

Resultados del proyecto de aguas subterráneas en la provincia de Chimborazo

Results of the groundwater project in chimborazo province

César Patricio Borja Bernal¹, Luis Gerardo Aucancela Concha², Clelia Isabel Naranjo Freire¹, Nancy Rocio Castillo Castro¹, Vinicio Xavier Macas Espinoza¹

¹ Universidad de Guayaquil, Facultad de Ciencias Naturales, Av. Raúl Gómez Lince s/n y Av. Juan Tanca Marengo, Guayaquil, Ecuador.

² Gobierno Autónomo Descentralizado de Chimborazo, Primera Constituyente y Carabobo esquina, Riobamba, Ecuador.

Recibido 01 agosto 2023, aceptado 11 de noviembre 2023, en línea 14 de diciembre 2023.

Resumen

El trabajo presente es un artículo de divulgación en el área de recursos hídricos. El objetivo es comunicar los logros de trabajos sobre dotación de agua potable por medio de perforación de acuíferos subterráneos en comunidades rurales y urbano marginales en la provincia Chimborazo. La metodología del escrito es descriptiva y explicativa de la forma en la que fue llevado a cabo el proyecto. Los resultados obtenidos son: ejecución de 250 sondeos eléctricos verticales, perforación de 1 888 metros de formaciones geológicas y colocación de 1 811,20 metros lineales de tuberías y filtros para proveer 40,83 litros por segundo de agua subterránea distribuida a 11 870 habitantes en 10 comunidades a nivel provincial. Conclusiones, 1) Se deben actualizar las metodologías y sistemas de prospección y explotación de aguas subterráneas a nivel nacional, 2) La problemática sobre crecimiento poblacional y falta de agua dejan inconclusos los esfuerzos para disminuir el impacto negativo causado por desabastecimiento de agua segura, 3) Seguir estudiando los acuíferos de Ecuador para obtener información hidrogeológica de detalle la cual permita obtener recursos económicos para la explotación sostenible y sustentable de acuíferos subterráneos.

Palabras clave: Acuíferos, Subterráneo, Hidrogeología.

Abstract

The work presented is a popularization article in the area of water resources. The objective is to communicate the achievements of work on the provision of drinking water through drilling of underground aquifers in rural and marginal urban communities in the province of Chimborazo. The methodology of the writing is descriptive and explanatory of the way in which the project was carried out. The results obtained are: execution of 250 vertical electrical surveys, drilling of 1,888 meters of geological formations and placement of 1,811.20 linear meters of pipes and filters to provide 40.83 liters per second of groundwater distributed to 11,870 inhabitants in 10 communities at the provincial level. Conclusions, 1) The methodologies and systems for prospecting and exploiting groundwater at the national level must be updated, 2) The problems of population growth and lack of water leave unfinished efforts to reduce the negative impact caused by the shortage of safe water, 3) Continue studying the aquifers of Ecuador to obtain detailed hydrogeological information which allows obtaining economic resources for the sustainable and sustainable exploitation of underground aquifers.

Keywords: Aquifers, Groundwater, Hydrogeology.

Introducción

El 97 % del agua en el planeta es salada y sólo el 3 % es apta para consumo humano (Tarbuck, E.J. y Lutgens 2005). La escasez de agua en la región andina está ligada al deterioro ambiental producido por el cambio

climático. Esto trae sequías prolongadas o precipitaciones extremas, las misma que afectan negativamente a las cuencas hidrográficas locales. El crecimiento de la población va en aumento en la región, lo que provoca presión sobre los recursos hídricos existentes, ocasionando a su vez, conflictos por el control y uso del agua (Yáñez-Yáñez and Villacis-Aldaz 2016).

* Correspondencia del autor:

E-mail: cesar.borjab@ug.edu.ec



Esta obra está bajo una licencia de creative commons: atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0. Los autores mantienen los derechos sobre los artículos y por tanto son libres de compartir, copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra.

En Ecuador, la provincia de Chimborazo presenta deterioro en los parámetros físicos y químicos del agua como: color, turbidez, sólidos disueltos totales (STD), conductividad, acidez o alcalinidad (pH), nitratos, nitritos y flúor (JICA 2004). Todos están ligados a la cercanía o no de industrias, efluentes o sistemas productivos. Sin embargo, la contaminación bacteriológica producida por Coliformes, totales y fecales en vertientes no depende de la cercanía del punto de contaminación. Esto puede asegurarse debido a que el análisis parasitológico realizado a múltiples muestras distantes unas de otras, así como de potenciales focos de contaminación en diferentes lugares de la provincia, demostraron que todas están contaminadas y no cumplen con la inocuidad requerida, en este caso se convierte en un vehículo para la transmisión parasitaria y bacteriana. Estudios realizados en Chimborazo confirman que la bacteria *Escherichia coli* está presente en las aguas de consumo humano, se determinó que la bacteria es resistente a diferentes antibióticos y que la enfermedad que genera pueda no ser contrarrestadas fácilmente (Yubaille 2017) química, microbiológica del agua de consumo humano de la parroquia Punín, cantón Riobamba, provincia de Chimborazo, a cargo de la Junta Administradora de Agua y Alcantarillado Punín. Siguiendo la norma NTE INEN 1108:2014 "Agua potable. Requisitos", para poder verificar la calidad del agua que consume esta parroquia rural. En cada uno de los puntos de muestreo se realizó el análisis de parámetros físico-químico, microbiológicos de la red de distribución, en los cuales se analizaron color, sólidos disueltos, conductividad, turbidez, pH, nitritos, nitratos, flúor, Coliformes fecales, usando métodos como: Espectrofotometría, Petrifilm, y el Número Más Probable; en cuanto a determinación de parásitos se usó 2 métodos la centrifugación y flotación por saturación. También se estudió la resistencia microbiana de *Escherichia coli*, bacteria que fue aislada y purificada. De estos parámetros los resultados para análisis físicos, fueron el color con un promedio de 29,67 (Pt-Co).

