4110B Cro
Cobre	*	N.D.	11,3	21,2	24,0	1000	2000	µg/L	3125 B Mo
Color Aparente	*	N.D.	1,0	2,0	4,0	5	15	UPt-Co	2120 C
Conductividad	*	338	1,0	2	4	400		µS/cm	2510
Cromo	*	N.D.	1,2	1,2	1,4		50	µg/L	3125 B Mo
Dureza de Calcio	*	133	2,0	2,0	3,0			mg/L	3500-Ca D
Dureza Total	*	174	2,0	2,0	3,0	300	400	mg/L	2340 C
Fluoruros	*	D.	0,027	0,040	0,100		0,7-1,5	mg/L	4110B Cro
Hierro	*	144,5	11,3	21,2	24,0		300	µg/L	3125 B Mo
Magnesio	*	10,1	0,10	0,50	1,0	30	50	mg/L	3500 B
Manganeso	*	N.D.	11,3	21,2	24,0	100	500	µg/L	3125 B Mo
Mercurio	*	N.D.	0,18	0,18	0,19		1	µg/L	3125 B Mo
Niquel	*	N.D.	1,2	1,2	1,4		20	µg/L	3125 B Mo
Nitratos	*	D.	0,53	0,81	1,40		50	mg/L	4110B Cro
Nitritos	*	N.D.	0,026	0,040	0,10		0,1	mg/L	4110B Cro
Olor	**	Aceptable	N.A.	N.A.	N.A.	Aceptable	Aceptable		2150 B
pH	*	7,60	0,10	0,10	0,20	6,0-8,0			4500-H+
Plomo	*	N.D.	1,2	1,2	1,4		10	µg/L	3125 B Mo
Potasio	*	D.	0,80	1,0	1,5		10	mg/L	3500-K B
Selenio	*	N.D.	1,2	1,2	1,4		10	µg/L	3125 B Mo



LABORATORIO NACIONAL DE AGUAS

INFORME DE RESULTADOS

AYA-FPT-011B

Tres Ríos, Cartago
Teléfono: (506) 2279-5118
Fax: (506) 2279-5973
e-mail: dmora@aya.go.cr



AYA-ID-07706-2019

PARAMETRO	E	RESULTADO	INCERT	LD	LC	VA	VMA	UNIDADES	METODO
Sodio	*	11,9	1,9	2,0	2,5	25	200	mg/L	3500-Na B
Sulfatos	*	2,61	0,79	0,81	1,60	25	250	mg/L	4110B Cro
Temperatura	*	28,7	0,10			18 a 30) °C		°C	2550 B
Turbiedad	*	0,20	0,10	0,12	0,15	<1	5	UNT	2130 B
Zinc	*	N.D.	11,3	21,2	24,0		3000	µg/L	3125 B Mo

INCERT: Corresponde a la Incertidumbre expandida $k=2$ para un 95% de confianza

LD: Límite de Detección en las unidades del parámetro analizado

LC: Límite de Cuantificación en las unidades del parámetro analizado

VA.: Valor Alerta del Decreto Ejecutivo 38924-S

VMA.: Valor Máximo Admisible del Decreto Ejecutivo 38924-S

N.D.: No detectable bajo el límite de detección

D.: Detectable pero no cuantificable

METODO: Corresponde al código del Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater o un método oficial.

* Ensayo acreditado. Ver alcance en www.eca.or.cr

** Ensayo no acreditado

Observaciones de Campo:

El Pozo 3 está fuera de operación,

Observaciones:

En este análisis puntual, las determinaciones efectuadas cumplen con el Reglamento para la Calidad del Agua Potable N° 38924-S.

Regla de decisión del Laboratorio Nacional de Aguas

-Cuando el resultado del ensayo sea igual o inferior al Valor Absoluto del Ministerio de Salud, únicamente se tomará en cuenta la incertidumbre hacia abajo, por lo cual el resultado siempre cumpliría con el reglamento respectivo.

-Cuando el resultado del ensayo sea superior al Valor Absoluto del Ministerio de Salud, únicamente se tomara en cuenta la incertidumbre hacia arriba, por lo cual el resultado siempre incumpliría con el reglamento respectivo.

