



Informe Técnico:
Misión de Asistencia Técnica para el
Desarrollo de Aguas Subterráneas en
Bolivia
Octubre 2016



Joint UNEP/OCHA Environment Unit
Prepare. Respond. Protect.



Copyright © 2016 Unidad Conjunta para el Medio Ambiente PNUMA/OCHA (JEU)

Esta publicación puede ser reproducida íntegra o parcialmente y en cualquier forma con fines educativos y sin ánimo de lucro sin permiso especial del titular de los derechos de autor, siempre que se haga referencia a la fuente. La información ha sido recopilada por los expertos en misión de acuerdo con los conocimientos más actuales en el momento de su redacción.

*Unidad Conjunta para el Medio Ambiente PNUMA/OCHA (JEU)
División de Servicios de Emergencia, Oficina de Coordinación de Asuntos Humanitarios (OCHA)
Palacio de las Naciones
CH-1211 Ginebra 10
Suiza
ochaunep@un.org*

Editor de informes: Unidad Conjunta para el Medio Ambiente PNUMA/OCHA (JEU)

Autores del informe: Wybrand van Ellen & Andrew McKenzie

Tabla de contenidos

Resumen Ejecutivo.....	1
Descripción de las entidades: JEU y UCPM	1
Executive summary.....	3
Introducción.....	4
Ámbito institucional de aguas en Bolivia.....	6
Instituciones.....	6
Leyes y normas relevantes.....	8
Aguas subterráneas en Bolivia.....	9
Geología.....	9
Hidrogeología.....	9
Historia.....	13
Influencia de El Niño sobre sequía.....	15
La sequía del 2016.....	15
Acciones contra la sequía del 2016.....	16
Obras en el Departamento de Cochabamba	17
Datos climáticos y meteorológicos de Cochabamba	17
Hidrogeología - Cochabamba.....	19
Obras en el Departamento de Santa Cruz	20
Datos climáticos y meteorológicos de Santa Cruz	21
Hidrogeología – Santa Cruz.....	23
Proceso de desarrollo de aguas subterráneas.....	24
Fuentes alternativas en tiempos de emergencia.....	28
Comentario sobre las perforaciones previstas por VIDECI	29
Recomendaciones para perforación	30
Conclusiones	31
Recomendaciones.....	32
Recomendaciones a nivel institucional.....	32
Recomendaciones para realizar un estudio hídrico.....	32
Recomendaciones para el estudio presente.....	33
Anexo 1 Datos meteorológicos	34
Anexo 2 Imágenes del trabajo llevado a cabo	49

Tablas

Tabla 1 Datos históricos de El Niño.....	13
Tabla 2 Efectos zonales del fenómeno El Niño	15
Tabla 3 Impactos de El Niño en los municipios relevantes en el Departamento de Cochabamba	17
Tabla 4 Impactos de El Niño en los municipios relevantes en el Departamento de Santa Cruz	20
Tabla 5 Procedimiento ideal y observado durante un proyecto dirigido a paliar las consecuencias de la sequía.....	24
Tabla 6 Comentarios sobre las perforaciones previstas	29

Ilustraciones

Ilustración 1 Ubicación de perforaciones prevista por VIDECI	5
Ilustración 2 Geología de Bolivia Datos climáticos y meteorológicos.....	10
Ilustración 3 Datos meteorológicos y topográficos La sequía en Bolivia.....	12
Ilustración 4 Riesgo de sequía.....	14
Ilustración 5 Datos meteorológicos para los municipios relevantes en el Departamento de Cochabamba	18
Ilustración 6 Mapa geológico de la zona de interés en el Departamento de Cochabamba	20
Ilustración 7 Datos meteorológicos para los municipios relevantes en el Departamento de Santa Cruz .	22
Ilustración 8 Mapa geológico de la zona de interés en el Departamento de Santa Cruz	23

Lista de acrónimos usados

Centro AGUA	Centro Andino para la Gestión y Uso del Agua
COFADENA	Corporación de las Fuerzas Armadas para el Desarrollo Nacional
ECHO	Dirección General de Operaciones de Protección Civil y Ayuda Humanitaria de la Comunidad Europea (Directorate General for Civil Protection and Humanitarian Aid Operations)
EHP	Equipo Humanitario de País
MMAyA	Ministerio de Medio Ambiente y Agua
OCHA	Oficina de Coordinación de Asuntos Humanitarios (Office for the Coordination of Humanitarian Affairs)
SENARI	Servicio Nacional de Riego
SENAMHI	Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología
SISMET	Base de datos oficial de SENAMHI
UNDP	Programa Naciones Unidas de Desarrollo (United Nations Development Program)
VIDECI	Vice Ministerio de Defensa Civil

Resumen Ejecutivo

Este informe presenta los resultados de una misión de expertos internacionales como respuesta a una sequía prolongada sufrida en extensas partes de Bolivia durante el año 2016. Se puso en marcha un programa de perforación de pozos para el abastecimiento de agua potable dirigido a paliar la sequía en diez municipios en los departamentos de Cochabamba y Santa Cruz. Las respuestas de emergencia de corto plazo están coordinadas por el Vice Ministerio de Defensa Civil, aunque el Ministerio de Medio Ambiente y Agua tiene la responsabilidad principal de abastecimiento y el desarrollo de los recursos de las aguas subterráneas a nivel nacional. Las comunidades mismas normalmente operan y gestionan su propio abastecimiento de agua potable.

A principios de 2016, el VIDECI, dependiente del Ministerio de Defensa de Bolivia, solicitó experiencia hidrogeológica para fortalecer el apoyo del Equipo Humanitario de País de la ONU para la mitigación de los efectos de la sequía. El 30 de agosto de 2016, el Mecanismo de Protección Civil de la Unión (UCPM) se activó a petición de la Unidad Conjunta para el Medio Ambiente PNUMA/OCHA (JEU, por sus siglas en inglés), para proveer experiencia técnica en hidrogeología y la extracción de agua de pozo profundo. Posteriormente, dos expertos de la UE llegaron a La Paz, Bolivia, el 8 de Septiembre. La duración prevista de su misión fue de tres semanas.

Las circunstancias hidrogeológicas en Bolivia son complejas. Mientras en gran parte del país las aguas subterráneas están disponibles, los caudales son bajos en acuíferos consolidados y la información detallada sobre los acuíferos normalmente no está disponible, siendo la causa el estado subdesarrollado de los acuíferos o el hecho de que los datos no estén centralizados. Los datos meteorológicos son más accesibles y muestran que la sequía en Bolivia es un fenómeno bastante común y en muchas ocasiones asociada a los años de ocurrencia de El Niño.

Se ha analizado el programa de prospección y perforación y se han hecho recomendaciones específicas para aumentar la probabilidad de éxito en los municipios. Un hallazgo clave es que se puede mejorar el proceso de desarrollo de los recursos de las aguas subterráneas. Se debe prestar mayor atención a las fases de la planificación y la pre-factibilidad de un proyecto para determinar más precisamente las demandas y para evaluar si efectivamente perforar (un) pozo(s) nuevo(s) es la mejor alternativa o si el mantenimiento mejorado de recursos existentes o la captura de aguas superficiales fueran mejores opciones. La falta de registros adecuados y accesibles de exploraciones de aguas subterráneas y perforaciones anteriores conduce a ineficiencia y duplicaciones de esfuerzos. La falta de normas claramente definidas para el desarrollo de aguas subterráneas y perforaciones dificulta garantizar que se realice la obra según un estándar suficientemente alto, muchas veces resultando pozos con pocos años de vida o un caudal bajo.

Descripción de las entidades: JEU y UCPM

La Unidad Conjunta para el Medio Ambiente PNUMA/OCHA (JEU) ayuda a los Estados miembros en la preparación y respuesta a emergencias ambientales mediante la coordinación de los esfuerzos internacionales y los socios, con el fin de ayudar a los países afectados que soliciten ayuda para la movilización. Al vincular la experiencia ambiental del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y la red de respuesta humanitaria coordinada por la Oficina de Coordinación de Asuntos Humanitarios de las Naciones Unidas (OCHA), la JEU garantiza un enfoque integrado en la respuesta a emergencias ambientales.

El Mecanismo de Protección Civil de la Unión Europea (European Union Civil Protection Mechanism, UCPM) tiene como objetivo facilitar la cooperación en la prevención, preparación y respuesta a desastres entre sus 34 Estados participantes (UE-28 y la Antigua República Yugoslava de Macedonia, Islandia,

Noruega, Serbia, Montenegro y Turquía). Con el apoyo de la Comisión Europea, los Estados participantes aúnan recursos y expertos que pueden ponerse a disposición de los países afectados por catástrofes en todo el mundo, así como para posibles operaciones de prevención y preparación ante las mismas. El Mecanismo de Protección Civil de la Unión (UCPM), mediante su Centro de Coordinación de Respuesta a Emergencias (Emergency Response Coordination Centre – ERCC) monitorea asimismo los riesgos y emergencias mundiales 24/7 y sirve como centro de información y coordinación en situaciones de emergencia.

Executive summary

Large areas of Bolivia have suffered from a prolonged drought during 2016. Boreholes are being drilled to provide drought relief by supplying public water in 10 municipalities in the Cochabamba and Santa Cruz departments. This report outlines the main findings of a technical support mission mobilized in September 2016 at the request of the Government of Bolivia to support deep well water extraction. The mission was mobilized through the United Nations Environment Programme / United Nations Office for the Coordination of Humanitarian Affairs Joint Environment Unit, with support of the European Union Civil Protection Mechanism.

The mission found the hydrogeological institutional arrangements in Bolivia to be rather complex. While the Vice Ministry of Civil Defence coordinates short term emergency response, the Ministry of Environment and Water is the lead national institution responsible for water supply and the development of groundwater resources. At the same time, communities normally operate and manage their own supply systems. Despite groundwater being available in large parts of the country, yields from consolidated rock aquifers are low. Detailed information on aquifers is often not available, either due to underdeveloped aquifers or because data is not stored centrally. Meteorological data is, however, more easily accessible and reveals that drought in Bolivia is quite common and often linked to El Niño years.

Having analyzed the public water supply elements of the proposed drought relief program, the mission developed specific recommendations which when implemented could improve the chances of the program's success in target municipalities. The mission's key finding is that Bolivia could improve its general processes of developing and managing groundwater resources. More attention should be placed on the planning and pre-feasibility components of public water supply projects. This would allow national actors to more accurately identify the needs. They could then determine whether drilling of new boreholes is the best alternative, or whether other activities such as improved maintenance of existing resources or surface water capture, would be a better strategy. The mission found that the lack of adequate and accessible records on previous groundwater exploration projects and drilling has led to inefficiency and duplication of efforts on public water supply projects. The lack of clearly defined standards for water resource development and drilling makes it hard to ensure that work is carried out at an adequate standard, which can result in boreholes with a short life-span or poor yield.

Introducción

Muchas áreas de Bolivia han sufrido las consecuencias de la sequía de 2016, asociada con el fenómeno El Niño. La sequía llegó después de varios años secos, y –por eso– está teniendo un gran impacto especialmente en las zonas del Altiplano, Cochabamba y El Chaco cruceño. Se han notado los efectos de la sequía principalmente en el sector agrícola, por ejemplo en la falta de forraje para el ganado. En varias comunidades las fuentes de agua potable no funcionan adecuadamente, aunque no está claro si es consecuencia directa de la sequía. El Gobierno de Bolivia ha tomado un rango de acciones para enfrentar los problemas de las comunidades afectadas. Una de sus acciones, bajo la coordinación del Vice Ministerio de Defensa Civil (VIDECI), fue preparar un programa de perforación de pozos en diez municipalidades, cinco en Cochabamba y cinco en Santa Cruz, véase la Ilustración 1. A través de los mecanismos de coordinación entre el Gobierno Boliviano y el Equipo Humanitario de País (EHP), VIDECI solicitó asistencia a través de la Oficina del Coordinador Residente a la Agencia de Coordinación de Asuntos Humanitarios (OCHA), y OCHA derivó la solicitud a la Unidad Conjunta para el Medio Ambiente PNUMA/OCHA (JEU), JEU activó la solicitud a través de sus redes, la Dirección General de Operaciones de Protección Civil y Ayuda Humanitaria de la Comunidad Europea (ECHO) analizó la solicitud y respondió con el financiamiento de dos expertos en hidrogeología de la Comunidad Europea, para una misión de 3 semanas en Bolivia en septiembre del 2016.

Los términos de referencia de los expertos prevén la colaboración de dichos expertos con las autoridades nacionales, realizando una revisión del trabajo de emergencia en el contexto del desarrollo de aguas subterráneas a nivel nacional. El asesoramiento también tiene como objetivo la definición de las necesidades para hacer frente a las consecuencias tanto a corto como a largo plazo de extracción de agua de pozos profundos y definir las prioridades para soportar la transición de la emergencia a la recuperación, asesorando a los actores responsables a nivel nacional e internacional.

Este informe es un compendio de los resultados del asesoramiento que fue realizado a través de entrevistas con las instituciones involucradas a nivel nacional y regional, entrevistas con expertos en hidrogeología, la revisión de informes existentes y visitas cortas al campo en algunos municipios donde están previstas realizar las perforaciones de pozos.

Para poner el informe en su contexto, en la primera parte del informe se describen brevemente las instituciones involucradas en el desarrollo y en el manejo de sistemas de agua potable en Bolivia. Luego se describe el contexto geológico e hidrogeológico del país, la situación climática y los problemas de sequía. El enfoque del resto del informe está dirigido principalmente a las áreas donde se pueden mejorar las prácticas, a nivel nacional, del desarrollo de aguas subterráneas, con un comentario sobre el trabajo actual de emergencia, aunque limitado por la falta de disponibilidad de datos detallados de las zonas afectadas. Se han hecho recomendaciones de las prioridades en el mediano plazo para mejorar la sostenibilidad de los programas de socorro y también del programa de desarrollo de sistemas de agua potable o riego que está basado en el uso de las aguas subterráneas.

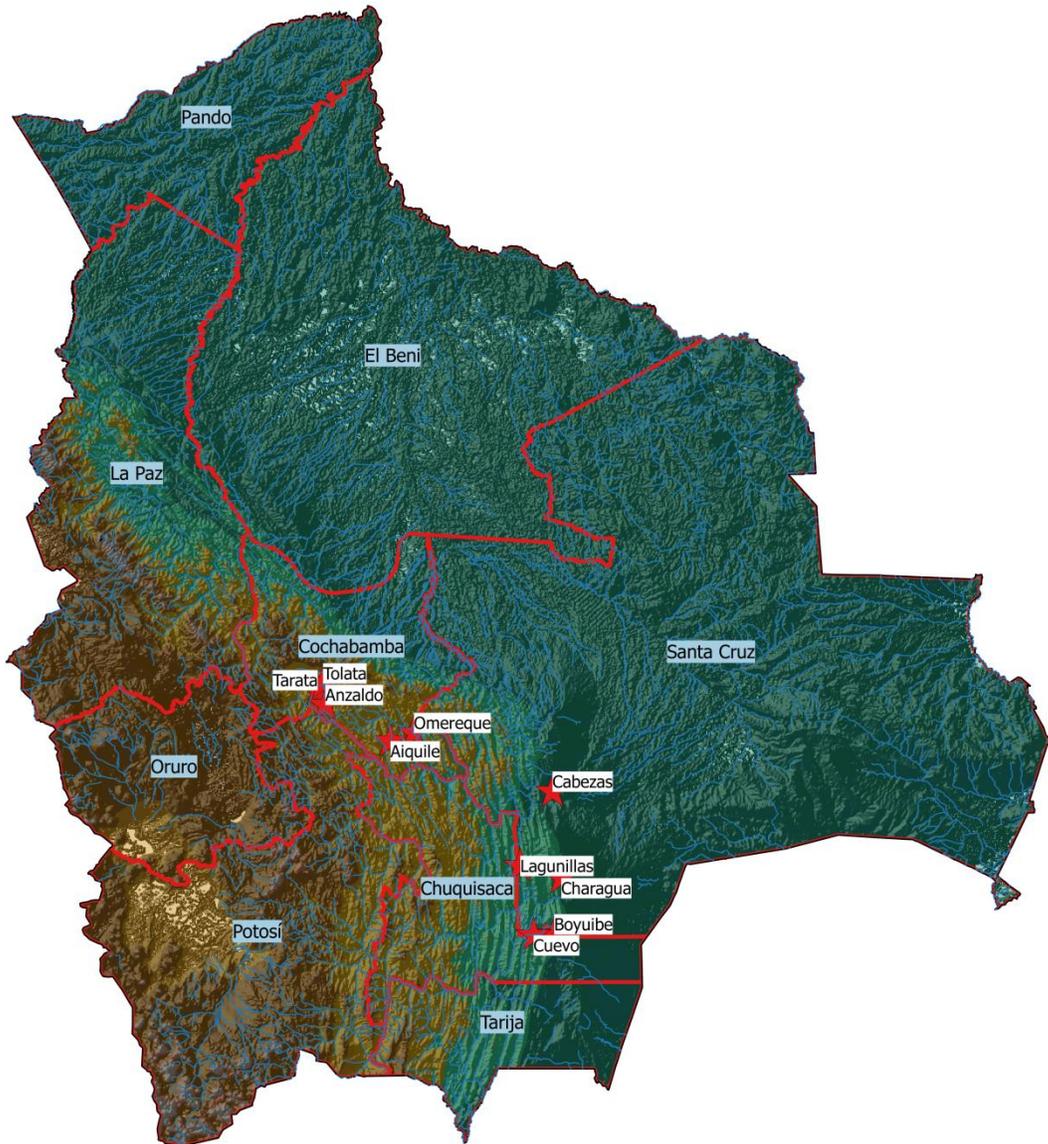


Ilustración 1 Ubicación de perforaciones prevista por VIDECI¹

¹ Datos topográficos y límites administrativos tomados de GeoBolivia, geo.gob.bo

Ámbito institucional de aguas en Bolivia

Para que se pueda entender las responsabilidades en el sector, en esta sección se presentan los roles de las instituciones involucradas, junto a las leyes vigentes y las normas del sector, con información derivada de las páginas web de las mismas.