Desde los indicadores sociales, las necesidades básicas insatisfechas (NBI) es un índice que trata sobre el número de personas que viven en condiciones de pobreza o extrema pobreza ligadas al no acceso de servicios básicos, entre ellos, la dotación de agua limpia (Unicef 2017). La tendencia de este indicador a largo plazo y a nivel nacional muestra decrecimiento de 64.94 % (1995) a 35,84 % (2014). En el Chimborazo, el 22% equivalente a 105 244 habitantes se encuentran en esta situación (INEC 2010; SIISE 2018) [Instituto Nacional de Estadística y Censos; Sistema Integrado de Indicadores Sociales del Ecuador].

El alumbramiento de aguas subterráneas se ha transformado en una de las alternativas viables ante la problemática global por la falta de recursos hídricos para sanidad y agua potable, pues suple las necesidades de calidad y cantidad de recursos hídricos. Estudios internacionales determinan que por ejemplo en Estados Unidos se cubre el déficit de recursos hídricos explotando acuíferos subterráneos (Macías 2017).

Condiciones geológicas

La provincia de Chimborazo presenta un mosaico de alturas, la cota más baja la encontramos en el cantón Cumandá el cual se ubica a 300 m s.n.m con su contraparte el volcán Chimborazo el cual alcanza los 6 310 m s.n.m. La mayor parte de la provincia está cubierta por ceniza volcánica (Cangaguas) producto de las últimas erupciones de los volcanes que dominan la provincia. La zona norte tiene áreas con relieves pronunciados formados por estratos volcánicos. La zona sur abarca extensas áreas de altiplanicies con inclinaciones suaves. Los relieves montañosos son propensos a erosiones representadas en las múltiples quebradas que brindan un panorama peculiar de socavación. La base geológica está constituida por rocas ígneas y metamórficas cubiertas por rocas volcánicas formadas a partir del terciario, además, podemos encontrar vastas zonas de lahares y sedimentos. La carta geológica en su parte norte demuestra que la provincia está cubierta por rocas volcánicas sin exposición de formaciones de basamento, en el sur se encuentran estratos del Mesozoico, al este y oeste rocas intrusivas formadas durante el cretácico y el terciario (IGM 1971) [Instituto Geográfico Militar]. Cumandá está localizada en las cotas más bajas y con tierras llanas de abanicos aluviales. Los suelos están representados por arenas y gravas que superan en ocasiones los 100 metros de potencia.

Las fuentes más representativas de agua para uso doméstico en la provincia de Chimborazo están relacionadas con vertientes o manantiales, quebradas y ríos. Sin embargo, la tendencia en los últimos años se caracteriza por la escasez de lluvias (JICA 2004) lo que provoca disminución de fuentes hídricas acompañada de la marcada degradación ambiental. En las comunidades rurales cercanas a zonas montañosas, la situación es más compleja porque están emplazadas en zonas de recarga y no en lugares de circulación o reserva de recursos hídricos subterráneos (Diario el Comercio 2012).

Otro factor preocupante es la deforestación a causa de la actividad agrícola y la necesidad de los habitantes por conseguir más tierra para cultivos y cría de animales (Armenteras and Rodríguez Eraso 2014). Tal esquema afecta directamente el balance hídrico de las cuencas hidrográficas locales. También se suman otras actividades económicas como construcción desordenada, falta de buenas prácticas ambientales y contaminación cruzada (Solarte, Peña, and Madera 2006). En materia de salud, la disminución de agua incrementa las enfermedades que afectan a la población más vulnerable como niños y adultos mayores (JICA 2004).

Ante esta situación, el Gobierno Autónomo Descentralizado [GAD] de la Provincia Chimborazo junto a Japan's International Cooperation Agency [JICA] y la Embajada del Japón aunaron esfuerzos para elaborar múltiples proyectos que mejoraron las condiciones de vida de la población ecuatoriana, uno de ellos es la explotación de recursos hídricos subterráneos para

Tabla 1 Parámetros analizados en el estudio básico sobre condiciones existentes y requerimiento de dotación de agua subterránea a comunidades rurales y urbano marginales de Chimborazo.

Nombre de la comunidad objeto del proyecto	Población objeto proyectada (personas)	Unidad de suministro de agua (l/persona/día)	N° de pozos construido	Tubería de conducción y alimentación (m)	Tanque de distribución
Licán	2 900	100	1	590	2 de 30 y 50 m ³
San Martín de Veranillo	1 740	100	1	640	-
Santa Ana de Tapi	1 700	100	1	430	-
Yaruquies	1 600	100	1	1 600	2 de 30m ³
Punin	1 500	60	1	460	-
Los Galtes San Juan	910	60	1	330	1 de 30m ³
Los Tipines San Juan	690	40	1	680	1 de 10 m ³
Los Chingazos	1 450	60	1	1 270	-
Santa Cruz	1 300	60	1	800	-
Barrío San Antonio	1 020	60	1	860	-

Fuente: Diseño Básico JICA 2 004. Elaboración: JICA.

la dotación de agua a comunidades rurales y urbanas marginales de Chimborazo (Tabla 1).