Se prohíbe la reproducción de este documento en forma total o parcial sin la autorización del Laboratorio

A. Urbina C.

Licda. Azucena Urbina Campos
Jefe del Laboratorio Química

Página 18 de 24	Rige: 16/01/17 AYA	Aprobado por: Dr. Darner Mora Alvarado
-----------------	------------------------------	--

- 3) La investigación geofísica realizada permite definir la distribución espacial de los principales acuíferos en la zona de Bajos Aríos y del río Bongo.
- 4) Se define para el sitio de estudio dos acuíferos aluviales en materiales finos gravas, arenas y ocasionalmente bloques.
 - a) El primer acuífero se localiza en Bajos de Arío el cual es captado por el campo de pozos actual del AyA y se presenta confinado por un espesor de depósitos de arcillas variable entre los 7 y 16 m con base en el registro de perforación de los pozos 04-01, 04-10 y 04-03 y la información geofísica interpretada (SEV7, SEV8 y SEV9). El espesor del aluvial captado en los pozos varía entre 17 y 6 m y el nivel piezométrico se mantiene entre los 5 y 6 m de profundidad. En la base del acuífero se presenta un material arcilloso correlacionado a las rocas sedimentarias meteorizadas.
 - b) El segundo acuífero se desarrolla en el sector del río Bongo a partir de la información geofísica y del registro del pozo RA-133 se define un espesor aluvial variable entre los 18 y 22m. Este acuífero presenta una dirección preferencial del flujo hacia el suroeste con un gradiente hidráulico bajo del orden 10^{-3} .

B) CAMPO DE POZOS BAJOS ARÍOS.

- 1) A partir de los resultados obtenidos del análisis de la información de pruebas de bombeo es posible concluir que el campo de pozos Bajo Arío presenta actualmente abatimientos mayores que los obtenidos durante las pruebas de bombeo del 2004, 2011 y 2015. Por lo tanto, se recomienda de manera prioritaria realizar una inspección de los pozos mediante cámara de video para evaluar si la rejilla de estos se presenta obstruida por sedimentos y/o mineralizaciones y realizar una limpieza y desarrollo de los pozos, para posteriormente realizar pruebas de bombeo escalonadas (4 etapas) y constantes de 72 horas que permitan evaluar la eficiencia y el caudal de extracción de los pozos.
- 2) El radio de influencia del campo de pozos Bajos Arío varía entre 969 m y 1607m.
- 3) A partir del análisis de disponibilidad hídrica se obtiene que la celda de flujo en la que se encuentra el campo de pozos Bajos Aríos tiene una capacidad de 85.45 l/s, considerando que el caudal de reserva del 40% equivale a 33.78 l/s quedaría disponible un caudal de extracción de 51.67 l/s. Dado que actualmente el campo de pozos extrae un caudal de 40.9 l/s y por la condición actual de los pozos (grandes abatimientos) asociados a una obstrucción de rejillas y por ende pérdida de eficiencia no es posible extraer mayor cantidad de agua, se recomienda una vez realizada la limpieza y desarrollo de los pozos actuales evaluar el aumento en la capacidad de extracción del campo de pozos hasta 51 l/s.