Instituciones

El **Ministerio de Media Ambiente y Agua (MMAyA)**, creado en 2009, es responsable para la planificación y manejo de recursos hídricos a nivel nacional. Cuenta con tres viceministerios: (i) Agua Potable y Saneamiento Básico, (ii) Recursos Hídricos y Riego y (iii) Medio Ambiente, Biodiversidad, Cambios Climáticos y de Gestión y Desarrollo Forestal. **El Servicio Nacional de Riego (SENARI)** es una entidad pública autárquica bajo la tuición del MMAyA, con la responsabilidad de regular, planificar, gestionar y promover la inversión pública para el desarrollo de riego y la producción agropecuaria y forestal bajo riego. **El Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI)**, también bajo la tuición del MMAyA, es rector de la actividad de monitoreo, registro y procesamiento de información meteorológica, hidrológica, prestando servicios especializados en estos campos. El MMAyA es responsable de programas significantes para el desarrollo de recursos hídricos. Se incluyen tres programas:

- **Mi Riego**, cuyo objetivo global es aumentar el ingreso agropecuario de los hogares rurales beneficiados de una manera sustentable a través de un incremento en la superficie agrícola bajo riego y de un mejoramiento de la eficiencia en el uso y distribución del agua para fines agropecuarios. Las actividades previstas contribuirán a incrementar la capacidad de adaptación al cambio climático en las zonas rurales. Para alcanzar su objetivo y en consistencia con los desafíos identificados, el Programa financiará obras y adquisición de bienes y servicios, estructurado en dos componentes. Componente 1: Inversiones para el Desarrollo de Riego Comunitario con Enfoque de Cuenca; Componente 2: Desarrollo de Estrategias y Mecanismos para la Gestión de Riego con Enfoque de Cuenca.
- El programa **Mi Agua** está financiado por CAF Banco de Desarrollo de América (Mi Agua I; Mi Agua II; Mi Agua III). Busca facilitar la adecuada y oportuna construcción de obras menores de sistemas de riego que permitan incrementar la producción agrícola y la generación de empleo. Otro objetivo es fortalecer la capacidad organizativa y de gestión de los usuarios para la operación y mantenimiento de los sistemas de riego.
- El tercer programa, **Mi Pozo**, consiste en la perforación de pozos con el uso de 47 máquinas para aumentar las capacidades nacionales en este sentido.

El **Ministerio de Planificación del Desarrollo** y el **Ministerio de Desarrollo Rural y Tierras también** están involucrados en el manejo de cuencas, normas para riego y la protección de la calidad de agua.

El **Vice Ministerio de Defensa Civil (VIDECI)**, que forma parte del **Ministerio de Defensa**, usa el **Sistema Nacional de Reducción de Riesgos** y Atención de Desastres y/o Emergencias a nivel nacional, departamental y municipal (**SISRADE**). Su objetivo es evitar o mitigar la pérdida de vidas humanas, bienes, materiales y el deterioro del medio ambiente, por efecto de emergencias y desastres naturales, tecnológicos y antrópicos, incluyendo en éste las sequías y las inundaciones, por lo que está involucrada en acciones para mantener el suministro de agua durante emergencias. En varias de sus acciones VIDECE contrata como implementadores a empresas privadas o a la **Corporación de las Fuerzas Armadas para el Desarrollo Nacional (COFADENA)**, una empresa militar con capacidad para realizar obras de construcción civil, prospección y perforación de pozos.

El **Servicio Geológico y Minero (SERGEOMIN)** es una institución estatal descentralizada bajo la órbita del Ministerio de Minería, cuyo objetivo principal es generar la información geológica básica del país y asistir en el desarrollo de recursos minerales. También realiza investigaciones hidrogeológicas.

A nivel departamental también existen instituciones con sus enfoques al agua. En el Departamento de Santa Cruz existe la **Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo**. Sus funciones son promover la preservación, conservación, protección, manejo y aprovechamiento sostenible e integral de los recursos naturales y la calidad ambiental y consolidar el manejo y protección de las áreas protegidas. Es de la competencia de dos servicios; (i) el **Servicio Departamental de Aguas (PROASU JICA)**, para contribuir a gestionar el manejo racional de los recursos hídricos superficiales y subterráneos, considerando alternativas sostenibles de su uso, para la conservación de su calidad y aprovechamiento adecuado, por parte de la población del Departamento, en consideración del territorio rural y urbano. También tiene como función incrementar y mejorar la infraestructura física de los sistemas de riego y pozos de agua en el Departamento de Santa Cruz, y (ii) el **Servicio Departamental de Cuencas (SEARPI)** que responde a la demanda de la prevención, rehabilitación y reconstrucción que se genera en la gestión de riesgos relativos a los ríos, para mejorar el comportamiento hidráulico con la finalidad de proteger a las poblaciones asentadas en las cuencas de los ríos del Departamento de Santa Cruz.

En Cochabamba prestan funciones similares. Bajo la [Dirección de Recursos Naturales y Medio Ambiente](#) existe la **Dirección de Planificación y Gestión Integral del Agua**, una instancia dedicada a la construcción de políticas públicas de gestión de cuencas y agua. Su tarea principal es ejercer el rol de autoridad de planificación y gestión del agua en Cochabamba. El **Servicio Departamental de Cuencas**, con el programa de **Manejo Integral de Cuencas (PROMIC)**, es la instancia que busca reducir los daños causados por las inundaciones periódicas en el valle de Cochabamba, implementando proyectos de manejo integral de cuencas en micro cuencas priorizadas. También existe una **Dirección de Riego**, bajo el **Secretario de Desarrollo Productivo y Economía**.

Los municipios tienen la responsabilidad de operación y mantenimiento de sus sistemas de agua, por parte de empresas o cooperativas de agua en ciudades más grandes, en forma directa o por comités de agua en comunidades pequeñas. Los municipios pueden solicitar fondos para el desarrollo de sus sistemas a través de sus propios recursos o a través de programas a nivel departamental o nacional (por ejemplo el programa 'Mi Agua').

También existen varias ONG e instituciones académicas que brindan conocimientos e inversión al sector, entre otras la **Universidad Mayor de San Andrés (La Paz)**, la **Universidad Mayor de San Simón (Cochabamba)**, con su **Centro de AGUA**, y la **Universidad Mayor Real y Pontificia San Francisco Xavier (Sucre)**. Todas se dedican a estudios de las aguas subterráneas.

Leyes y normas relevantes

La normativa legal vigente para el manejo y uso del agua en Bolivia² es:

- Ley de aprovechamiento y dominio de Aguas (1906)
- Ley de prohibición de negar el aprovechamiento de agua destinada a explotaciones agropecuarias (1945)
- Reglamento de aguas para irrigación. Decreto Supremo 2010-67 (1967)
- Ley del Medio Ambiente (1993)
- Ley INRA (1996)
- Ley de Servicios de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario (2000)
- Ley de Riego (2004)
- Ley Marco de Autonomías y Descentralización (2010)

Como la ley clave en el sector, la Ley de aprovechamiento y dominio de Aguas, es del año 1906, hubo un número de propuestas para modernizar las leyes de agua a nivel nacional, pero hasta la fecha ninguna de estas propuestas fue aprobada. El motivo aparente es que hay una variedad de demandas desde los diferentes sectores involucrados que no pueden ser consensuadas.

Existe una norma, la NB689, de 1994, “Instalaciones de Agua – Diseño para Sistemas de Agua Potable”³ para el diseño y construcción de sistemas de agua potable. La norma establece los criterios técnicos de diseño de sistemas de agua potable de carácter público y/o privado, en el área urbana, peri-urbana y rural del país, para obtener obras con calidad, seguridad, durabilidad y economía; y de esa manera, contribuir al mejoramiento del nivel de vida y salud de la población. Aunque incluye prácticas para la selección de fuentes de agua y perforación de pozos, se centra sobre todo en las redes de distribución. Faltan detalles para asegurar estudios de sostenibilidad de fuentes, o de la calidad de construcción de pozos.

Otras normas significativas para el sector son:

- Norma Boliviana NB 512, Agua Potable – Requisitos; Reglamento Nacional para el Control de la Calidad de Agua para Consumo Humano;
- Norma Boliviana NB 688, Diseño de Sistemas de alcantarillado sanitario y pluvial y sus reglamentos;
- Reglamentos de Presentación de Proyectos de Agua Potable y saneamiento;
- Metodologías de Preparación y Evaluación de Proyectos; y
- Reglamento Nacional de Prestación de Servicios de Agua.

No existen normas formales y detalladas para el desarrollo y manejo de aguas subterráneas ni para la perforación de pozo, aunque el Comité de Agua en Santa Cruz propuso un documento preliminar de normas regionales para el desarrollo de este último, todavía no fueron consensuadas ni publicadas.

² http://www.fao.org/nr/water/aquastat/countries_regions/bol/indexesp.stm

³ <http://www.anesapa.org/wp-content/uploads/2014/07/NB689AguaPotableREGLAMvol02.pdf>

Aguas subterráneas en Bolivia

Geología

La geología de Bolivia (véase Ilustración 2) está dominada por las estructuras de las montañas andinas. La parte más alta es la Cordillera Occidental, un altiplano con rocas de origen volcánico, albergando algunos volcanes activos en la actualidad. Al este del Altiplano la Cordillera Central forma un sistema de valles y montañas, con batolitos intrusivos en rocas sedimentarias y de origen volcánico. Más al este, y a menor altitud, se encuentra la Cordillera Oriental, que se caracteriza por cadenas paralelas que despliegan de norte a sur. En la Cordillera Oriental aparecen materiales paleozoicos elevados por la intensa actividad tectónica. Aquí también afloran coberturas sedimentarias y materiales ígneos posteriores.

Las bajuras orientales en los departamentos de Santa Cruz, Chuquisaca, y Tarija son antiguas cuencas sedimentarias del Paleozoico que contienen valiosas reservas de hidrocarburos y una cobertura gruesa de sedimentos de edad cuaternaria. Al este de los llanos de Santa Cruz, cerca de la frontera con Brasil se encuentra el escudo de Guaporé. Este escudo, compuesto de rocas cristalinas precámbricas, es la macrounidad geológica más antigua de Bolivia ⁴

Hidrogeología

Al nivel nacional hay tres cuencas principales en Bolivia. La cuenca más grande, cubriendo el 66% de la superficie total del país, está en el parte norteña del país donde las vertientes superficiales forman parte de la cuenca del Amazonas o Norte. La cuenca del Plata o sur drena hacia el río Plata. Esta cuenca cubre 21% de la superficie del país. El Altiplano de Bolivia y la Cordillera Occidente forman la Cuenca Lacustre o central, cubriendo el 13% de la superficie total del país.

Las aguas subterráneas se encuentran en las rocas volcánicas y sedimentarias del país, aunque los acuíferos más desarrollados están en los materiales no-consolidados de los valles y los llanos, especialmente en las áreas de Cochabamba y Santa Cruz. Las obras de perforación y prospección en los acuíferos no consolidados, que coinciden con las zonas de mayor demanda, a veces son más sencillas de realizar que en los acuíferos consolidados.

Las aguas subterráneas suministran solo el 5% de agua para el riego a nivel nacional, pero el 100% de la demanda de agua potable en ciudades importantes como Santa Cruz y Trinidad, y en bastantes municipios más pequeños.

Durante la duración de la misión no se ha podido encontrar mucha información sobre la extensión de acuíferos o su comportamiento a nivel nacional. Hay un mapa hidrogeológico a escala 1:2.000.000 publicado por SERGEOMIN como parte de un programa de cooperación técnica con la organización alemana BGR entre 1991 y 2000 y mapas a escala 1:250,000 de áreas de Cochabamba y Tarija. Existen algunos datos sobre pozos perforados en los bancos de datos de SERGEOMIN - el Sistema Hidrogeológico de Bolivia (SHIBO) y de MMAyA - el Sistema de Información de Agua Subterránea de Bolivia (SIASBO) pero no son completos y están limitados a los datos de sus propios proyectos y de algunos estudios académicos. La mayoría de los pozos desarrollados por municipios y entidades privadas no están documentados.

⁴ https://es.wikipedia.org/wiki/Geolog%C3%ADa_de_Bolivia

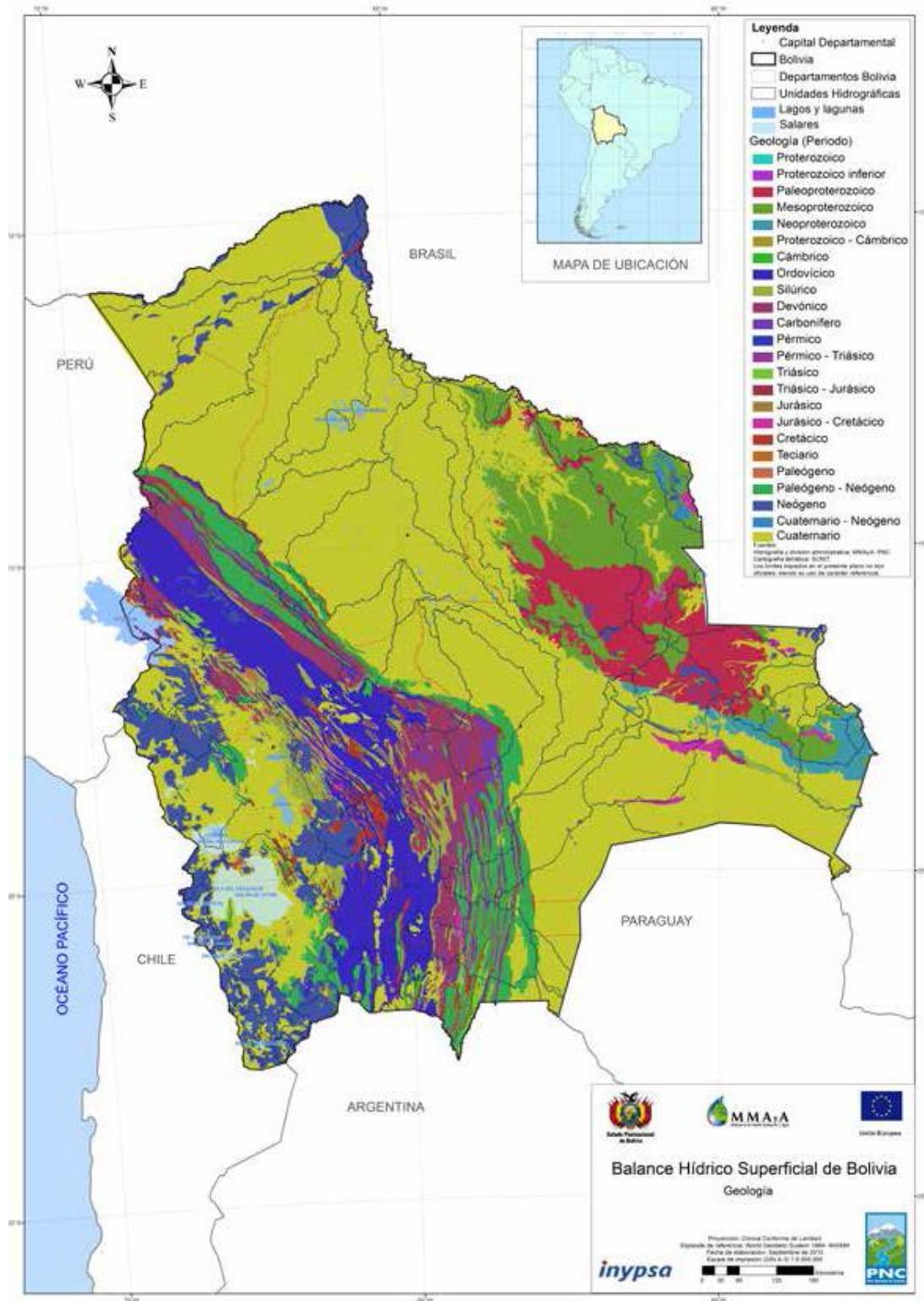


Ilustración 2 Geología de Bolivia⁵

⁵ <http://www.riegobolivia.org/zpanel/web/web.php?smodule=biblio&accion=downloadDoc&id=18194>

Datos climáticos y meteorológicos

En este párrafo se presentan los datos climáticos y meteorológicos más relevantes. Los cuatro mapas de la Ilustración 3 presentan 4 parámetros: arriba a la izquierda la precipitación media anual (mm), arriba a la derecha la temperatura media anual (°C), abajo a la izquierda la evapotranspiración media anual (mm). No se sabe qué periodo cubren los valores medios.

Finalmente abajo a la derecha se muestra la topografía de Bolivia. Se ve que más de la mitad de Bolivia, la parte norte, noreste y este, está debajo de los 800 msnm. Hacia el sureste sube la elevación hasta más de 6.500 m (Nevado Sajama).

En las ilustraciones se ve que la temperatura es máxima en la zona noreste. Allí la temperatura media anual está entre 25 y 27 °C. No es sorprendente que existe una relación estricta entre la altitud y temperatura media. En las zonas más altas del país la temperatura media anual está entre 0 y 3 °C.

La precipitación máxima sobrepasa los 5,000 mm/año, en la zona al noreste de Cochabamba. En general se puede decir que la precipitación es máxima en las regiones de los llanos tropicales (altura promedio de 330 msnm) y de la Amazonia en el norte y el noreste y es mínima en la región Andina con una altura promedio de 3,800 msnm. Los valores intermedios se encuentran en la zona de los Valles con una altura promedio de 2,390 msnm. Cabe mencionar que la zona de Cochabamba, ubicada entre la cordillera de los Andes y la cuenca amazónica tiene un clima templado mientras el Chaco, en el sureste del país, tiene un clima semi tropical, semiárido.

Como es de esperar, también existe una relación entre la altitud y la evapotranspiración y entre la temperatura y la evapotranspiración. En las zonas norestes del país, con relativamente bajas altitudes y altas temperaturas, los valores de la evapotranspiración son máximos. Los valores mínimos se encuentran en el rincón sureste, donde la altitud es máxima y la temperatura mínima.