La cooperación financiera no reembolsable otorgada por Japón, constó de maquinarias, herramientas, materiales y equipos necesarios para la construcción de pozos profundos e instalaciones de abastecimiento, también se trabajó en la transferencia tecnológica y de conocimiento técnico necesario para operar equipos de prospección y perforación de aguas subterráneas así como la puesta en funcionamiento de los sistemas de bombeo y distribución (GAD Chimborazo 2006), [Gobierno Autónomo Descentralizado, GAD].

Materiales y métodos

Etapa de estudio

Ecuador posee cuatro regiones naturales bien delimitadas en insular, costa, sierra y oriente. Su territorio está dividido políticamente en veinticuatro provincias. La provincia Chimborazo pertenece a la sierra ecuatoriana y se encuentra ubicada aproximadamente en el centro de Ecuador.

El equipo consultor de JICA (2004) realizó el diagnóstico hidrogeológico y social de la provincia para determinar las necesidades de las comunidades. Utilizando los siguientes criterios básicos para implantación del proyecto:

Estudio geológico y geofísicos de superficie, el cual estableció que las máximas profundidades de perforación podrían alcanzar los 220 a 250 metros de profundidad, requiriéndose un equipo de perforación con una capacidad mínima efectiva cercana a los 300 metros de profundidad. El método de perforación

y herramienta de corte requerida es tipo rotativo con circulación directa de lodos y uso de brocas de carburo de tungsteno o dientes de acero para materiales consolidados y no consolidados. Además, martillo de fondo tipo *direct to home* (DTH) para las formaciones rocosas. Los elementos para elaboración de lodo de perforación fueron agua, bentonita y carboximetilcelulosa (CMC), lo que permite minimizar el impacto ambiental generado por la perforación de acuíferos.

Las condiciones geológicas determinaron que el diámetro final del entubado para pozos sería 8 pulgadas y el diámetro de perforación superior a 12 1/4 de pulgadas. Esto permite mejorar la explotación del recurso, minimizando los costos, facilitando la perforación de materiales volcánicos y evitando daños irreparables a los acuíferos.

Los perfiles geológicos de las diferentes formaciones geológicas demostraron que la mayoría de los lugares a perforar presentan estratos superficiales de materiales no consolidados e intemperizados, razón por la cual se recomienda perforar el tramo inicial en un diámetro de 17 1/2 pulgadas y colocación de tubos de revestimiento de 14 pulgadas.

La posición de las tuberías de acero y filtros son definidos por el registro de perforación y el perfilaje eléctrico, motivo por el cual en el diseño básico se aproxima lo más posible a las cantidades requeridas.

Los criterios descritos permitieron determinar y cuantificar los equipos, herramientas y suministros que fueron utilizados en el Proyecto de Desarrollo de Aguas Subterráneas en Chimborazo (AOD 2006) (Figura 1) (Tabla 2). Las empresas japonesas Kyowa

Tabla 2. Equipos, cantidades y especificaciones técnicas de los equipos y suministros utilizados en el Proyecto de Desarrollo de Aguas Subterráneas en Chimborazo.

Fase	Nombre de equipo	Especificación	Cantidad
I de perforación	Máquina perforadora	Montada de camión para perforar 300 m, uso común para métodos de circulación de lodo y DTH.	1 Juego
	Herramientas de perforación	Herramientas de perforación.	1 Juego
	Compresora montada en camión	Tipo hélice, compresora de alta presión, montada en maquina o camión.	1 Juego
	Camión de transporte de carga larga	Camión con grúa de 6 toneladas.	1 Juego
	Camión de transporte de carga mediana	Camión con grúa de 3 toneladas.	1 Juego
	Camión cisterna	Tanquero de 8 metros cúbicos para transportar agua a la obra.	1 Juego
	Vehículo de trabajos pequeños	Camioneta (cabina simple)	1 Unidades
		Camioneta (cabina doble)	1 Unidades
Equipo de comunicación por radio	Montado de vehículo, VHF con potencia de salida de 25 watts.	2 Unidades	
II de prueba	Equipo geo eléctrico	Prospección horizontal de 2 dimensiones, programa de análisis, GPS y walkie-talkie de mínima energía.	1 Juego
	Equipo de registro	Ítems de medición potencial, espontánea, resistividad, conductividad eléctrica, etc.	1 Unidad
	Equipo de bombeo	200 litros por minuto x 250 metros x 15 watts (200 voltios, 60 herzios, trifásico)	1 Unidades
		600 litros por minuto x 120 metros x 18,5 watts (200 voltios, 60 herzs, trifásico)	1 Unidades
	Generador de bombeo	60 kilovatios, 2020 vatios, 60 herz, trifásico.	1 Unidad
	Equipo de análisis de calidad de agua	Tipo portátil, medición de items básicos, metales pesado, etc.	1 Juego
Computadora personal	CPU 2,4 giga hertz, memoria ram 256 mega bytes, pantalla alta definición, CD-RW, monitos 17 pulgadas.	1 Juego	
III equipos y materiales para pozos	Bomba sumergible	1,1 - 13 kilowatts	14 Unidades
	Tubo de revestimiento	14 pulgadas, L = 6,0 metros, ASTM, SCH40.	17 Piezas
		7 pulgadas, L = 6,0 metros, ASTM, SCH40.	102 Piezas
	Filtro	8 pulgadas, L = 3,0 metros, SUS30, lmm de ranura, 20% de profundidad.	87 Piezas
Bomba de alimentación	30 litro por minuto x 165 metros x 2,2 kilowatts.	2 Juego	

Fuente: Diseño Básico JICA y KYOWA del Japón 2004. Elaboración: JICA.

Engineering Consultant Cia Ltda. y Urban Tone Cia. Ltda., fueron las encargadas de la supervisión, perforación, acompañamiento y transferencia tecnológica del proyecto.