- 4) A partir de los resultados se obtiene que la cuña de intrusión salina se localiza a 62 m bajo el nivel del suelo del campo de pozos Bajos Arío por lo que no habría afectación hacia este sistema ya que los pozos no poseen profundidades mayores a los 25m.
- 5) A partir del modelo hidrogeológico, de los resultados de las pruebas XRF que evidencia presencia alta de Fe y Mn en los suelos y depósitos aluviales de la zona y a la pérdida de eficiencia del campo de pozos evidenciado en las pruebas de bombeo, donde el acuífero confinado pasa a comportarse como un acuífero libre, se reafirma la necesidad de realizar una limpieza y desarrollo en los pozos para aprovechar el mayor caudal disponible, debido a que la presencia de estos elementos Fe y Mn, provocan incrustaciones en las rejillas de los pozos y con esto una disminución en los caudales de los mismos.
- 6) Los últimos resultados fisicoquímicos realizados (setiembre 2019) a los pozos 1 y 2 registran niveles de hierro y manganeso por encima de lo permitido por el reglamento de calidad de agua potable, sin embargo, los efectuados durante la prueba de bombeo del 2004 para el pozo 1 no registraban estas anomalías, dada esta condición se recomienda una vez sean limpiados y desarrollados los pozos se deberá de colocar el equipo de bombeo para cada pozo específicamente la succión en las siguientes profundidades:
 - Para el pozo # 1 se recomienda ubicar el equipo de bombeo en la cámara localizada entre los 17 y 19 m, lo anterior con el objetivo de que la succión no quede expuesta directamente al sector de rejillas y no incremente el arrastre de Fe y Mn, actualmente según la rotulación en los equipos electromecánicos para el pozo # 1 la succión de la bomba se presenta en 20.13m.
 - Para el pozo # 2 se recomienda ubicar el equipo de bombeo en la cámara localizada entre los 15 y 21 m, lo anterior con el objetivo de que la succión no quede expuesta directamente al sector de rejillas y no incremente el arrastre de Fe y Mn, actualmente según la rotulación en los equipos electromecánicos para el pozo # 1 la succión de la bomba se presenta en 21 m.
 - El pozo # 3 al no contar con cámara de bombeo se recomienda mantener la profundidad actual de ubicación de la bomba, así como el encamisado de la misma, actualmente según la rotulación en los equipos electromecánicos para el pozo # 3 la succión de la bomba se presenta en 22.17 m.
- 7) Adicionalmente se deberá de realizar un monitoreo trimestral de calidad fisicoquímica del campo de pozos para evaluar el comportamiento de la cantidad de Fe y Mn a lo largo del tiempo y con el objetivo de valorar los lapsos de mantenimientos adecuado de los pozos.
- 8) Se procederá a solicitar por parte de la Subgerencia de Ambiente, Investigación y Desarrollo a la Dirección de Aguas del MINAE la inspección de los pozos perforados en propiedades privada en la zona de Bajos Arío para evaluar si estos cuentan con los

permisos y concesiones respectivas con el objetivo de controlar el aprovechamiento del recurso hídrico en la zona, de igual manera se planteará solicitar al CTI (Comisión Técnica Interinstitucional para la gestión de acuíferos) incluir este acuífero como de aprovechamiento exclusivo del AyA para el abastecimiento poblacional.

C) ALTERNATIVA DE SITIO DE PERFORACIÓN.

- 1) A partir de los diferentes análisis realizados en el área de estudio se propone la ubicación de un sitio de perforación en el acuífero del sitio Bongo específicamente en las coordenadas 1078798/367100 CRTM 05 en las cercanías donde se ejecutó el sondeo eléctrico vertical SEV-5 correspondiendo con el sector con mayor espesor de aluvial identificado. La profundidad propuesta de perforación sería de 30 m.
- 2) Una vez realizada la perforación es necesario realizar una prueba de bombeo a caudal variable con un mínimo de 4 etapas y la prueba de bombeo a caudal constante por 72 horas, a partir de los resultados de estas pruebas será necesario valorar el caudal de explotación. De igual manera una vez finalizadas las 72 horas de bombeo será necesario tomar una muestra de agua para evaluar la calidad bacteriológica y fisicoquímica.

C Yamileth Astorga Espeleta, Presidencia Ejecutiva
Natalie Montiel Ulloa, Subgerencia Gestión de Sistemas Periféricos
Rafael Barboza Topping, UEN Producción y Distribución Periféricos
Fernando Araya, Región Pacífico Central
Juan Carlos Hidalgo García, UEN Producción y Distribución Periféricos
Francela Quesada Mairena, Cantonal Cóbano.
Cristian Morales Quesada, Subgerencia Ambiental, Investigación y Desarrollo
Christian Delgado Segura, UEN Gestión Ambiental
Jorge Salazar Chacón, UEN Gestión Ambiental.
Archivo AFH 509