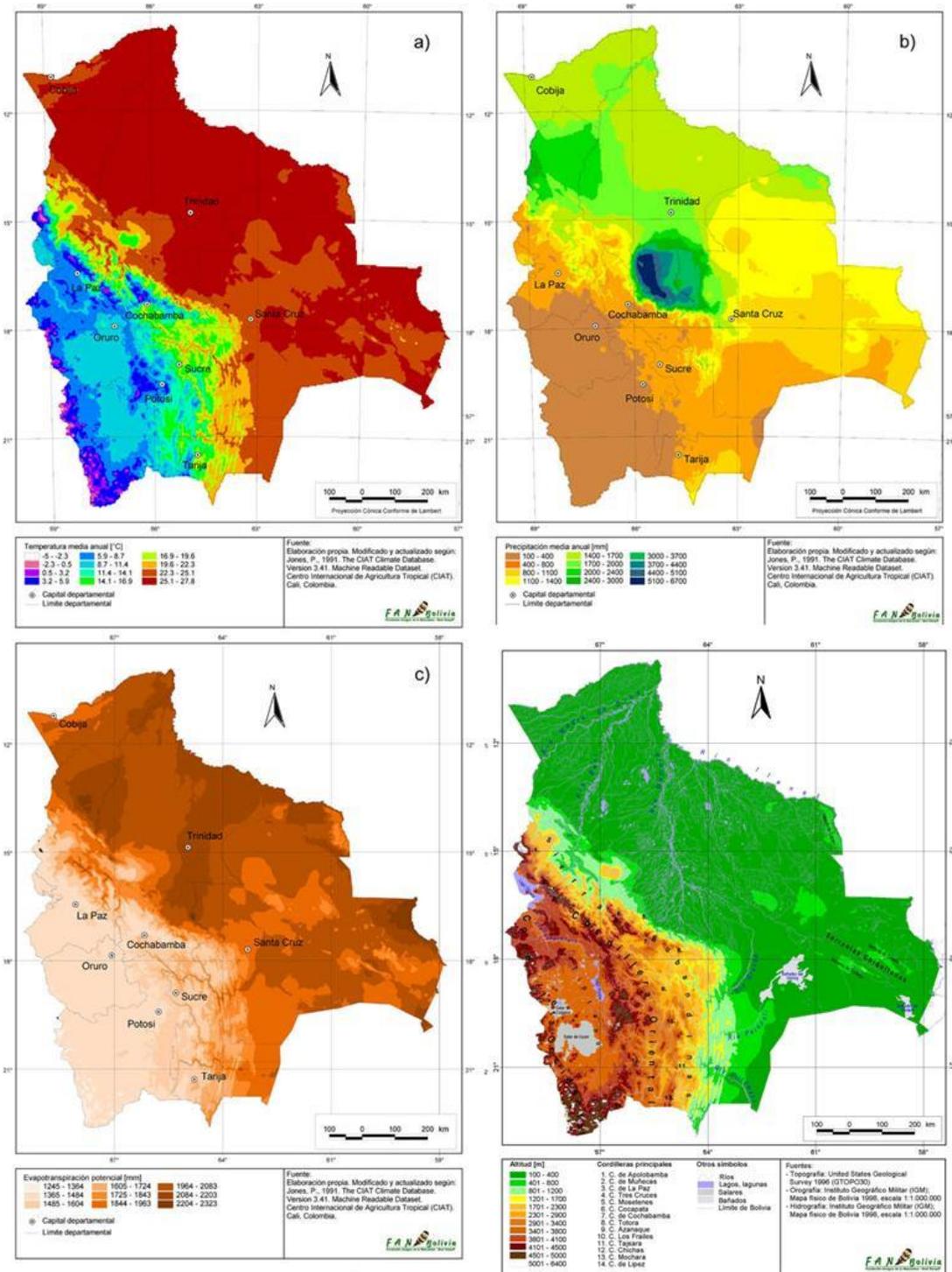


Ilustración 3 Datos meteorológicos y topográficos⁶ La sequía en Bolivia

⁶ <http://www.fan-bo.org/>

Historia

La sequía no es un fenómeno nuevo en Bolivia. Se ha sugerido que el colapso de la cultura Tiwanaku, sobre A.D. 1100, en el altiplano Boliviano podría haber sido causado por una sequía, resultado de cambios climáticos⁷.

Los años 1877 y 1878 eran muy secos. El déficit de lluvia comenzó a finales de 1877 y persistió durante 1878, generando una dramática sequía que redujo en aproximadamente 50% la producción de trigo y maíz. La hambruna fue agravada por la aparición de enfermedades y epidemias asociadas a la sequía. Alrededor del 30% de la población indígena del Departamento de Cochabamba murió de inanición en 1878. En los siglos XX y XXI, las sequías representaban el 10% de los desastres registrados en el país, aunque inundaciones, desplazamientos y eventos sísmicos resultaron en más pérdidas de vidas directas⁸. La Tabla 1 presenta un resumen con unos datos relevantes asociados a El Niño.

Tabla 1 Datos históricos de El Niño^{9,10}

Ano	Zona	Personas afectadas	Daños económicos
1982-1983	Chuquisaca, La Paz, Cochabamba, Oruro, Potosí y Tarija.	1.5 millón	> 900 millón \$US
1997-1998	Chuquisaca, La Paz, Cochabamba, Oruro, Potosí y Tarija.	-	> 500 millón \$US
2001	Chuquisaca, La Paz, Cochabamba, Oruro, Potosí	175,000	-
2004	El Chaco	195,000	-
2008 -2010	El Chaco, La Paz, Cochabamba	160,000	-
2015 -2016	Nacional	735,000	>150 millón US\$

La Ilustración 4 muestra la ocurrencia de sequías meteorológicas en un periodo de retorno de 30 años, combinando la aridez de las regiones climáticas con la probabilidad de ocurrencia de sequías, a base de datos meteorológicos, identificando áreas de mayor afectación y otras de menor ocurrencia. Cabe mencionar que El Altiplano está en el sur-oeste del país donde la sequía tenía su mayor intensidad. En esta área la sequía es un fenómeno relativamente normal. Como es una zona de poca población, las consecuencias de la sequía no recibieron mucha atención. El enfoque humanitario está dirigido más hacia áreas más densamente pobladas, como El Chaco, con poblaciones concentradas y actividades económicas

7 Climate Variation and the Rise and Fall of an Andean Civilization ,

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0033589497918822>

8 Ochenta y cinco años de la historia de desastres en Bolivia (1920-2005),

http://www.revistasbolivianas.org.bo/scielo.php?pid=S1995-10782011000200004&script=sci_arttext&lng=en

9 PLAN NACIONAL DE CONTINGENCIAS Componente: Sequías,

<http://saludpublica.bvsp.org.bo/cc/bolp.016/documentos/doc763-contenido.pdf>

¹⁰ Reliefweb, <http://reliefweb.int/disasters>

(siembra de maíz, ganadero etc.) con alta vulnerabilidad a sequía. En estas áreas, el impacto económico y humano es significativamente mayor.

En los últimos años, el impacto en la agricultura y el medio ambiente formaban el foco principal de los estudios de sequía en Bolivia, y no se tomaban en cuenta los efectos sobre las aguas subterráneas.

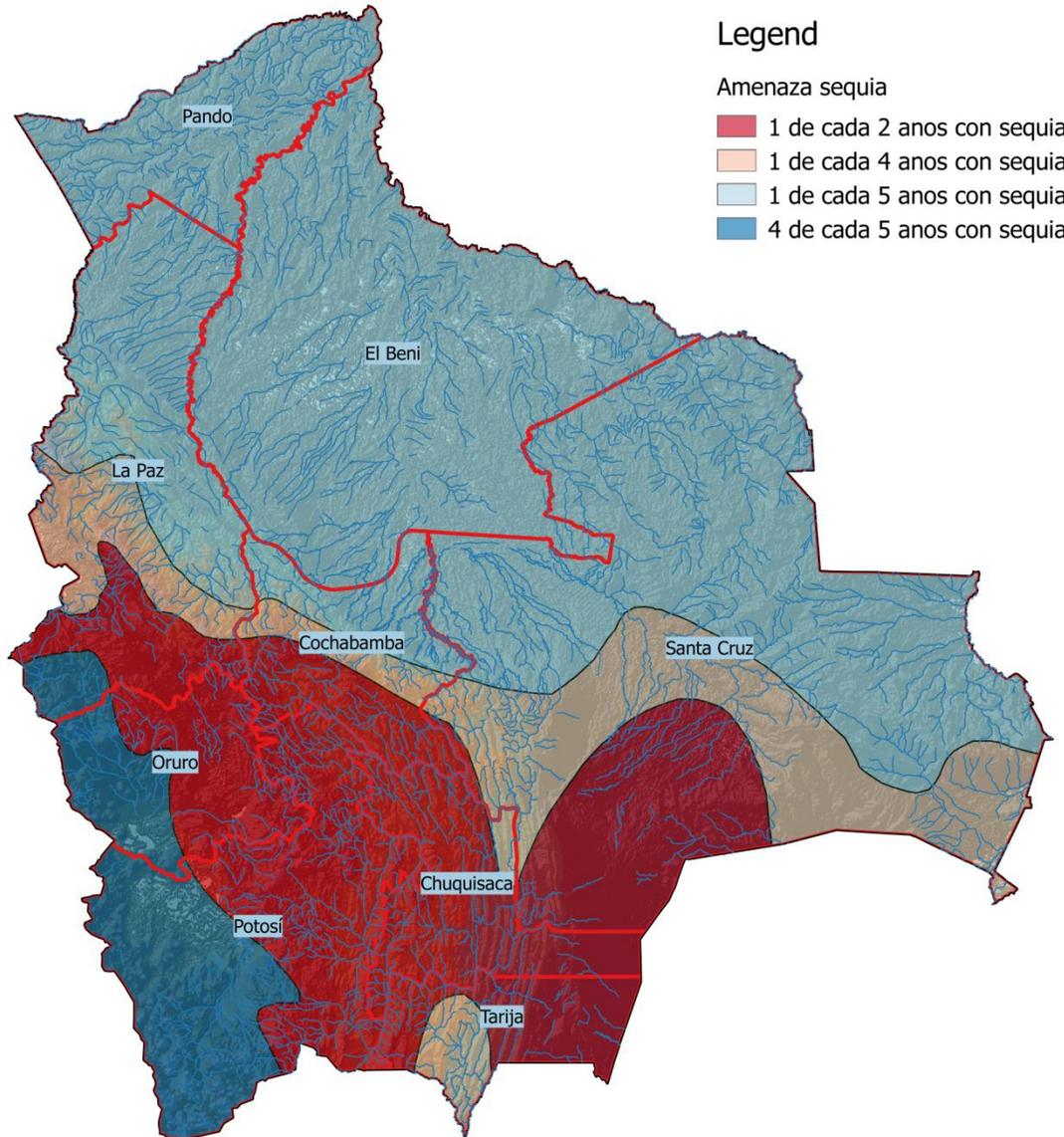


Ilustración 4 Riesgo de sequía¹¹

¹¹Publicado en el Atlas de riesgo agropecuario y cambio climático por la Unidad de Contingencia Rural (UCR) con datos del Sistema Nacional de Seguridad Alimentaria Alerta Temprana - Sinsaat del año 2002 , geo.gob.bo

Influencia de El Niño sobre sequía

El Niño es el calentamiento de las aguas del océano pacífico llegando a producir intensas lluvias en algunas zonas, mientras que en otras sequía e incluso olas de calor.

En Bolivia El Niño se manifiesta, no solo este año, sino también en muchas ocasiones anteriores, en forma de lluvias excesivas en las zonas del norte y noreste. Esas lluvias conducen a inundaciones. En las zonas montañosas hay sequías, lo que significa un retiro de los glaciares, con los cambios ulteriores en la disponibilidad de agua. Tanto las lluvias y las sequías tienen como consecuencia las pérdidas de vidas.

La Tabla 2 presenta los efectos del fenómeno ENOS (El Niño Oscilación del Sur) en Bolivia.

Tabla 2 Efectos zonales del fenómeno El Niño¹²

Altiplano	<ul style="list-style-type: none">• Norte, aumento leve en la temperatura ambiente (alrededor de 1° C)• Central, aumento alrededor de 2,5° C en promedio• Sur, aumento mínimo de la temperatura ambiente
Valles	<ul style="list-style-type: none">• Temperatura, tendencia a la disminución en octubre, noviembre y diciembre, e incremento en enero, febrero y marzo
Llanos	<ul style="list-style-type: none">• Oriental norte y sur tendencia de lluvia menor al promedio• Central, tendencia de lluvia mayor al promedio

En un informe de 2005¹³ presenta un cálculo de los daños causados por El Niño de 1997 – 1998. El daño directo ascendió a 213,1 millones US\$, los daños indirectos a 314,2 US\$. De estos daños, 53% fue a causa de la sequía y el 47% por inundaciones.

La sequía del 2016

Una intensa sequía, la más grave en los últimos 25 años, está golpeando a Bolivia: cerca de 135.000 familias, más de 207.000 hectáreas de diversos cultivos y 277.000 cabezas de ganado están en riesgo. Se calcula que las pérdidas en el este del país, donde se cosecha el 70% de los alimentos que se consumen (y se exportan) en el país, ascenderán a más de 500 millones de dólares. Durante los inviernos anteriores, en el oriente del país (sobre todo, los departamentos de Beni, Pando y Santa Cruz) se registraban precipitaciones en torno a los 500 litros de agua por metro cuadrado. En el año 2016, hasta la fecha las precipitaciones apenas han rozado los 90 litros por metro cuadrado.

¹² Salamanca Pozuelo, L.A., Documento país Bolivia, PROPUESTA PARA EL VI PLAN DE ACCIÓN DEL PROGRAMA DIPECHO, Octubre 2008

¹³ Chuquisengo Vásquez, El fenómeno El Niño en Perú y Bolivia, 2005

Acciones contra la sequía del 2016

En agosto del 2016 el gobierno Boliviano anunció, a través de 12 decretos supremos¹⁴ destinados a paliar los efectos de la sequía y mejorar las condiciones del sector productivo agropecuario. Los decretos incluyen, entre otras, medidas para mejorar sistemas de riego.

- El Decreto 2852 del programa nacional "Nuestro Pozo" crea la Unidad Ejecutora de Pozos (UE – Pozos), un programa nacional que provee en 47 perforadoras para buscar y garantizar agua.
- El Decreto 2853 tiene que ver con la exención del pago total de tributos de importación a la donación de mercancías a favor del Ministerio de Medio Ambiente, con la finalidad de liberar maquinaria destinada a perforación.
- El Decreto 2855 tiene por objeto implementar acciones inmediatas orientadas a atender las afectaciones por sequía en el territorio nacional, para lo cual se autoriza a las entidades públicas la contratación directa de obras, bienes y servicios y la transferencia público-privada y transferencias público-público
- El Decreto 2856 establece de manera excepcional y por única vez mecanismos de apoyo a productores agrícolas de pequeña escala, comunitarios e indígena originario campesinos con la dotación de agua.

Como parte de Decreto 2855 está prevista la perforación de 20 pozos para agua potable en 10 de los municipios más afectados por la sequía, 5 en el Departamento de Cochabamba y 5 en el Departamento de Santa Cruz, coordinada por VIDECI. La selección de las áreas priorizadas dentro de cada municipio se ha hecho con base en las necesidades de los municipios. Los pozos serían utilizados para llevar agua a las comunidades sin sistemas existentes o para aumentar y mejorar los sistemas existentes. No está claro si la sequía es la única causa de la falta de agua, aunque sí está claro que la sequía empeora gravemente el funcionamiento correcto de los sistemas donde faltan inversiones o mantenimiento.

VIDECI contrató a COFADENA para realizar:

- a) la prospección para ubicar los pozos, con un enfoque al uso de tomografía geo-eléctrica como apoyo en la selección de los sitios,
- b) la perforación de pozos pilotos y definitivos en los sitios elegidos. Aunque está previsto un programa rápido de prospección y perforación, es inevitable que los procesos de licitación, contratos, prospección y movilización de maquinaria de perforación demoren hasta unos meses la terminación y el equipamiento de los sistemas.

Hasta la fecha de este informe, COFADENA ha ejecutado la fase de prospección en el campo en los 5 municipios de Cochabamba, y en 3 de los 5 en Santa Cruz. Únicamente, para dos municipios de Santa Cruz los trabajos han sido documentados en un informe preliminar.

¹⁴ <http://www.planificacion.gob.bo/libraries/pdf.php?noticia=MTYxNw==&related=PLANIFICACION>

Obras en el Departamento de Cochabamba

En cinco municipalidades está prevista la perforación de pozos para aliviar el impacto de la sequía del 2016 por parte del Decreto 2855. La Tabla 3 muestra ese impacto.

Tabla 3 Impactos de El Niño en los municipios relevantes en el Departamento de Cochabamba¹⁵

Municipio	Población	Casas con agua potable por la red pública	% Población afectada por la sequía	Hectáreas afectadas por el sequía
Aiquile	22,853	60%	66%	3,524
Anzaldo	7,192	41%	Cerca 100%	1,471
Omereque	5.643	62%	Cerca 100%	849
Tarata	8.242	69%	46%	878
Tolata	5.542	35%	82%	238

Datos climáticos y meteorológicos de Cochabamba

Para el análisis de los datos de precipitación y evapotranspiración de los municipios de Aiquile, Anzaldo y Tarata, se han usado los datos mensuales proporcionados por SISMET. Para los municipios de Omereque y Tolata no se encontraron datos en el banco de datos de SISMET.

La Ilustración 5 presenta los datos anuales medios para las tres estaciones meteorológicas del Departamento de Cochabamba: Aiquile, Anzaldo y Tarata. Las gráficas a mano izquierda representan los datos anuales, mientras las a mano derecha muestran la distribución de la precipitación mensual media. Las columnas azules representan la precipitación (P), las rojas la evapotranspiración total según Hargreaves (EVP), ambas en mm. Valores ausentes para la precipitación o evapotranspiración anuales significan que no se ha registrado los datos durante todo el año. Todos los datos mensuales sacados de SISMET están incorporados en el Anexo 1.