Facilidades auxiliares

El equipo principal utiliza suministros complementarios como: diagramas de instalación para bombas electro sumergibles, planos estándares de caseta de control



Figura 1 Secuencia cronológica de actividades ejecutadas durante el Proyecto de desarrollo de aguas Subterráneas incluidos equipos, herramientas y suministros asociados; 1) Equipos para prospección geofísica de superficie mediante métodos eléctricos, 2) Equipos y suministros de perforación de pozos profundos, 3) Equipo para registro y diseño de pozo, 4) equipos y herramientas para entubado de pozo y construcción de sello sanitario, 5) equipos y herramientas para pruebas de bombeo, 6) construcción de estación de bombeo, instalación de paneles eléctricos equipo de bombeo y tendido de líneas de impulsión.

de pozo, tableros y paneles electrónicos, tuberías, accesorios, cables eléctricos para las casetas de bombeo, y electrodos de control para evitar las marchas en vacío de las bombas.

Diagnóstico para perforación

La metodología se encuentra ordenada cronológicamente. Explica en detalle las fases seguidas en el Proyecto de Desarrollo de Aguas Subterráneas en Chimborazo para la prospección, exploración y explotación de acuíferos subterráneos, basados en el resultado del estudio inicial de cada comunidad

objeto. Estado de las instalaciones existentes. En una primera etapa se confirma el estado del servicio de agua potable cantones Cumandá, Riobamba, Guano y Guamote. Se analiza el estado de las instalaciones considerando algunos aspectos:

Aforo de caudales y condición de las fuentes de abastecimiento existente al momento del levantamiento de información.

Posibilidad de aprovechamiento de aguas superficiales y subterráneas.

Tabla 3. Instalaciones entregadas, datos de beneficiarios según población, ubicación geográfica del punto de perforación y sistema de bombeo.

Pozo para comunidad objeto	Cantón	Población proyectada (personas)	Suministro de agua (litros diarios/persona)	Pozos construidos	Conducción-alimentación (m*)	Tanque de distribución*	Caudal	Coordenadas	
Yaruquiez	Riobamba	1600	100	1	280	2 de 30 m ³	1	758949	9812990
Buenos Aires	Cumandá	480	100	1	160		2,5	705563	9755914
Punin	Riobamba	1500	60	1	1325		8,33	762684	9806696
Lican	Riobamba	1200	100	1	1450	2 de 50 m ³	3	754270	9816744
Santa Ana	Riobamba	1700	100	1	756		5,5	757920	9819274
San Martín de Veranillo	Riobamba	1740	100	1	678		8	764099	9816445
Tipines San Juan	Guamote	690	60	1	660	1 de 10 m ³	1,67	741019	9766169
Tipines San Carlos	Guamote	600	60	Captación	1620	1 de 10 m ³	2,5	740450	9766460
Galtes	Guamote	910	60	1	260	1 de 30 m ³	3,33	746195	9774720
Chingazos	Guano	1450	100	1	1160		5	768773	9821780

Fuente: *Archivo, Solicitud de aprobación de materiales para la ejecución de los pozos Urban Tone Corporation Idioma Japonés Español; GADPCH, 2006. Elaborado por: Los autores

Reconocimiento de captaciones de agua, líneas de conducción, tuberías de distribución y tanques de reserva de agua.

Estado de servicio de agua

Con la finalidad de determinar la prioridad de agua para las comunidades se analizaron los siguientes criterios:

Alimentación intermitente desde camiones cisterna. Cantidad de habitantes de sectores urbano-marginales y comunidades no muy lejanas al centro poblado principal del cantón.

Captación de agua por vertientes y transporte del recurso vital. Las comunidades situadas en zonas montañosas consiguen agua de esta manera.

A las comunidades también se las clasifica como: Comunidades concentradas. El sistema de distribución está bien establecido y presenta caudales de agua aceptables para suplir los requerimientos de la comunidad.

Comunidades dispersas. El acceso al agua proviene con tuberías de distribución de tipo ramal o inexistentes,

sin conexión directa a domicilios, falta de caudal o transporte desde vertientes alejadas.

Según los resultados obtenidos de los criterios básicos descritos con anterioridad a más de otros específicos, se determinó las comunidades objeto de estudio hidrogeológico por métodos geofísicos y posterior perforación de pozos profundos.

Método geofísico de resistividad eléctrica

Una vez que se determina la comunidad prioritaria se ejecuta el estudio geofísico de la zona de interés, el cual consiste en inducir al terreno con una corriente eléctrica y obtener una respuesta conforme a las características litológicas propias del sector. Esta respuesta está ligada a las particularidades de cada formación geológica la cual tiene diferentes parámetros hidrogeológicos (Gómez-Hernández and Wen 1994). La resistividad del medio geológico puede ser asociada con algunos factores como porosidad, granulometría, humedad, contenido de agua libre, mineralogía, salinidad, etc. (Leucci, Margiotta, and Negri 2004; García-Menéndez et al. 2018). En la actualidad el método eléctrico es el más aplicado en Ecuador para detectar acuíferos subterráneos, debido a que presenta múltiples ventajas en su aplicación e

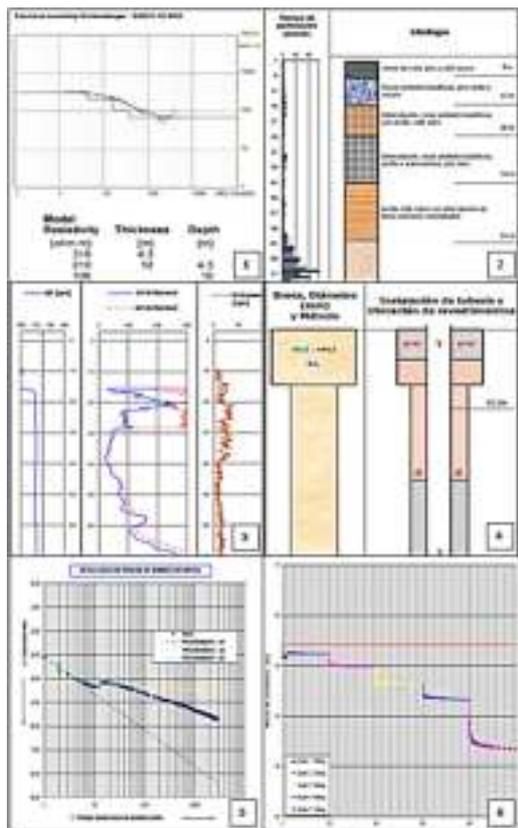


Figura 2. Resultados obtenidos en las diferentes etapas del proceso; 1) interpretación de sondeos eléctricos verticales para determinar resistividad, profundidad y espesor de las capas subterráneas de la zona de interés, 2), resultado del control litológico de pozos y velocidad de perforación, 3) registro de pozo, curvas de resistividad, gama y SP, 4) Diseño de pozo y cuantificación de suministros para entubado final, 5) Resultados de pruebas de bombeo para cálculo de caudales máximos de extracción y parámetros hidrogeológicos de los acuíferos perforados.

interpretación (Kelly and Reiter 1984; Curtis and Kelly 1990). Además, y si las condiciones lo permiten se puede determinar la ubicación de un manto freático sin necesidad de pozos exploratorios (Al-Ruwaih and Ali 1986).

En el presente estudio se utilizó principalmente la configuración Schlumberger que consiste en insertar en el terreno cuatro electrodos metálicos, dos de potencial y dos de corriente con separación estándar a lo largo de una sección promedio. El método solicita abrir los electrodos de potencial o corriente en secciones homogéneas para alcanzar una mayor profundidad (Silva 1972).

De acuerdo con la prospección hidrogeológica de superficie (fase 1 y 2), 10 puntos fueron considerados como prioritarios para el Proyecto de Desarrollo de Aguas Subterráneas y sobre los cuales se realizó la perforación para alumbramiento de recursos hídricos subterráneos.

Método para perforación de pozos profundos

La perforación seleccionada inicia con la construcción de la plataforma para la instalación de equipos. Con la colaboración de los comuneros se realiza la excavación manual de dos fosas para la preparación del lodo de perforación, con estas obras construidas previamente se realiza la movilización de herramientas, suministros, materiales y equipo de perforación. Las diferentes maniobras de perforación responden exclusivamente a las demandas de los materiales geológicos existentes en cada punto de perforación. Como se determinó en el diseño básico las perforaciones ejecutadas alcanzaron los 250 metros de profundidad en promedio. Una vez perforado el pozo se ejecutan los siguientes trabajos:

Registro de pozo

Culminada la perforación, se realizan el registro geofísico de pozo en el cual se miden parámetros como Resistividad (N16" y N64"), Potencial Espontáneo (SP) y Gamma Ray (GR).

Diseño del pozo. Cada pozo requiere un diseño particular basado en parámetros como perfil litológico, apuntes de campo (tiempos y observaciones de perforación), interpretación de curvas del registro de pozo y correlaciones con pozos aledaños. Después se establece la profundidad y longitud de tuberías, número de filtros y profundidades a las cuales han de ser implantadas las bombas electro sumergibles.

Entubado del pozo. El diseño del pozo guía la construcción (entubo) utilizando tubería de acero (casing) de tipo ASTM A 53 - Gr. B; y la rejilla (filtros) de acero inoxidable del tipo Johnson AISI304. Los dos suministros con diámetro de 8 pulgadas y roscables.

Colocación del filtro de grava. Una vez colocada la tubería y filtros de acero se realiza la colocación del filtro de grava el cual es aplicado por medio de circulación directa del agua desde superficie en el espacio existente entre las paredes del pozo perforado y la tubería y filtro de acero instalados en campo. La circulación directa desde superficie permite evitar la formación de puentes (espacios sin relleno de grava) y lograr que la grava llegue a la cota máxima de perforación. La grava y ripio triturado, aproximadamente 12 m³, son desinfectados con cloro previo a su colocación en profundidad.

Construcción de sello sanitario. Inicia con la colocación a quince metros de profundidad y sobre el filtro de grava de un primer sello impermeabilizante de bentonita el cual sirve para evitar que las aguas meteóricas lleguen a los acuíferos subterráneos. Posteriormente y hasta superficie se instala el sello sanitario que es básicamente una capa de hormigón simple fundida in situ.