La parte izquierda de la figura muestra que durante los 70 años en que se registraron datos meteorológicos en Aiquile y Anzaldo no se puede indicar periodos de sequía. Sin embargo, en Tarata, con datos de 1957 – 2015, la tendencia es distinta. Manifiesta que después del periodo de precipitación elevada (1973 y 1988, precipitación promedio 950 mm/a) empezó un periodo relativamente seco con un valor anual de entre 300 y 600 mm. No es de sorprender que esta reducción lleve a problemas con la gestión del agua.

Además, tanto en el balance anual como en el balance mensual se puede observar que la EVP traspasa la P, una situación muy desfavorable para una gestión hídrica sostenible.

Por último, se puede definir el periodo seco en estos municipios de abril – octubre con una P media de menos de 50 mm.

¹⁵ Datos del Censo de 2012 y VIDECI

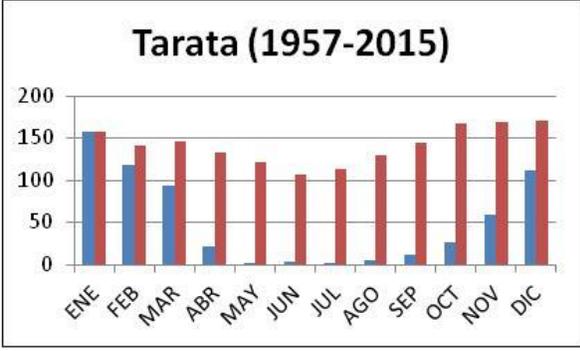
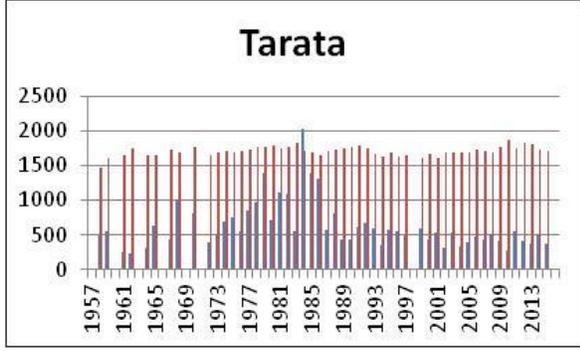
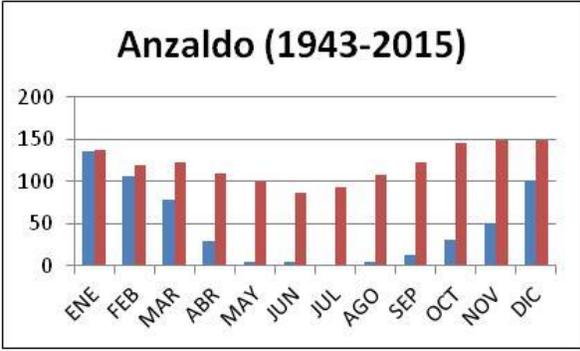
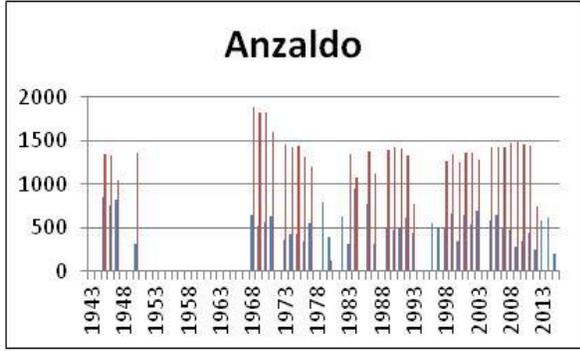
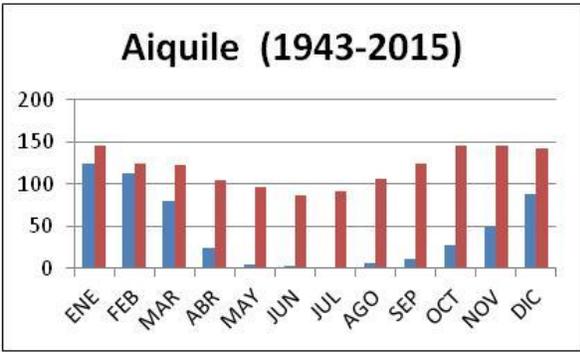
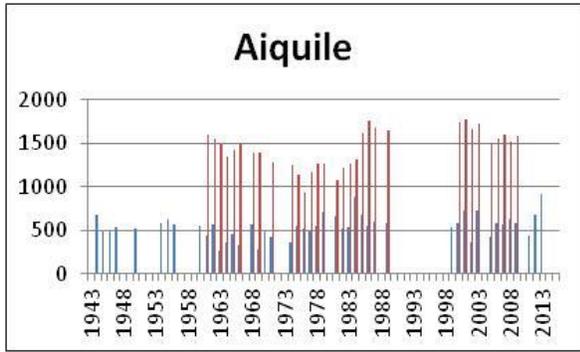


Ilustración 5 Datos meteorológicos para los municipios relevantes en el Departamento de Cochabamba¹⁶

¹⁶ SISMET, <http://www.senamhi.gob.bo/sismet/>

Hidrogeología - Cochabamba

Tolata y Tarata están ubicados en el Valle Alto de Cochabamba, que está constituido por material cuaternario. La geología y el comportamiento hidrogeológico del valle están relativamente bien conocidos, gracias a estudios académicos en varias de sus municipalidades. La ilustración 6 muestra en detalle la geología en esta zona. Sabemos que los sedimentos gruesos en los abanicos aluviales, en los márgenes del valle, tienen rendimientos altos. En el subsuelo más hacia el centro del valle, y hasta su punto de descarga natural en el noreste, aumenta tanto la proporción de arcilla como la salinidad del agua subterránea, convirtiéndolo en zonas menos interesantes para el uso de sus aguas. Aunque en principio los abanicos son buenos sitios para el desarrollo de aguas subterráneas, la alta densidad de pozos por riego ha bajado los niveles estáticos de forma inquietante, por lo que el rendimiento de pozos está reducido. Se puede entender que cuantos más pozos se construya aquí, más rápido baje el nivel de las aguas subterráneas.

En las otras tres municipalidades el desarrollo de aguas subterráneas está limitado, ya que los pocos datos hidrogeológicos indican que son zonas difíciles para el desarrollo de aguas subterráneas: en Anzaldo la geología está dominada por rocas paleozoicas, con una permeabilidad baja. La única posibilidad de desarrollo de aguas subterráneas sería encontrar zonas de rellenos aluviales, o áreas fracturadas por movimientos tectónicos. Omereque y Aiquile se encuentran en un área de rocas de edad Devónica/Carbonífera, con areniscas y lutitos. En las partes bajas de los valles se puede encontrar rellenos de aluvión cuaternario de poco espesor, pero probablemente existen zonas de rocas fracturadas donde sacar un caudal significativo.

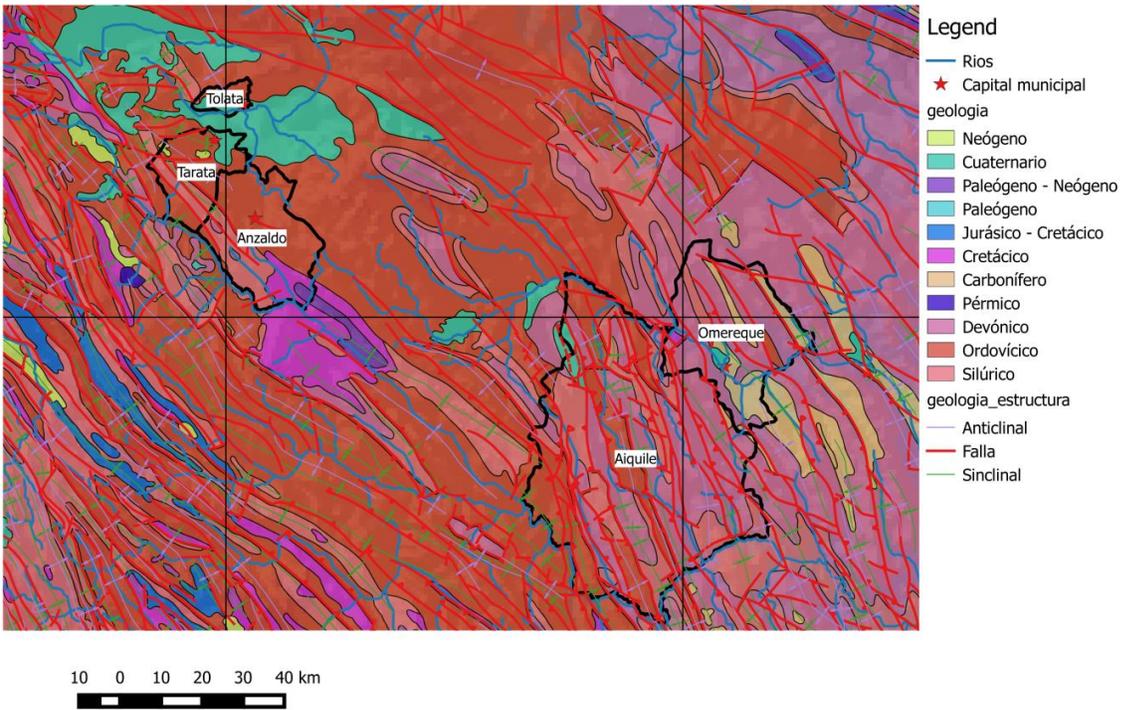


Ilustración 6 Mapa geológico de la zona de interés en el Departamento de Cochabamba¹⁷

Obras en el Departamento de Santa Cruz

En cinco municipalidades está prevista la perforación de pozos para aliviar el impacto de la sequía del 2016 por parte del Decreto 2855. La Tabla 4 muestra ese impacto.

Tabla 4 Impactos de El Niño en los municipios relevantes en el Departamento de Santa Cruz¹⁸

Municipio	Población	Casas con agua potable por la red pública	% Población afectada por la sequía	Hectáreas afectadas por el sequía
Lagunillas	5,363	61%	Circa 100%	N.D
Cuevo	5,052	74%	Circa 100%	N.D
Cabezas	26,434	57%	N.D	N.D
Boyuibe	5,087	72%	54%	N.D
Charagua	32,186	45%	74%	N.D

¹⁷ Datos de SERGEOMIN, <http://geo.gob.bo/>

¹⁸ Datos del Censo de 2012 y VIDECI

Datos climáticos y meteorológicos de Santa Cruz

SISMET dispone de datos meteorológicos para cuatro de los cinco municipios en el Departamento de Santa Cruz: Boyuibe, Cabezas, Charagua y Lagunillas. Para Cuevo no se han registrado datos.

La estructura de la Ilustración 7 con los datos meteorológicos es igual a la de la Ilustración 5: las gráficas a mano izquierda representan los datos anuales, mientras las a mano derecha muestran la distribución de la precipitación mensual media. SISMET no dispone de datos de EVP para los municipios de Santa Cruz.

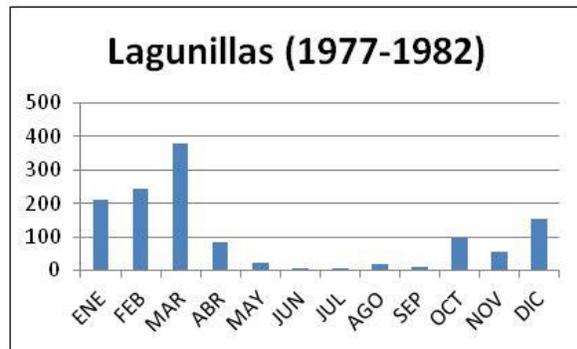
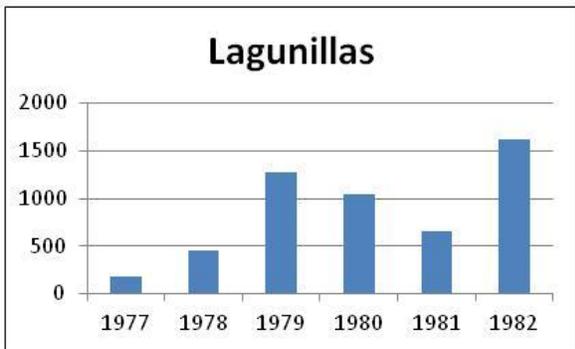
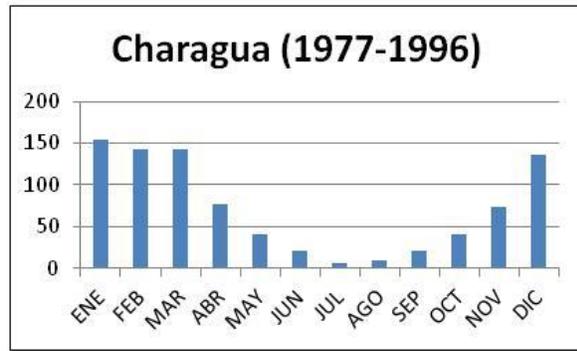
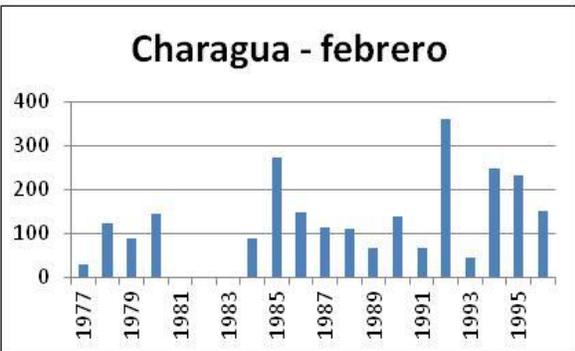
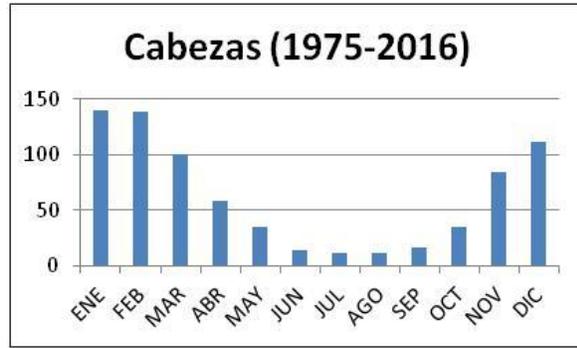
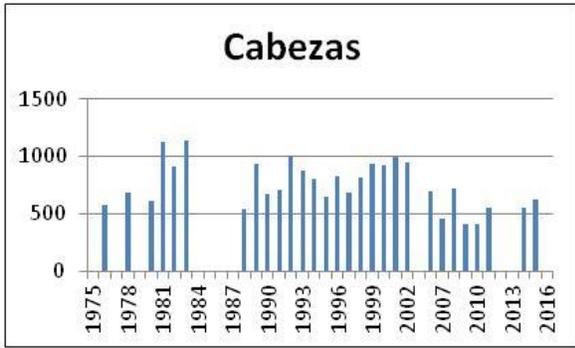
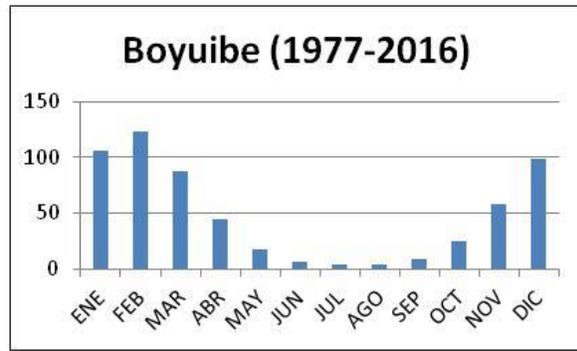
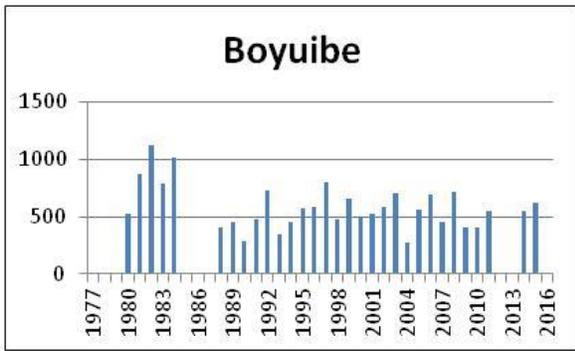


Ilustración 7 Datos meteorológicos para los municipios relevantes en el Departamento de Santa Cruz ¹⁹

Al analizar las gráficas saltan a la vista dos cosas: (i) el periodo seco es de abril hasta octubre y (ii) en Lagunillas la precipitación es mucho más alta que en los otros municipios. Aquí hay que anotar que para Lagunillas solamente se han registrado datos de precipitación durante los años 1977 – 1982. Sí aislamos

¹⁹ SISMET, <http://www.senamhi.gob.bo/sismet/>

los datos para los otros municipios para este periodo de 6 años sí cambia ligeramente la distribución (véase el anexo 1), pero aun así Lagunillas cuenta con una precipitación mucho más alta.

Hidrogeología – Santa Cruz

La parte oeste del Chaco cruceño está demarcada por un sistema de anticlinales y sinclinales en rocas del paleozoico (los extremos de la Cordillera Oriental), como se puede observar en la Ilustración 8. En los valles se podría desarrollar una profundidad media de material cuaternario con capas de arena y arcilla, pero depende de la estructura geológica. Estas capas podrían suministrar agua, aunque en las serranías perforación sería en roca, y por la presencia de arenitas finas se podrían necesitar pozos de gran profundidad para encontrar un rendimiento adecuado. Los pozos previstos en Lagunillas, Cuevo, y por lo menos uno de los sitios en Cabezas se encuentran en este tipo geológico.

Los otros municipios, Boyuibe, Charagua y parte de Cabezas, están al este de la falla Mandeyapeuca. El terreno es plano, y dominado por el desarrollo de sedimentos no confinados con grandes profundidades. En las cercanías de los ríos que fluyen de la Cordillera, las aguas subterráneas están encontradas cerca de la superficie, y es relativamente sencillo ubicar pozos productivos, aunque se han notado problemas con salinidad elevada. Lejos de los ríos, y distanciado de la Cordillera, el nivel estático aparentemente se profundiza. Aquí, posibles pozos deben ser mucho más profundos para encontrar caudales adecuados. Normalmente, los sistemas existentes de red pública desarrollados en esta zona ubican sus fuentes de agua en las zonas más productivas, y utilizan tuberías para traer el agua a las comunidades.

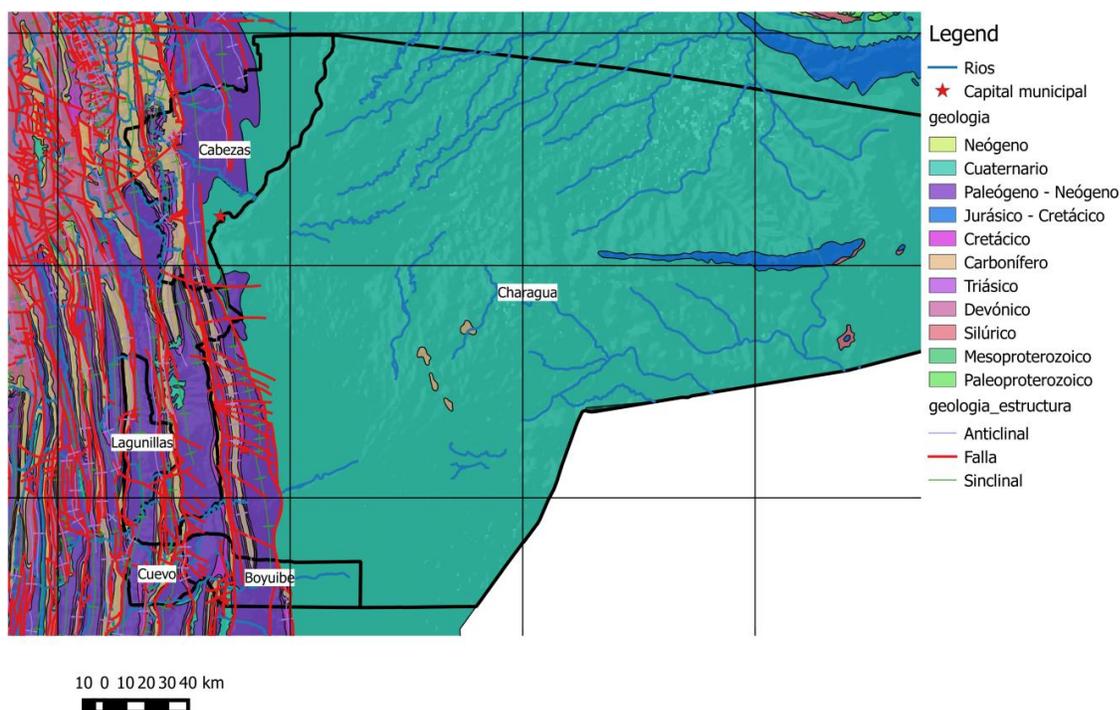


Ilustración 8 Mapa geológico de la zona de interés en el Departamento de Santa Cruz²⁰

²⁰ Datos de SERGEOMIN, <http://geo.gob.bo/>

Proceso de desarrollo de aguas subterráneas

Durante la misión se ha podido observar adecuadamente cómo VIDECI (gabinete) y COFADENA (campo) realizan un estudio conjunto dirigido a mejorar el abastecimiento de agua potable en diez municipios. Hemos tenido la oportunidad tanto de hablar con la plantilla de ambas organizaciones como de evaluar el trabajo de campo.

Tomadas como punto de partida las observaciones mencionadas se ha redactado la Tabla 5. Se han distinguido nueve fases que, si se realizan en el orden sugerido, aumentarán la probabilidad de que las obras de perforación sean exitosas. La segunda columna describe cada fase, mientras que en la tercera columna se presentan nuestras observaciones en cuanto a la forma de trabajar en este proyecto.

Antes de iniciar un programa de desarrollo de aguas subterráneas, a cualquier escala, se necesita realizar varias fases de compilación de datos y hacer investigaciones de gabinete y en el campo. El nivel de detalle que debe ser incluido depende del tamaño del proyecto, y también de la urgencia, pero cada fase contribuye a la sostenibilidad.

Tabla 5 Procedimiento ideal y observado durante un proyecto dirigido a paliar las consecuencias de la sequía

Fase	Procedimiento ideal	Observaciones
1	<p>Definición del objetivo del proyecto</p> <p>Antes de cualquier otra actividad es necesario definir claramente el objetivo del proyecto.</p> <p>En el caso de desarrollar aguas subterráneas para el uso público, se necesitan datos de la población meta, con estimación del crecimiento previsto, datos de demandas para otros usos (riego, industrias) y, muy importante, datos del sistema existente, con detalles de fuentes de agua y caudales disponibles en la actualidad. Para riego y/o uso ganadero se necesitan datos similares, por ejemplo el tipo de riego y la dotación diario deseada. Esta información vale no solo para definir los caudales necesarios, sino también para definir la calidad de aguas que se necesita.</p>	<p>Parece que se ha empezado el estudio sin haber definido bien el objetivo del proyecto. En vez de considerar la perforación nueva como un medio para ampliar o mejorar el abastecimiento de agua hacia una comunidad, se la considera como el objetivo principal del proyecto.</p> <p>No se analiza el sistema de abastecimiento existente, ni se considera la demanda existente. Se aplica una política de oferta en vez de una política de demanda.</p> <p>Se debería analizar por lo menos los datos de deficiencias de caudal de las fuentes actuales para poder medir el éxito del proyecto. Para la mayoría de las comunidades estos datos están disponibles en los archivos de MMAyA o a nivel regional (por ejemplo en las oficinas de PROASU en Santa Cruz).</p> <p>Ejemplo: en general faltan datos de demanda de agua.</p> <p>En Lagunillas igual se podrían usar unos de los pozos existentes, aunque actualmente no estén equipados.</p>
2	<p>Pre-factibilidad del proyecto</p> <p>Se hace una revisión técnica y financiera de la pre-factibilidad del proyecto. En esta fase también se estudian todas las opciones alternativas.</p> <p>El resultado de esta fase es haber determinado de forma objetiva la probabilidad de que los acuíferos locales puedan suministrar el volumen y calidad agua exigida o no, y una estimación de los costos del proyecto.</p>	<p>No se ha constatado que se haya realizado un estudio de pre-factibilidad. La consecuencia es que no se sabe si existen alternativas más económicas. Por ejemplo, en varios de los municipios existen pozos perforados y no equipados o fuentes superficiales que pueden ser utilizadas.</p> <p>Ejemplo: en Boyuibe está previsto un pozo de > 160 m para una población de 15 familias.</p>

3	Compilación de datos	
3.1	Datos de investigaciones anteriores a nivel regional y/o local: mapas geológicos y/o hidrogeológicos, informes regionales y locales, bancos de datos.	<p>Se ha notado que varias organizaciones nacionales, regionales y locales disponen de datos de estudios anteriores (incluyendo perfiles geofísicos) de varios municipios involucrados en este estudio, pero no se ha detectado que se hayan usado estos datos.</p> <p>Ejemplo: PROASU hay hecho perfiles geofísicos en la misma línea que COFADENA en Cuevo, pero con más detalle.</p>
3.2	Datos de las cuencas involucradas: área, tipo de suelo y tipo de uso de la tierra, datos climáticos (principalmente datos de precipitación y evapotranspiración).	<p>Estos datos están disponibles a nivel nacional (aunque con un enfoque a las aguas superficiales), pero no se han usado.</p> <p>Ejemplo: en general, no se estudia los datos meteorológicos disponibles.</p>
3.3	Datos de fuentes de agua superficiales y subterráneas existentes. Se incluirá una revisión enfocada sobre fuentes de agua de la comunidad usadas, y un diagnóstico de su operación. También se estima el flujo en ríos y quebradas. Para pozos se estudia el caudal, la litología, la profundidad, el nivel estático y dinámico, la calidad etc.	<p>No se analizan los sistemas de abastecimiento existentes.</p> <p>Realizar dicho análisis ayudaría a determinar si fuera más rápido y/o más barato rehabilitar un sistema existente. A la vez permite entender por qué falla el sistema existente.</p> <p>Ejemplo: ¿Se sobre-explota el acuífero, hay fugas, no funciona bien la bomba, están atascados los filtros?</p>
3.4	Se determina el balance hídrico de una cuenca y del acuífero para asegurarse que se le pueda explotar de forma sostenible. Para hacerlo se usan datos de precipitación (P), evapotranspiración (EVP), volúmenes bombeados, flujos superficiales. La recarga es una derivada de (P-EVP).	<p>No hemos detectado que se haya determinado ningún balance hídrico.</p> <p>El riesgo de esta omisión puede ser que después de un periodo inicial satisfactorio, el caudal baje y el pozo ya no cumpla la demanda hídrica.</p> <p>Ejemplo: en Tarata existe una falta de consideración de sobre explotación del acuífero</p>
4	<p>Prospección</p> <p>Normalmente la disponibilidad de datos y el tipo de acuífero determinan el tipo de prospección a aplicar. Puede incluir reconocimiento de la geología, análisis de estructuras y fallas, o geofísica. Antes del uso de esta última herramienta se define claramente el objetivo de las investigaciones geofísicas: qué tipo de estructura geológica está prevista, y qué tipo de anomalía se podría producir.</p>	<p>No hemos podido averiguar si se ha ajustado el método geofísico aplicado con la geología local prevista, ni si durante el proceso de interpretar los datos geofísicos se han tomado en cuenta otros datos disponibles, como por ejemplo el nivel del agua subterránea y la litología conocida.</p> <p>Al usar todos los datos disponibles, aumenta la probabilidad de que una perforación sea exitosa. Por cierto, la conclusión de que una zona no es apta para la extracción de agua subterránea también se podría considerar un éxito, ya que se evita el desgaste de tiempo y dinero. Preferiblemente, después de esta fase se puede comentar sobre la probabilidad de éxito, un parámetro clave en el proceso de decidir si perforar o no.</p>

		<p>Ejemplo: En Tolata no se ha considerado el estado de los pozos existentes en la línea del perfil geo-eléctrico.</p> <p>En el contrato de perforación el resultado de la prospección (la profundidad del pozo) está pre definido.</p>
5	<p>Perforación</p> <p>En acuíferos no consolidados se suele perforar un pozo piloto para sacar datos litológicos, la granulometría y/o perfiles eléctricos para definir el tamaño y ubicación de filtros y el diseño de gravas en el pozo final.</p> <p>La limpieza del pozo también forma parte de esta fase.</p>	<p>A nivel nacional no existen normas de perforación, aunque sí hemos descubierto iniciativas locales, por ejemplo en PROASU en Santa Cruz.</p> <p>El desarrollo de normas de perforación ayuda a garantizar la calidad del trabajo.</p> <p>Para la mayoría de las perforaciones en Bolivia se utilizan máquinas de rotación hidráulica con bomba de lodo. El control estricto del lodo, la selección de los empaques de grava y el tamaño de los filtros son parámetros importantes para que el pozo funcione eficientemente y que su operación sea fiable.</p> <p>Ejemplo: COFADENA prepara los filtros manualmente mientras en el mercado se pueden comprar mejores filtros a precio asequible.</p> <p>A veces se usan empaques de grava con selección de arena inadecuada y de un tamaño demasiado pequeño.</p>
6	<p>Pruebas</p> <p>Se comprueba la eficiencia del pozo, y también el comportamiento del acuífero, llevando a cabo dos tipos de pruebas: (i) pruebas de bombeo escalonado y (ii) pruebas de bombeo a caudal constante. Durante las pruebas de bombeo se toma muestras para comprobar que la calidad física y bioquímica del agua cumple con los criterios del uso previsto.</p>	<p>No hemos visto resultados de pruebas de bombeo de ningún tipo.</p> <p>Los resultados de las pruebas de bombeo son parámetros clave para una gestión precisa, ya que con ellas se puede determinar el caudal disponible.</p> <p>Sin los resultados de pruebas de bombeo (caudal, calidad del agua) es imposible seguir el cambio en esos parámetros en el pozo.</p> <p>Ejemplo: en el caso de realizar pruebas de bombeo no se respetan los tiempos prescritos</p>
7	<p>Equipamiento</p> <p>Se instale una bomba en el pozo y se conecta el pozo a la red de abastecimiento. Es importante dimensionar bien la bomba, tomando en cuenta la demanda del volumen de agua.</p>	<p>Por las referencias recibidas durante la misión, el modus operandi normal es usar las bombas más potentes, sin pensar en una gestión sostenible del acuífero, ni en la demanda verdadera.</p> <p>Esto incrementa el riesgo de daños al pozo y la probabilidad de sobre-explotación del acuífero.</p> <p>Ejemplo: el uso de filtros hechos a mano aumenta el riesgo de mal funcionamiento.</p>

		En Cabezas y Lagunillas se han perforado pozos, pero sin equiparlos.
8	<p>Revisión de datos</p> <p>Se redacta un informe que incluya todos los datos. Además, se compara los datos de la perforación con la interpretación de la prospección. De este modo, se aumenta el conocimiento del sistema hidrogeológico. Se proporciona el informe por lo menos a una autoridad de nivel nacional y a las comunidades involucradas.</p>	<p>Probablemente esta fase es una de las más importantes para llegar a una gestión más sostenible, sin embargo, es una de las menos cumplidas en Bolivia.</p> <p>Los resultados de esta fase forman los datos de entrada para la fase 3.1. Si no se realiza el esfuerzo para emprender un banco de datos central accesible para público, el número de perforaciones exitosas no aumentará, ya que no se disponen de los datos relevantes hallados en proyectos anteriores.</p> <p>Actualmente no existe ninguna base de datos comprehensiva en operación a nivel nacional, aunque en el MMAyA está trabajando en realizarlo. A nivel regional sí existen bases de datos, fruto de iniciativas locales.</p> <p>Hay que tomar medidas dirigidas a la gestión de recursos hídricos. Sin esas medidas, y sin datos de monitoreo será imposible llegar a una gestión hídrica sostenible.</p> <p>Ejemplo: en general la empresa perforadora no recopila históricos de pozos efectuados.</p>
9	<p>Operación y monitoreo</p> <p>Se monitorearán los pozos regularmente, preferible mensualmente o por lo menos anualmente. Se medirá el nivel estático, el nivel dinámico y el caudal. Durante esas campañas de monitoreo, también se tomará muestras de agua para analizarla.</p> <p>Se notifica directamente cualquier anomalía en cualquiera de esos parámetros a las autoridades responsables.</p>	<p>Existen pocas redes nacionales de monitoreo de los pozos. Además, parece que falta personal para gestionar esas redes en las zonas rurales.</p> <p>Puede ser la responsabilidad del municipio proporcionar estos datos de monitoreo y puede ser un requerimiento mínimo exigible al municipio antes de realizar nuevas perforaciones.</p> <p>Ejemplo: las redes de monitoreo están fuera de operación</p> <p>Las redes de monitoreo están limitadas a los acuífero principales o a las ciudades</p>

Cabe enfatizar que, a pesar de lo que se piensa muchas veces, las fases 1, 2 y 3 no significan una pérdida de tiempo o dinero. Al contrario: si se las ejecuta con minuciosidad, los resultados de la fase 4 serán más seguros y se pueden ubicar los pozos en sitios que han sido elegidos a base de investigación, lo que aumentará la probabilidad de encontrar agua a cierta profundidad que es fruto de datos anteriormente hallados.

Fuentes alternativas en tiempos de emergencia

La experiencia muestra que los programas de perforación de pozos para enfrentar emergencias de sequía, tienen sus limitaciones. En general, si se perforan pozos sin haber analizado la demanda de agua, estudios anteriores o el comportamiento de los sistemas existentes, se corre el riesgo que esos pozos no sean sostenibles en el largo plazo. Además, trabajos de perforación, prueba y equipamiento no suelen poder realizarse a una escala temporal suficientemente rápida para resolver los problemas de sequía en el corto plazo.

Como se indica en la sección sobre desarrollo de aguas subterráneas (Sección 3.3 de la Tabla 5) se tiene que hacer un análisis detallado de las fuentes de aguas existente si el sistema ya no funciona adecuadamente. Es probable que en un número de casos este análisis indique que algún malfuncionamiento de una parte del sistema de abastecimiento (bomba, fugas, conexiones) sea la causa. La rehabilitación de los sistemas existentes siempre es la acción más sencilla, más rápida y más eficaz para resolver problemas de abastecimiento.

Pozos nuevos no siempre forman la mejor opción de aprovechamiento de las aguas subterráneas. El desarrollo de manantiales, si hay, tiene la ventaja que los caudales disponibles pueden ser estimados antes de la inversión. Además, sistemas de agua por gravedad son menos costosos durante sus años de operación. Si hay ríos con caudales considerables incluso en tiempos secos, una opción interesante puede ser la construcción de galerías de infiltración, con tubería enterrada debajo de una capa seleccionada de grava o arena en la orilla o cauce del río. La ventaja de estas galerías es un potencial a veces más seguro que el definido con prospección y perforación, y en general los caudales de bombeo serán significantes. La desventaja de estos sistemas es la necesidad de tratamiento del agua, por lo menos el tratamiento bacteriológico.

Si la fuente de agua superficial está a una distancia significativa, se tiene que comparar los costos de tubería de transmisión con los costos de perforar. Se puede hacer la misma comparación en lugares con una hidrogeología es favorable. Puede ser que se puede reducir la profundidad de la perforación a costo de distancia de aducción más larga.