Limpieza del pozo

Se utiliza agua limpia introducida por la tubería de perforación. En su parte inicial presenta un chorro jetting el cual se introduce hasta la zona de los

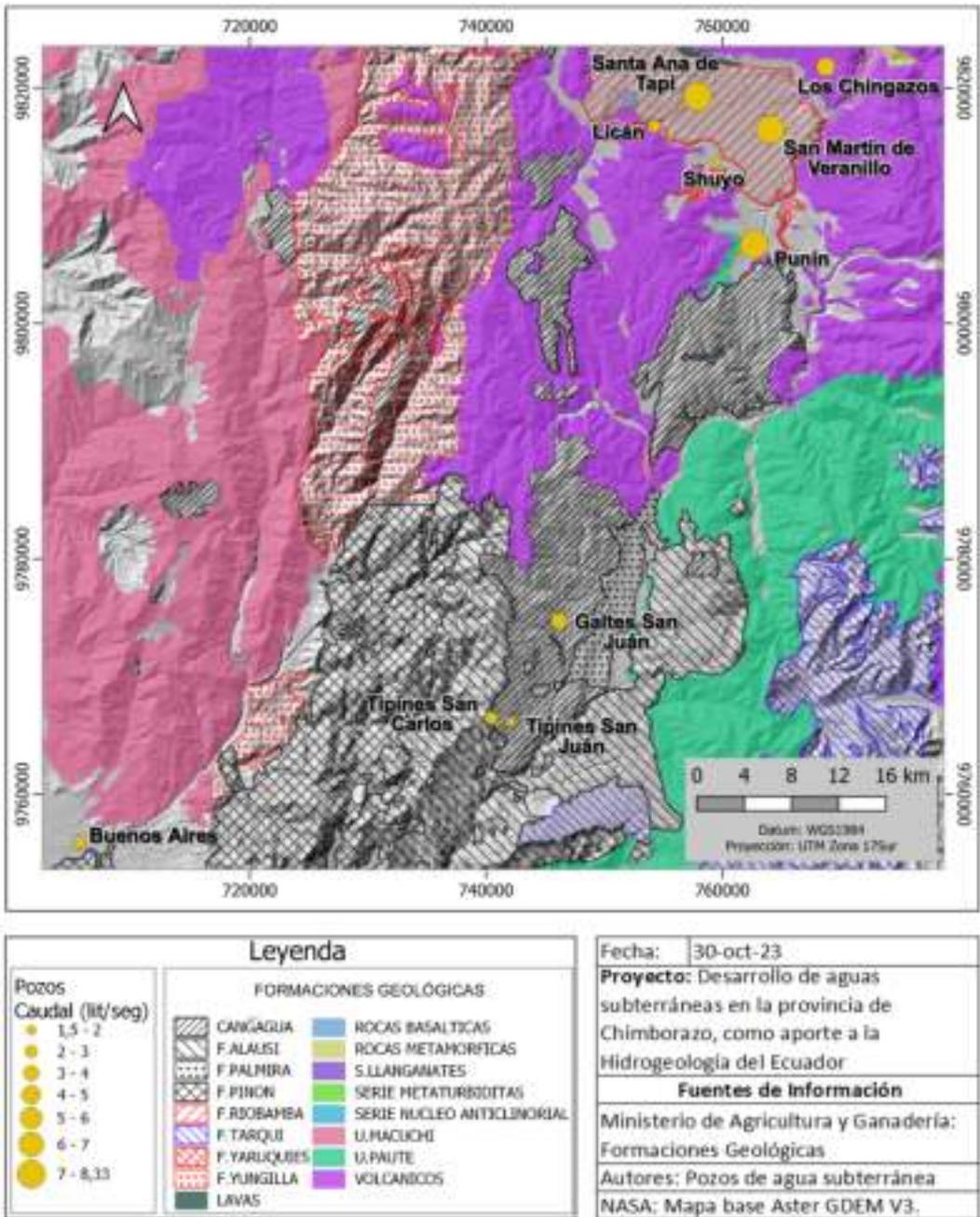


Figura 3 Formaciones geológicas y ubicación espacial de pozos perforados para alumbramiento de aguas subterráneas como resultado final del Proyecto de Desarrollo de Aguas Subterráneas Fase I y II.

filtros. Así, con estas maniobras se consigue eliminar una gran cantidad de lodo (Bentonita) y partículas finas de arena o limos pegadas en las tuberías y filtros. Se utiliza el método de circulación directa con duración de hasta tres días por pozo. Además, se realiza la circulación de aire a presión, para acomodar firmemente la grava en el espacio entre las paredes del pozo y tubería. Esto último tiene una duración de cuatro días para cada pozo perforado.

Pruebas de bombeo. Los ensayos son en esencia el método para analizar en directo los caudales en los pozos de captación de aguas subterráneas. Este trabajo permite definir el comportamiento hidráulico de los acuíferos en cada pozo perforado.

Cada pozo es analizado con dos tipos de métodos. El primero a caudal variado y el segundo a caudal constante. Se monitorea la evolución del nivel