La captación de lluvia en presas y estanques (con geotextiles en el fondo si el suelo es permeable), puede almacenar agua para la ganadería, y así evitar aumentos de demanda a los sistemas diseñados para agua potable. El almacenamiento de las aguas de lluvia de los techos de edificios puede reducir la demanda a los sistemas de abastecimiento públicos, ya que se puede usar el agua capturada para usos o riego domésticos.

Comentario sobre las perforaciones previstas por VIDECI

Se realizó parte del trabajo de prospección durante la redacción de este informe. Por eso, no dispusimos de esos informes finales.

Además, por motivo de una agenda muy apretada los hidrogeológicos expertos no han tenido la oportunidad de realizar investigaciones detalladas de gabinete ni en el campo. Sólo se han visitado Tarata y Cabezas. No cabe duda que visitas a los otros sitios hubiera conducido a una tabla más extensa.

Así que resulta complicado comentar definitivamente sobre los sitios a perforar seleccionados. Tampoco es fácil hacer declaraciones sobre la probabilidad de éxito de las perforaciones, sobre todo por falta de datos comprensivos sobre las demandas de agua de los municipios, sobre las fuentes de agua y sobre los sistemas existentes de las comunidades involucradas. En vista de lo anterior, se entenderá que la Tabla 6 no es más que un impulso, en forma simplificada, para comentar sobre las perspectivas de desarrollo de las aguas subterráneas y superficiales en los diez municipios.

En nuestra opinión, un punto clave es que el contrato para la prospección y la perforación haya definido una profundidad de 160 metros para cada pozo. En algunos casos esa profundidad se podría reducir, ya que a menos profundidad hay suficientes recursos hídricos. En otros casos perforar hasta 160 m no será suficiente ya que para encontrar agua, se debería perforar más.

Tabla 6 Comentarios sobre las perforaciones previstas

Municipio	Probabilidad de perforación exitosa	Profundidad necesaria	Alternativas para perforación
Aiquile	Baja, geología complicada	No hay datos	No hay datos
Anzaldo	Baja, geología complicada	No hay datos	No hay datos
Omereque	Baja, geología complicada, o media si se perfora en materiales aluviales.	No hay datos	No hay datos – Posibilidad de galería de infiltración en Rio Mizique
Tarata	Alta si es perforada en el Valle Alta	No hay datos	Incorporación de pozos existentes a la red
Tolata	Alta	< 160?	Incorporación de pozos existentes a la red
Lagunillas	Media/Alta	<160?	Incorporación de pozos existentes a la red
Cuevo	Media, posibilidad de presencia de capas de arenas finas	160	Revisar todos los datos e informes geofísicos de PROASU, incorporación de pozos existentes a la red
Cabezas	Media/alta, posibilidad presencia de capas de arenas finas	160	Desarrollo de manantiales o galería de infiltración
Boyuibe	Depende estrictamente de la profundidad. En áreas con nivel estático alto el agua puede ser contaminada	>160	Perforar pozos de menos profundidad y poner tubería de aducción
Charagua	Depende estrictamente de la profundidad. En áreas con nivel estático alto el agua puede ser contaminada	>160	Perforar pozos de menos profundidad y poner tubería de aducción

Se reitera que estos comentarios son preliminares. Deben ser reconfirmados cuando los informes de prospección estén disponibles de forma definitiva.

Recomendaciones para perforación

Una vez se haya determinado que una perforación es necesaria para mejorar la sistema de abastecimiento de agua potable, el éxito de la perforación depende de la calidad de la ejecución de las obras, así mismo como de la hidrogeología de la localidad. Aunque no hemos tenido la oportunidad durante esta misión de ver la actividad de una perforación completa, hay varias áreas donde se han notado limitaciones en la práctica.

Control de lodo: En pozos perforados en rocas no-consolidadas con un sistema rotativo y con lodo hace falta controlar la calidad y consistencia del lodo, por lo menos medir regularmente la viscosidad y el peso del lodo. El uso de lodo tipo polímero es preferible a lodos naturales ya que se requiere menos tiempo para la limpieza final del pozo.

Filtros y tubería: El uso de filtros serrados a mano, aunque barato, no es recomendable cuando hay mejores filtros en el mercado nacional a precios asequibles. El tamaño de apertura de un filtro debe ser preciso, y preferiblemente ajustado a la granulometría del acuífero. También es deseable que el porcentaje de apertura abierto sea maximizado para mantener la eficiencia del pozo.

Empaque de grava: En pozos perforados en rocas no-consolidadas normalmente se usan un empaque de grava o arena entre los filtros y el añilo hasta el borde de la perforación. El tamaño del empaque debe ser ajustado a la granulometría del acuífero y el tamaño de las ranuras del filtro, para evitar la entrada de arena hacia la bomba, que puede dañar la bomba y también causar el hundimiento del pozo.

Pruebas de bombeo: La prueba de bombeo es esencial para comprobar la eficiencia del pozo (la prueba escalonada) y del acuífero (la prueba constante). Pruebas de bombeo deben ser ejecutadas con una bomba sumergible, y no con una bomba de aire comprimido, y con el tiempo adecuado, el cual depende del caudal necesario y el tipo de acuífero.

Datos: Durante la obra el perforador debe llevar un diario, en adición a los informes de la litología y el diseño final del pozo. Es normal registrar la velocidad de perforación a diferentes niveles, la densidad y el peso de lodo, observaciones sobre entradas y/o pérdidas de agua, y los detalles de la limpieza y el desarrollo del pozo.

Implementando estas recomendaciones para mejorar la eficiencia y la vida del pozo requiere el desarrollo de las normas de perforación que pueden ser especificados en los contratos, y también enfatizar la necesidad de una educación teórica y práctica de los perforadores. Esa educación no es cuestión de días o semanas, puede tardar años hasta alguien domine de verdad las complejidades del oficio.

Conclusiones

En base a las conversaciones con entidades oficiales a nivel nacional y regional involucradas en el desarrollo de aguas subterráneas y con especialistas nacionales en el sector, combinadas con los informes analizados durante esta misión y las visitas de campo realizadas, se han sacado las siguientes conclusiones:

En Bolivia hay una consciencia profunda de la gravedad de la situación hídrica. Se invierte mucho tiempo y dinero en intentar paliar las repercusiones de las sequías. Sin embargo, las soluciones propuestas por los ministerios no siempre han contribuido a una solución estructural.

Respecto al impacto de la sequía sobre los sistemas de agua potable, es evidente que la precipitación es baja y eso es la causa principal de los problemas hídricos. Pero cabe mencionar que, actualmente, la gestión hídrica de los sistemas existente dista de ser óptima y eso aumenta aún más la gravedad de las consecuencias de la sequía.

Entre todas las organizaciones que hemos visitado hay un conocimiento sumado profundo de la hidrogeología en Bolivia. También existe mucha información imprescindible en cuanto a estudios hidrogeológicos. Lamentablemente, no siempre se utilizan todas las fuentes de conocimiento e información, algo que perjudica el desarrollo y el resultado final del proyecto.

Durante esta misión se han detectado diferentes deficiencias en cuanto a la manera de realizar un estudio dirigido a mejorar el abastecimiento municipal de agua potable.

- Antes de empezar el estudio no estaba definido claramente el objetivo;
- No se había realizado un estudio de pre-factibilidad; se busca la solución para la sequía en perforar pozos nuevos sin analizar alternativas, que podrían dar resultados más rápidos y más baratos.
- No se usan los datos resultantes de estudios realizados anteriormente. El uso de estos datos ayudarían a elegir el método de prospección más apto;
- No se dedica (mucho) tiempo en buscar la causa del malfuncionamiento de los sistemas de abastecimiento existentes;
- A nivel nacional no existen normas de perforación, aunque sí hemos descubierto iniciativas locales, por ejemplo en PROASU en Santa Cruz;
- Actualmente, en el suministro de agua potable, se aplica una política de oferta, no de demanda: existe una tendencia a usar las bombas más potentes en vez de ajustar la potencia de las bombas a la demanda. Parece desconocerse que un sobredimensionamiento no contribuye a una gestión hídrica sostenible ya que suele conducir a sobre-explotación del acuífero;
- No existe la costumbre/norma de almacenar los datos hallados durante la campaña de perforación, geofísica o hidroquímico en un banco de datos central a nivel nacional; y
- No existe ningún banco de datos central que albergue todos los datos que se han recogido durante las obras de campo (perforaciones, pruebas de bombeo, sondeos geofísicos, muestreo de agua). La consecuencia es que no se puede aprovechar el conocimiento de obras anteriores (y así aumentar la probabilidad de que la perforación sea exitosa) en cuanto a determinar la ubicación y profundidad óptima de un pozo nuevo.
- El monitoreo aplicado en la actualidad no es suficientemente detallado, ni en el tiempo ni en el espacio, para contribuir a una gestión de agua sostenible. Algunos de los acuíferos importantes del país se pueden convertir en inútiles por sobre-explotación.

Es probable que haya instituciones a nivel departamental, como PROASU en Santa Cruz, que tienen la ventaja de generar suficiente conocimiento local para dar un “enfoque integral” al proceso de atender una solicitud para realizar una perforación. Estas instituciones locales, están mejor posicionadas para

resolver los problemas hídricos en sus áreas, por lo que deberían haber sido involucradas en los procesos de gestión y respuesta a los desastres.

La sola perforación de un pozo no es la solución para la sequía, no es más que una parte de la solución: una perforación sólo contribuye a la solución si está conectado a la red de abastecimiento que rinde resultados, y por eso es importante que las responsabilidades de todos los actores, desde la fase de la planificación, el financiamiento, la prospección, la perforación hasta el equipamiento, estén bien definidas. También sería valioso estudiar alternativas para las perforaciones que pudieran brindar resultados más rápidos y más sostenible.

Recomendaciones

Hemos distinguido entre tres tipos de recomendaciones. El primero de nivel institucional, el segundo trata el proceso integral de realizar un estudio para mejorar el abastecimiento de agua potable y el tercero está dirigido a los municipios seleccionados por el proyecto del VIDECI.

Recomendaciones a nivel institucional

A nivel institucional se pueden hacer las siguientes recomendaciones:

- Para maximizar la probabilidad de que un proyecto hídrico dé un resultado positivo es importante que se use todo tipo de información disponible: todos los datos medidos, todos los informes relevantes, pero también información que no está disponible en ningún informe, pero sí está en la cabeza de los expertos de las instituciones involucradas. Para conseguir eso es recomendable que se junten esos expertos en la primera fase de un estudio hídrico. Es recomendable que todas las instituciones Bolivianas que se dedican a estudios geohidrológicos unieran sus fuerzas y todo tipo de información para crear un banco de datos geohidrológico a nivel nacional, accesible a cualquier parte interesada, sea condicionado o no, a un pago económico
- Es recomendable que se definieran los requisitos de un pozo (profundidad, tipo de bomba a aplicar), no como resultado de una regla de oro, sino tomándose en cuenta el contexto hidrogeológico y utilizando todos los datos hidrogeológicos disponibles. Es recomendable desarrollar diferentes normas:
 - Normas de perforación;
 - Normas del desarrollo de las aguas subterráneas
 - Normas de monitoreo.

De este modo, cada equipo de campo trabaja de la misma forma. Esa uniformidad ayuda a garantizar la calidad del trabajo.

- Se recomienda que, cuando se buscan soluciones para la sequía, no se centre automáticamente en pozos nuevos, sino que se tomen en cuenta alterativas fuentes de agua

Recomendaciones para realizar un estudio hídrico

- Es recomendable mantener un orden fijo al realizar un estudio hídrico:
 1. La primera fase de un estudio hídrico debe estar dirigida a la definición exacta del objetivo del proyecto: ¿Cuál es el problema que hay que resolver? ¿Por qué se realiza el estudio?
 2. Luego se analizan todas las opciones para llegar a la solución del problema.

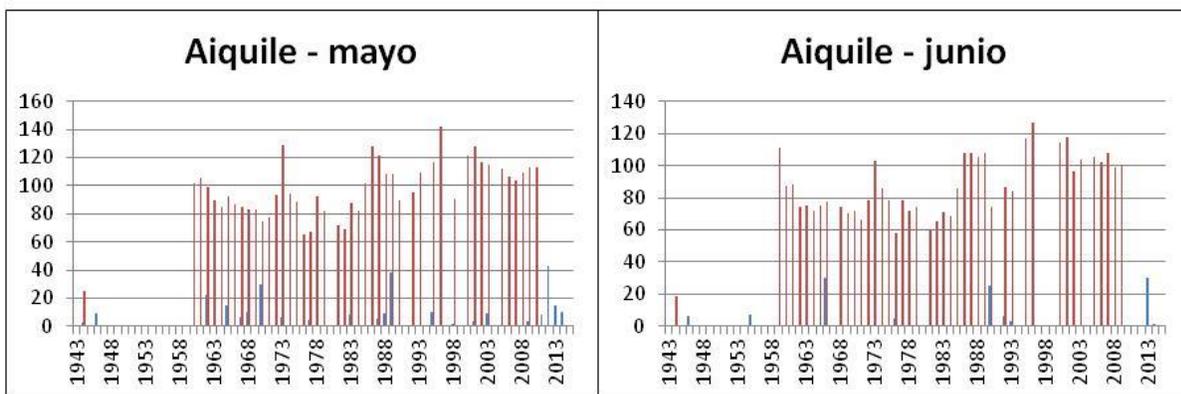
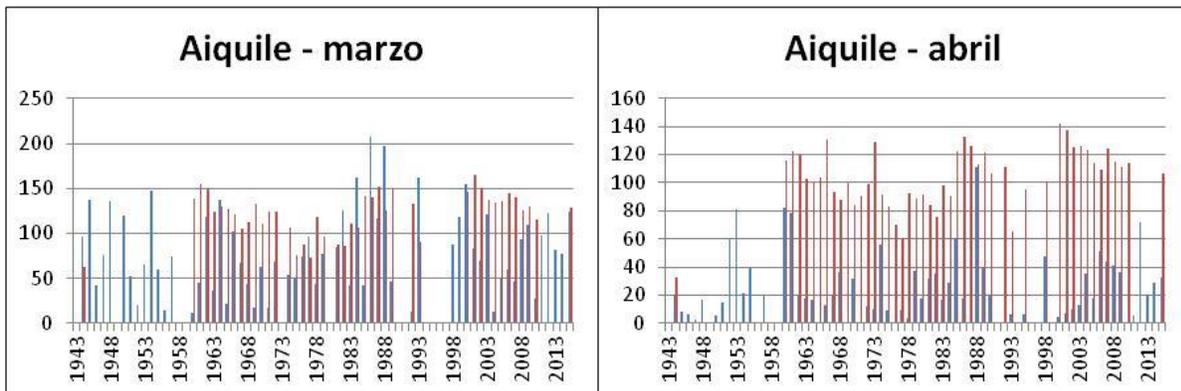
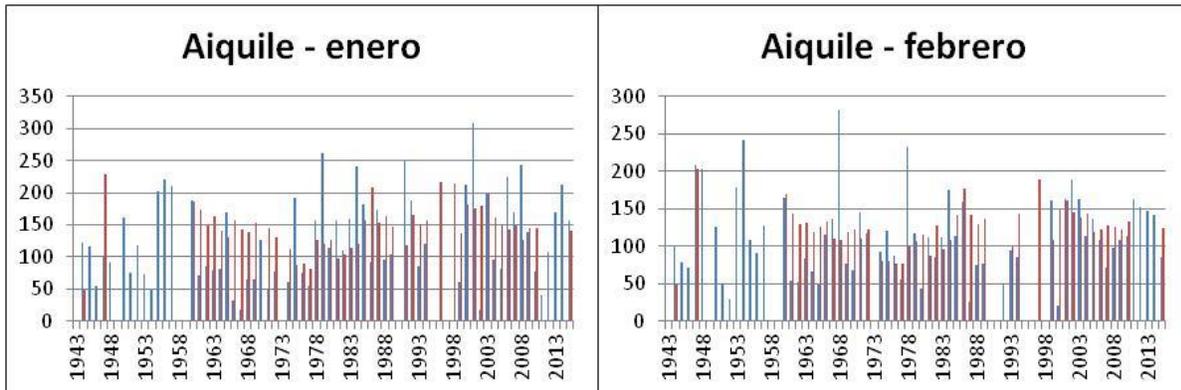
3. Hay que reservar tiempo para estudiar todos los datos disponibles. No se debe considerar esta fase como una pérdida de tiempo. Al contrario, si se hace bien esta fase, los resultados llegan a mejorar el alcance y logros del proyecto.
4. A base de los resultados de la tercera fase se define qué tipo de prospección se va a aplicar.
5. Si después de la fase 2 se haya decidido realizar perforaciones, se registran los datos (litológicos, químicos, hidrogeológicos, ...) hallados durante la obra.
6. Se comprueba la eficiencia del pozo, y también el comportamiento del acuífero, llevando a cabo pruebas de bombeo.
7. Instalar una bomba en el pozo. Es importante que la bomba sea bien dimensionada, con base en la demanda de agua.
8. Se redacta un informe que incluya todos los datos y se compara esos datos con los resultados con la interpretación de la prospección.
9. Se monitorean los pozos regularmente (nivel estático, nivel dinámico, caudal, calidad de agua). Se notifica directamente cualquier anomalía en cualquier de esos parámetros a las autoridades responsables.