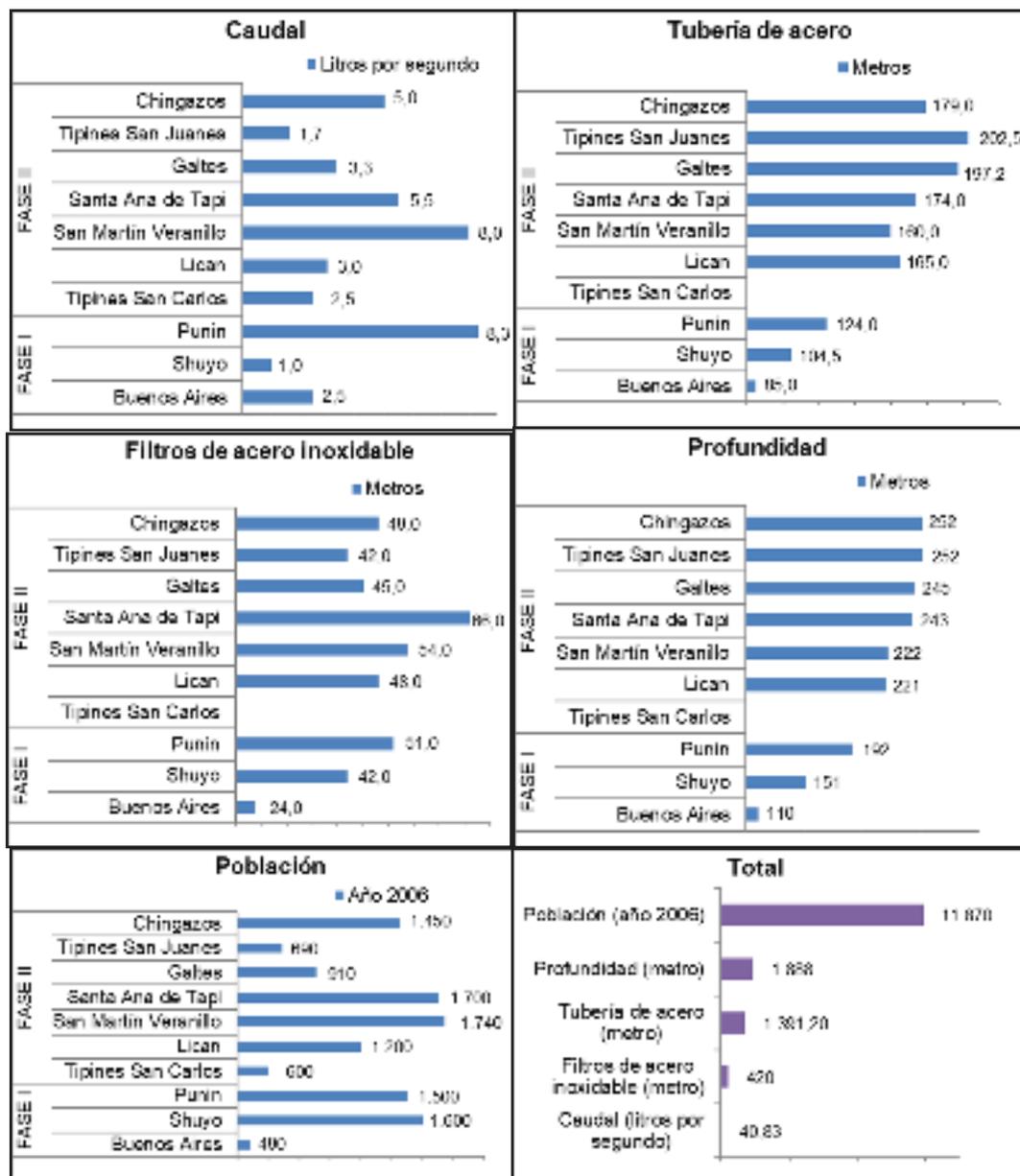


Figura 4 Análisis estadístico y representación gráfica de resultados obtenidos en el proyecto de desarrollo de aguas subterráneas relacionados con caudales máximos de explotación, consumo total de suministros para terminación de pozos, comunidades y población beneficiaria.

dinámico provocado por el bombeo. Lo más importante es que estas pruebas si son bien ejecutadas permiten determinar un caudal seguro de explotación sin causar daños permanentes a los acuíferos locales. Este trabajo también permite obtener la permeabilidad y transmisibilidad de los mantos acuíferos (Figura 2).

Resultados

El resultado final es la entrega de 10 sistemas de abastecimiento de agua potable (Tabla 3) y (Figura 3)

los cuales entregan 40,83 litros por segundo de aguas subterráneas de buena calidad para el consumo de 11 870 habitantes de comunidades rurales y urbano marginales de Chimborazo (Figura 4), atendiendo directamente a un porcentaje considerable de habitantes en situación de extrema pobreza por necesidades básicas insatisfechas en el período de análisis.

Al final de los sondeos mecánicos efectuados para la explotación de agua subterránea se perforan 1 888

metros de estratos volcánicos y sedimentarios con ratas de perforación promedio de 5 a 10 minutos por metro para estratos suaves y de 15 a 45 minutos por metro para estratos duros. El resultado final fueron nueve pozos profundos operativos y una captación de vertiente superficial. El perfilaje de pozo determino la ubicación de los acuíferos en cada perforación y por consiguiente se diseñaron diferentes configuraciones para los entubados finales. En total se utilizan 1 391,20 metros de tubería de acero tipo ASTM A 56, grado B de 8 pulgadas por 5,8 metros SCH-40 y 420 metros de filtros de acero inoxidable IASI 304 ranurado tipo Johnson.

Durante el desarrollo del proyecto y en la mayoría de los casos, se procuró realizar el aprovechamiento de estructuras implantadas por el Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda (MIDUVI) desde los años setenta para el transporte, almacenamiento y distribución del líquido vital.

En cuanto a la desinfección del agua de pozo, se dotó para cada estación de bombeo con un sistema automático de cloración, esto en virtud de que las aguas subterráneas dieron positivo para pruebas de unidad formadora de colonias (UFC) en coliformes totales y fecales.

Conclusiones

El Proyecto de Desarrollo de Aguas Subterráneas es un medio técnico para captar agua subterránea y dotar de agua segura a habitantes de comunidades sin acceso al recurso vital.

Es preciso actualizar los sistemas de prospección y explotación de aguas subterráneas, para lograr mejores resultados en los caudales de extracción y rendimiento de equipos.

La problemática existente en la provincia de Chimborazo influye en que los resultados obtenidos por el proyecto y los esfuerzos para disminuir la falta de agua potable sean solo un paliativo provisional y no una solución definitiva. Por ello, se recomienda seguir trabajando en convenios internacionales con organizaciones de países desarrollados para una efectiva transferencia técnica y tecnológica de métodos y técnicas que puedan ser replicables y adoptables a nuestro país.