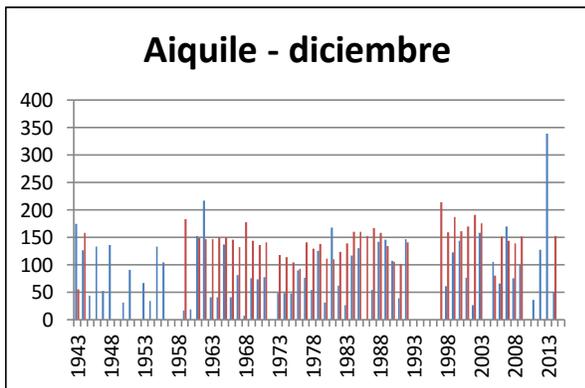
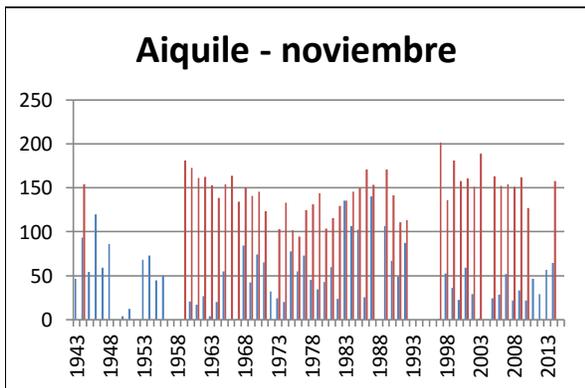
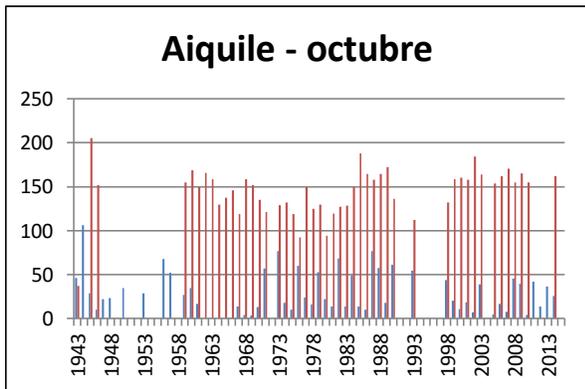
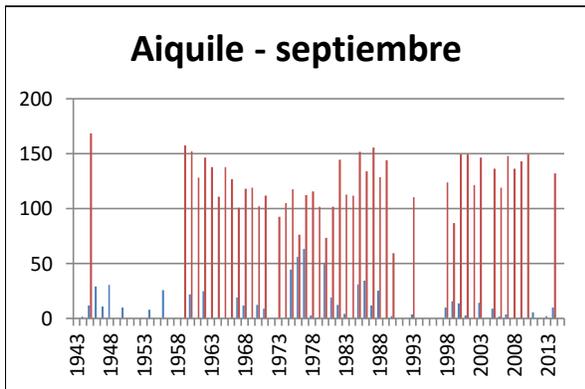
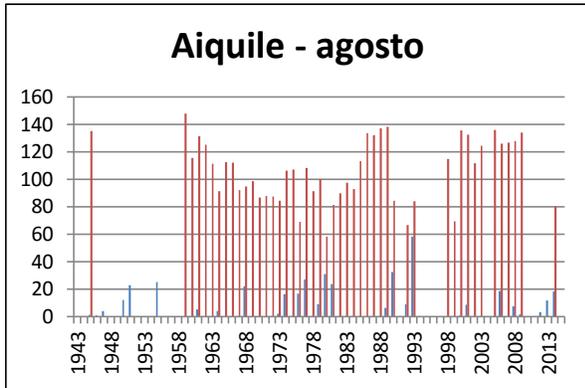
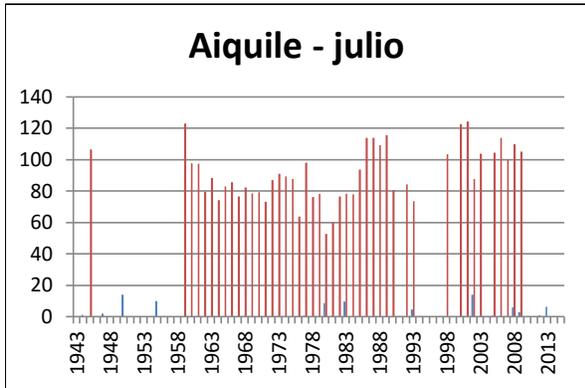
Recomendaciones para el estudio presente

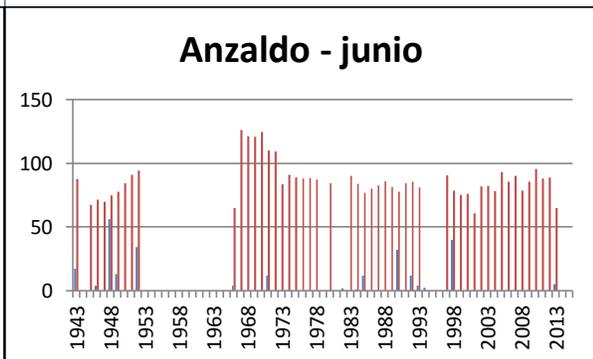
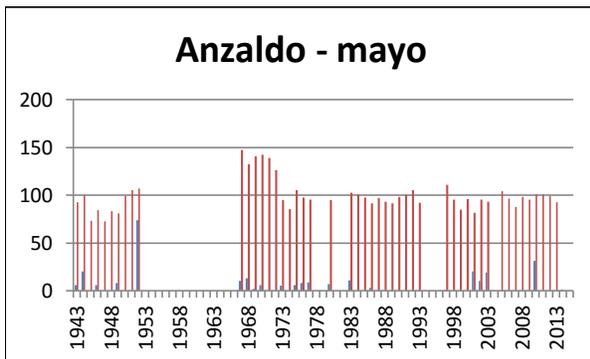
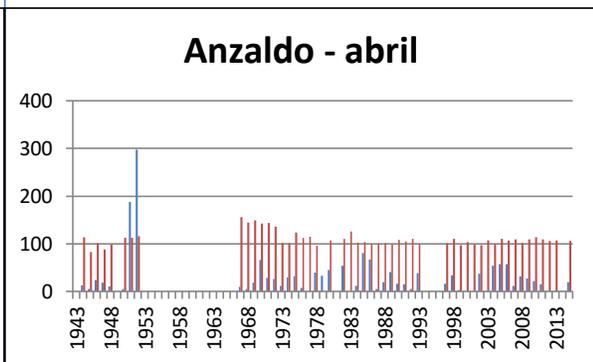
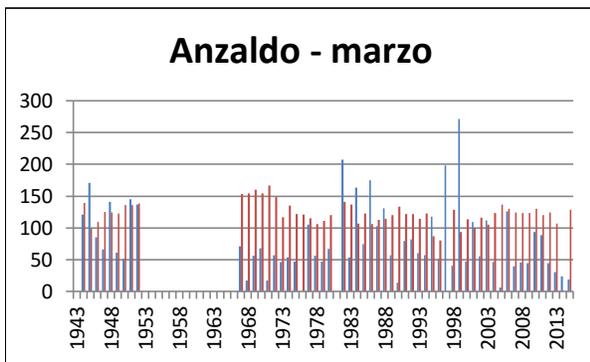
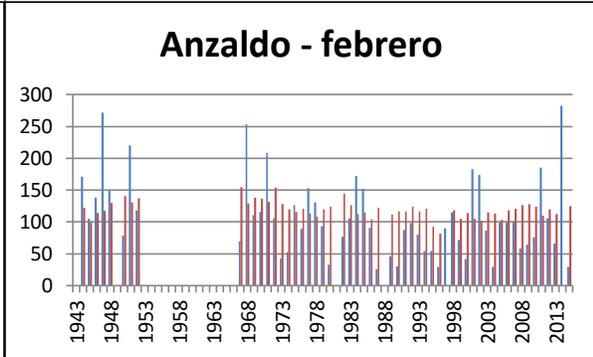
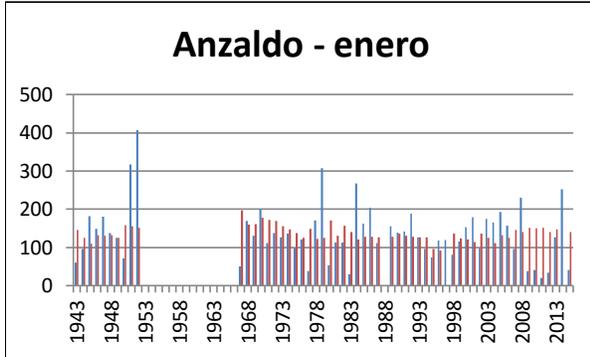
Aunque entendemos muy bien que ya se ha decidido cómo llevar a cabo las obras en los diez municipios de este estudio, hemos tomado la libertad de definir unas recomendaciones:

- Se recomienda analizar el sistema de abastecimiento existente de cada municipio. La pregunta clave del análisis sería: ¿por qué ya no cumple la demanda?
- En Tarata, a menos de 50 metros de la línea de la prospección geofísica hay un pozo que en pocos años ha perdido mucho caudal. Sería interesante saber la causa de esa reducción para impedir que pase lo mismo con el pozo nuevo.
- Se recomienda realizar un estudio de reconocimiento cuyo objetivo es la identificación de posibles pozos existentes que se podrían usar para el abastecimiento de agua potable. Se nos informó localmente que en Lagunillas, cerca de las líneas de la prospección geofísica hay pozos que no están equipados con bombas, pero sí podrían tener buen caudal.
- Se recomienda considerar fuentes alternativas. Durante la visita a Cabezas se ha observado que, incluso al final de la temporada seca, la descarga del río Grande o Guapay ofrece posibilidades de paliar la sequía. El desarrollo de galerías de infiltración podría ser una alternativa seria que debe estudiarse. Otra posibilidad en Cabezas podría ser el desarrollo de los manantiales relativamente cercanos a Cabezas. Aunque no hemos visitado el municipio de Omereque, no podemos descartar la posibilidad de galerías de infiltración en el río Mizique podrían contribuir al abastecimiento de agua potable. Para los municipios de Boyuibe y Charagua se recomienda estudiar la posibilidad de perforar pozos de menos profundidad y poner tubería de aducción. Podría ser una solución más económica.
Para el municipio de Cuevo se recomienda revisar los datos y el conocimiento disponible en PROASU.

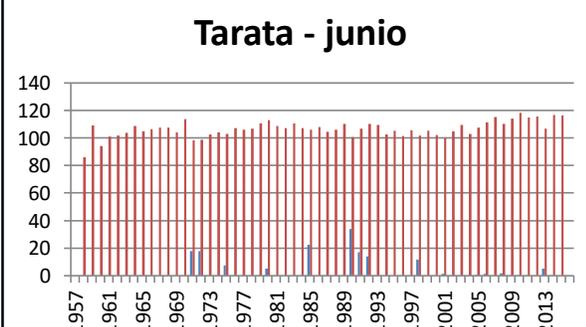
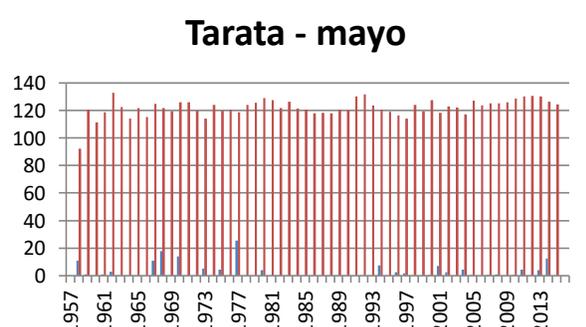
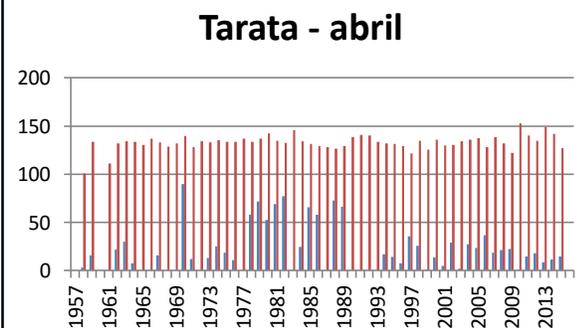
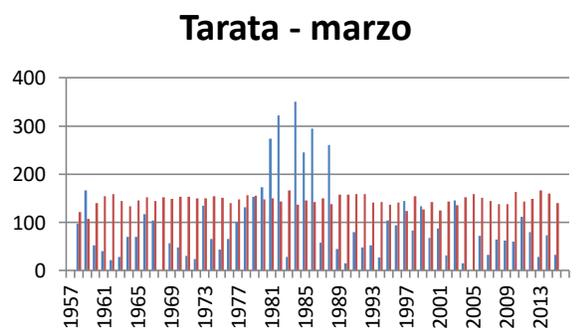
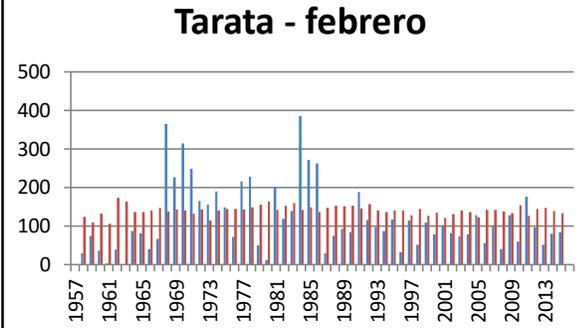
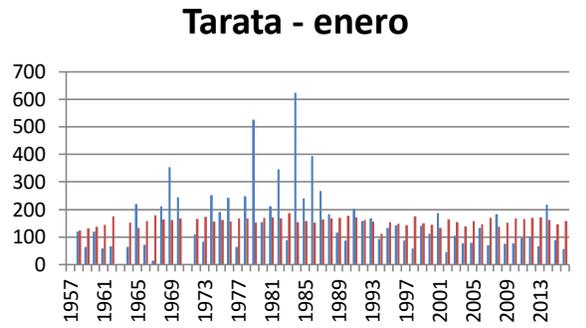
Anexo 1 Datos meteorológicos

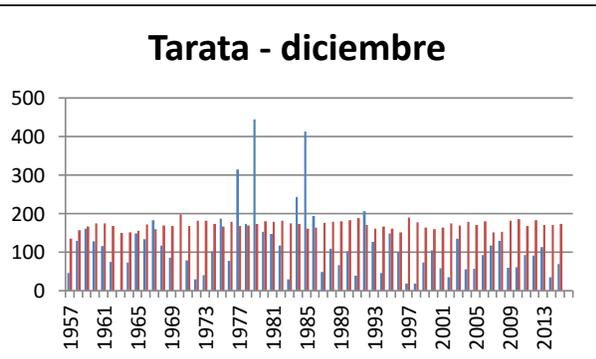
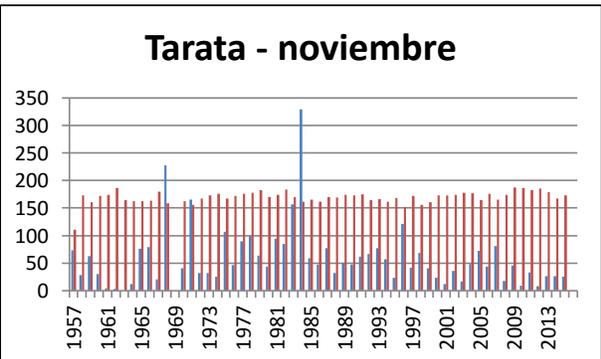
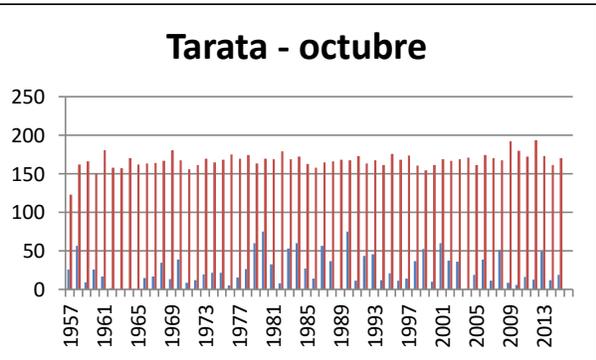
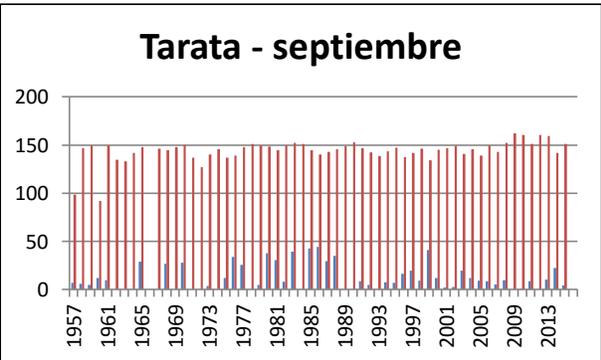
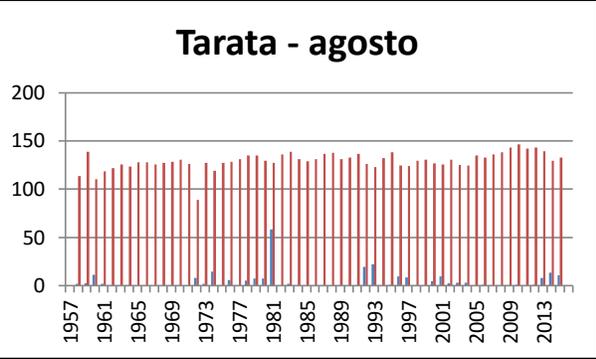
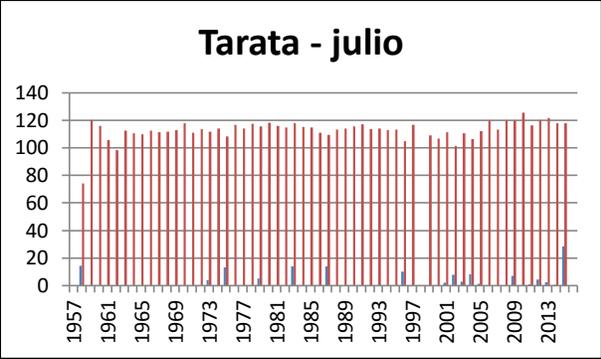