Es indispensable seguir estudiando el comportamiento de los acuíferos a nivel local y nacional, no solo para obtener un caudal óptimo de agua subterránea, sino para entender las particularidades de los acuíferos, su entorno y evitar de esta forma el deterioro actual que sufre el recurso hídrico subterráneo ocasionado por la sobre explotación y depredación de acuíferos subterráneos.

Referencias

Al-Ruwaih, Fawzia, and Hamid Omer Ali. 1986. "Resistivity

Measurements for Groundwater Investigation in the Umm Al-Aish Area of Northern Kuwait." *Journal of Hydrology* 88 (1): 185-98. [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(86\)90204-0](https://doi.org/10.1016/0022-1694(86)90204-0).

AOD. 2006. "Exchange of Notes in Fiscal Year 2005 Grant Aid by Date." 2006. <https://www.mofa.go.jp/policy/oda/note/grant-5.html>.

Armenteras, Dolores, and Nelly Rodríguez Eraso. 2014. "Dinámicas y Causas de Deforestación En Bosques de Latino América: Una Revisión Desde 1990." *Colombia Forestal* 17 (2): 233-46.

Curtis, B, and W E Kelly. 1990. "Resistivity-Recharge Relationships – Field Study." *Journal of Hydrology* 118 (1): 39-53. [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(90\)90249-W](https://doi.org/10.1016/0022-1694(90)90249-W).

Diario el Comercio. 2012. "El Chimborazo No Es Una Fuente Inagotable de Agua." 2012. <https://www.elcomercio.com/actualidad/ecuador/chimborazo-no-fuente-inagotable-agua.html>.

GAD Chimborazo. 2006. "Gobierno Autónomo Descentralizado de Chimborazo." 2006. <http://chimborazo.gob.ec/principal/>.

García-Menéndez, Olga, Bruno J Ballesteros, Arianna Renau-Pruñonosa, Ignacio Morell, Tania Mochales, Pedro I Ibarra, and Félix M Rubio. 2018. "Using Electrical Resistivity Tomography to Assess the Effectiveness of Managed Aquifer Recharge in a Salinized Coastal Aquifer." *Environmental Monitoring and Assessment* 190 (2). <https://doi.org/10.1007/s10661-017-6446-9>.

Gómez-Hernández, J J, and X -H. Wen. 1994. "Probabilistic Assessment of Travel Times in Groundwater Modeling." *Stochastic Hydrology and Hydraulics* 8 (1): 19-55. <https://doi.org/10.1007/BF01581389>.

IGM. 1971. "53.- Hoja Geológica Chimborazo - Escala 1 100." 1971. https://drive.google.com/file/d/1f94TrNiTbqqN3TVf308mZ6f_YfHpPfp9/view.

INEC. 2010. "Instituto Nacional de Estadísticas y Censos." 2010. <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/base-datos-censo-de-poblacion-y-vivienda-2010/>.

JICA. 2004. "Japan International Cooperation Agency." Proyecto Para Suministrar Agua a Cuatro Cantones de La Provincia de Chimborazo (Cantón Riobamba, Colta, Guamote Alausi). 2004. <https://www.jica.go.jp/english/index.html>.

Kelly, W E, and P F Reiter. 1984. "Influence of Anisotropy on Relations between Electrical and Hydraulic Properties of Aquifers." *Journal of Hydrology* 74 (3): 311-21. [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(84\)90021-0](https://doi.org/10.1016/0022-1694(84)90021-0).

Leucci, Giovanni, Stefano Margiotta, and Sergio Negri. 2004. "Geophysical and Geological Investigations in a Karstic Environment (Salice Salentino, Lecce, Italy)." *Journal of Environmental and Engineering Geophysics* 9 (1): 25 - 34. <https://doi.org/10.4133/JEEG9.1.25>.

Macias, Hernando J. 2017. "El Agua Subterránea, Una Alternativa de Abastecimiento Para Ocaña." Las 2 Orillas. 2017. El agua Subterránea, una alternativa de abastecimiento para Ocaña (las2orillas.co).

SIISE. 2018. "Sistema Integrado de Indicadores Sociales Del Ecuador." 2018. <https://www.infancia.gob.ec/sistema-integrado-de-indicadores-sociales-del-ecuador-siise-2/>.

Silva, E O. 1972. *Prospección Geoelectrica En Corriente Continua*. Biblioteca Técnica Philips. Paraninfo. https://books.google.com.ec/books?id=nou_RwAACAAJ.

Solarte, Yezid, Miguel Peña, and Carlos Madera. 2006. "Transmisión de Protozoarios Patógenos a Través Del Agua Para Consumo Humano." *Colombia Médica* 37 (1): 74-82.

Tarback, E.J. y Lutgens, F.K. 2005. *Ciencias de La Tierra: Una Introducción a La Geología Física*. Pearson Prentice Hall. Vol. 8.

Unicef. 2017. "Agua Saneamiento e Higiene (WASH)." 2017. <https://www.unicef.org/es/agua-saneamiento-higiene>.

Yáñez-Yáñez, Ángel Wilfrido, and Luis Alfredo Villacís-Aldaz.

2016. "El Agua En América Latina." *Journal of the Selva Andina Biosphere* 4 (2): 46-47. <https://doi.org/10.36610/j.jsab.2016.040200046>.
- Yubaille, Diana Carolina Caluña. 2017. "Evaluación de La Calidad Física, Química, Microbiológica y Resistencia Bacteriana Del Agua de Consumo Humano de La Parroquia Punin, Cantón Riobamba, Provincia de Chimborazo." *Facultad de Ciencias*, 115. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/6354/1/56T00684.PDF>.