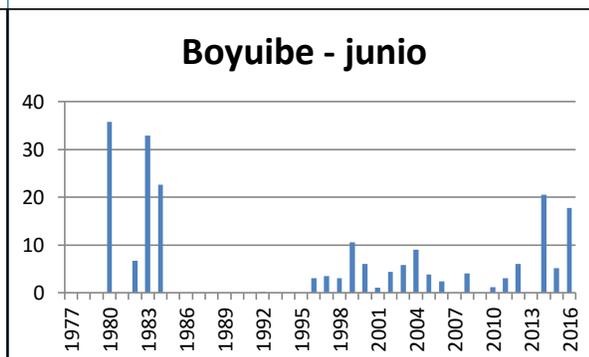
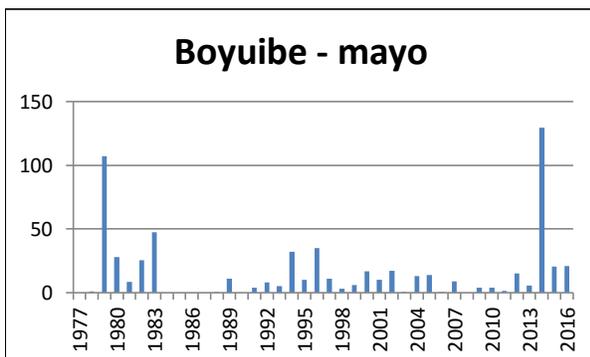
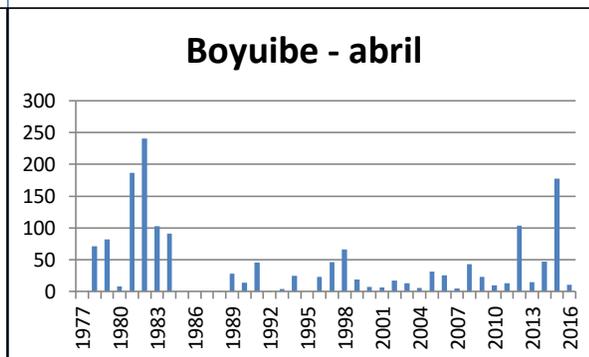
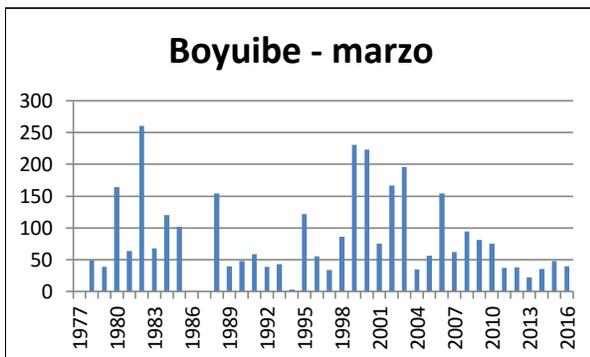
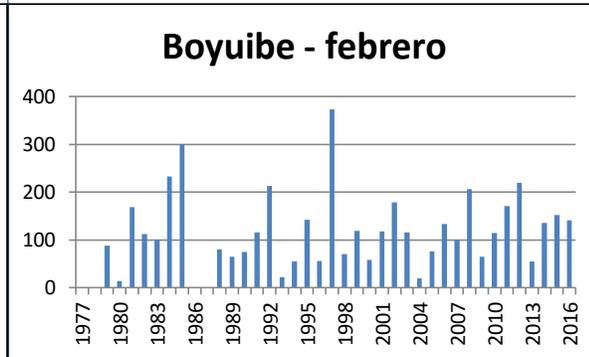
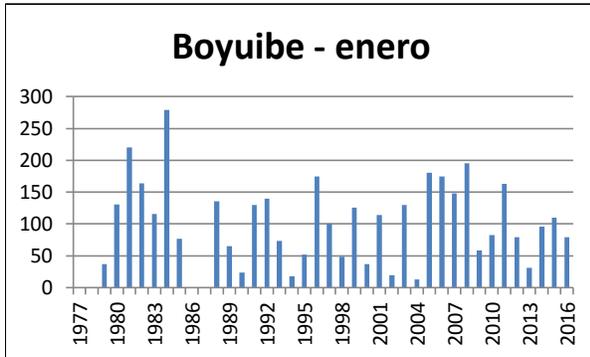




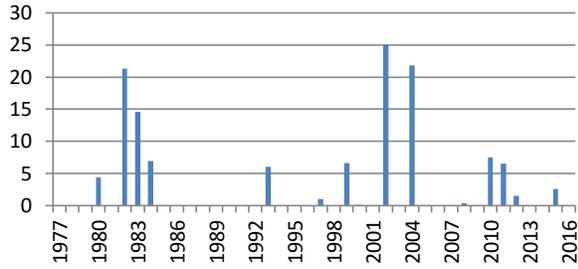




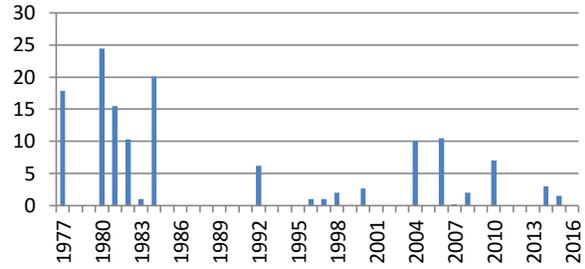




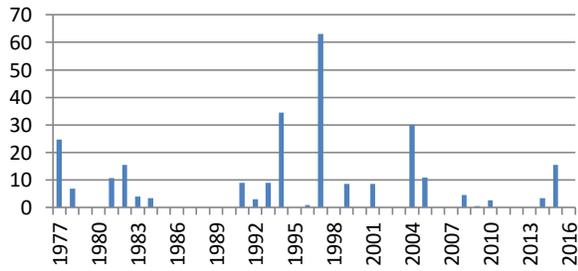
Boyuipe - julio



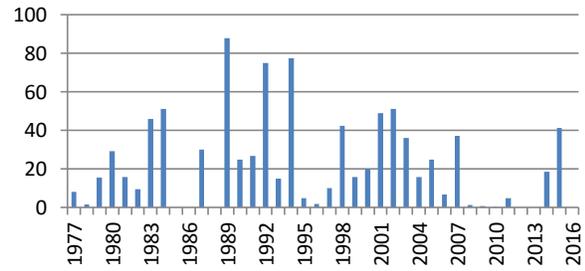
Boyuipe - agosto



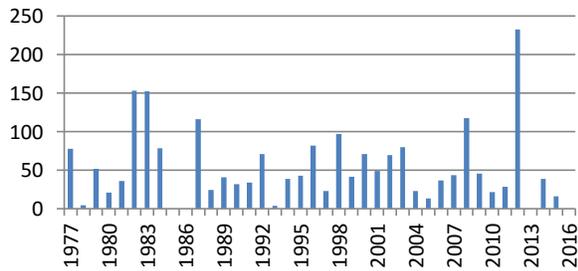
Boyuipe - septiembre



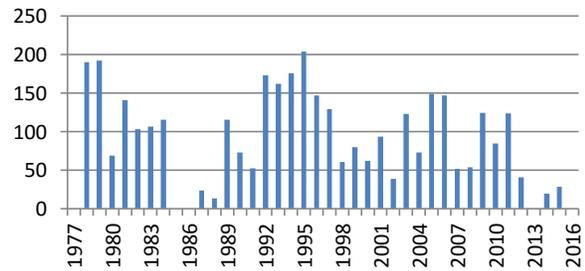
Boyuipe - octubre

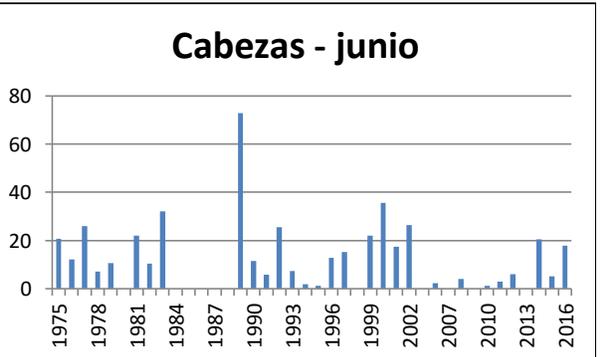
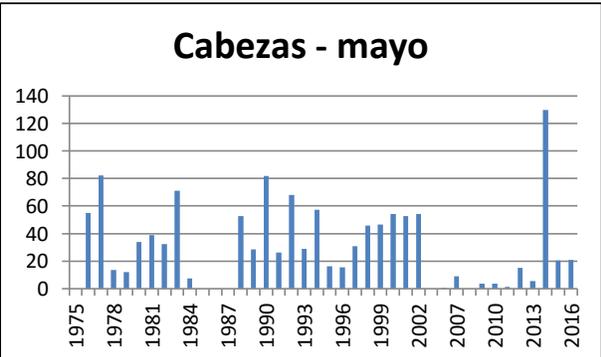
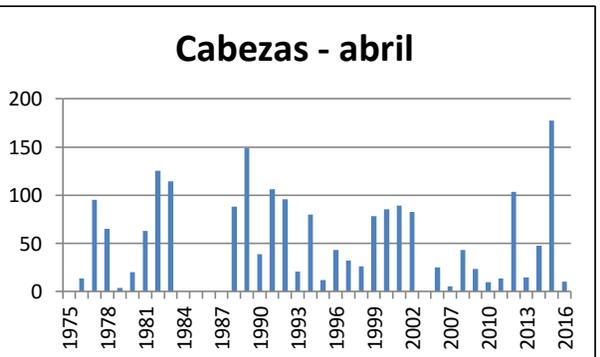
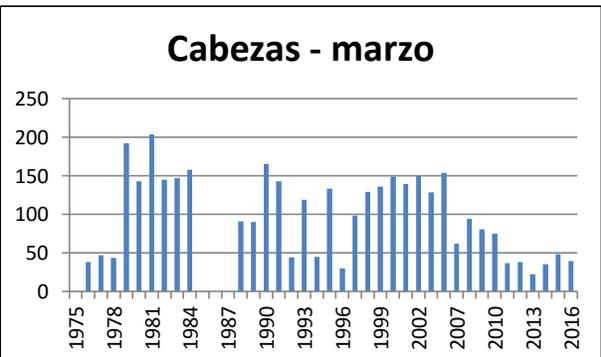
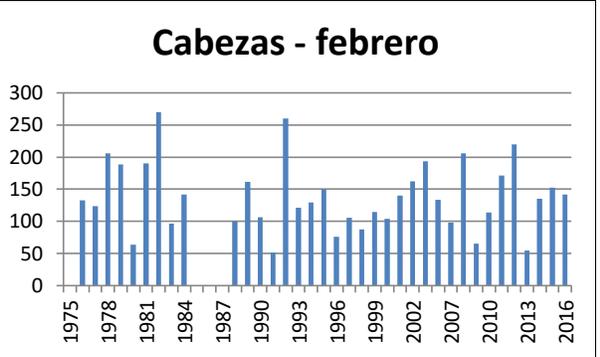
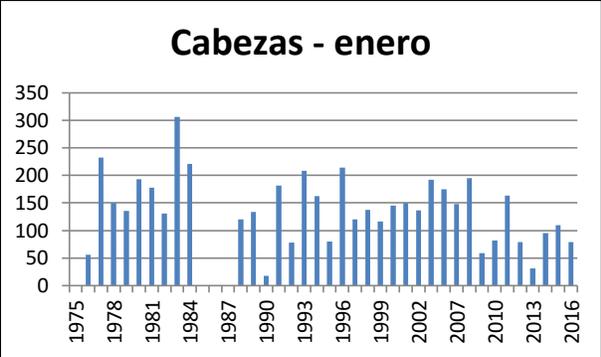


Boyuipe - noviembre

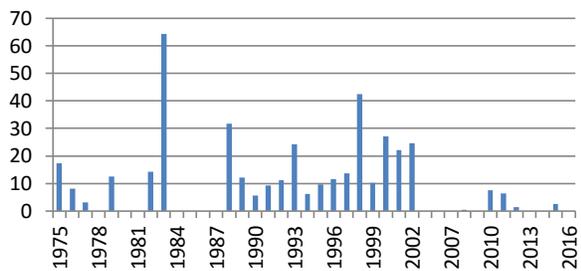


Boyuipe - diciembre

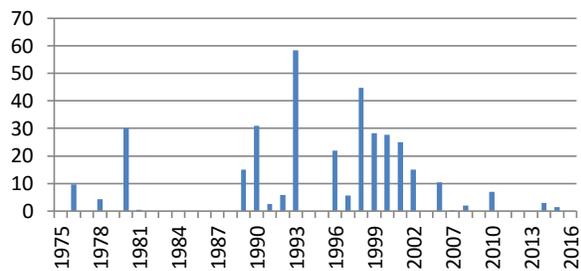




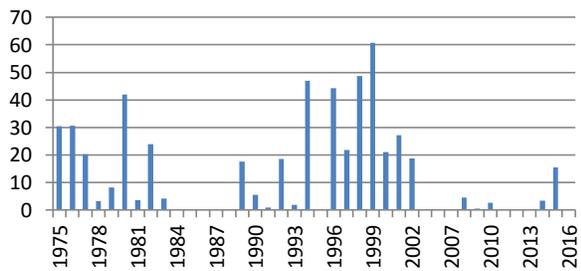
Cabezas - julio



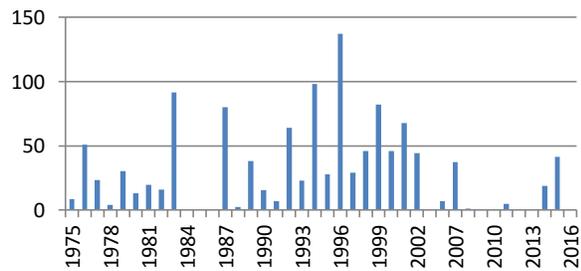
Cabezas - agosto



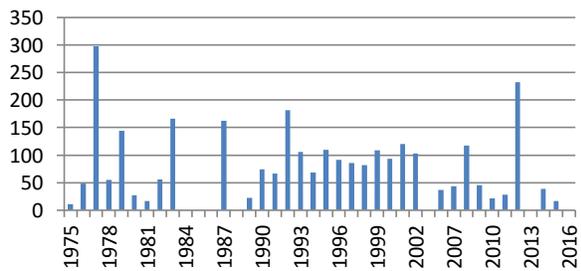
Cabezas - septiembre



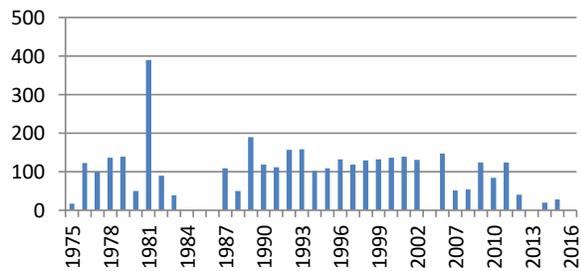
Cabezas - octubre

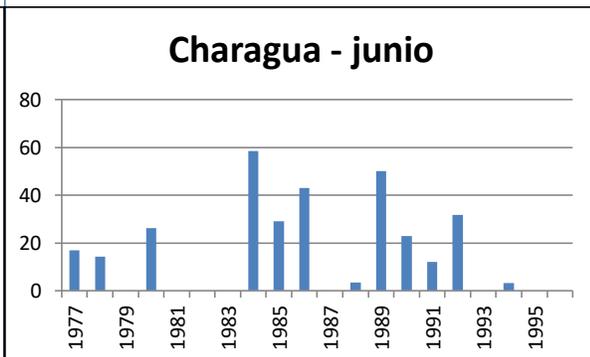
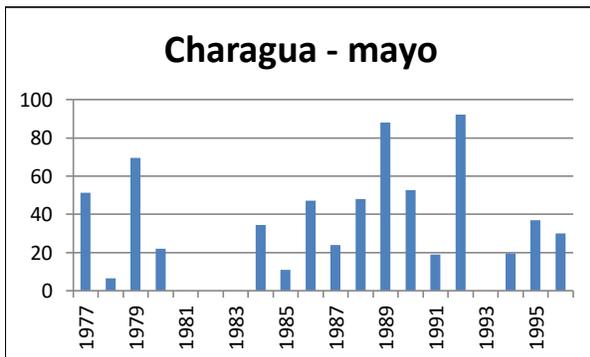
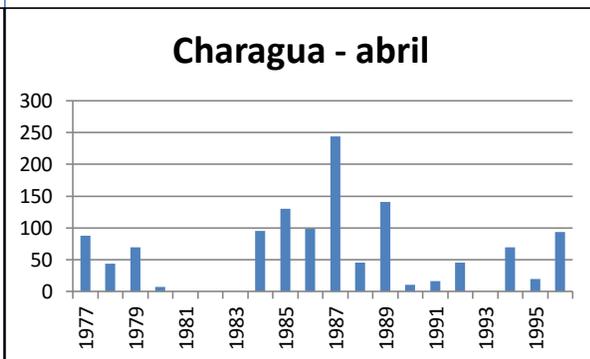
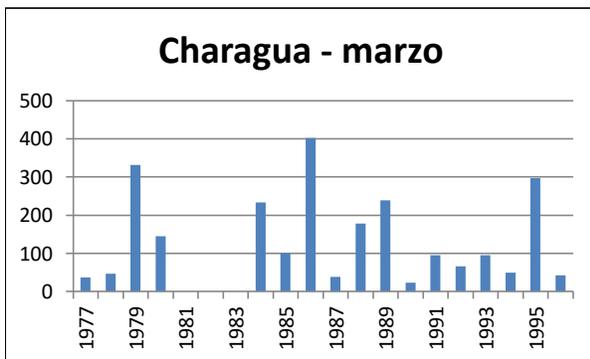
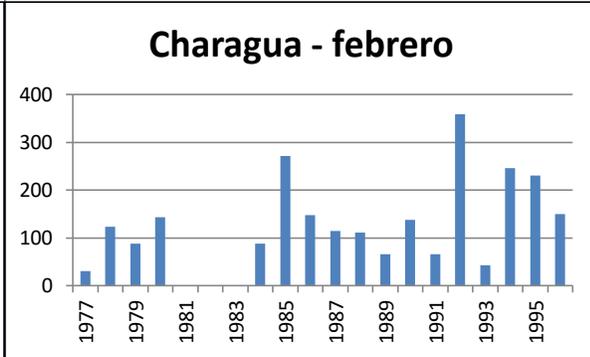
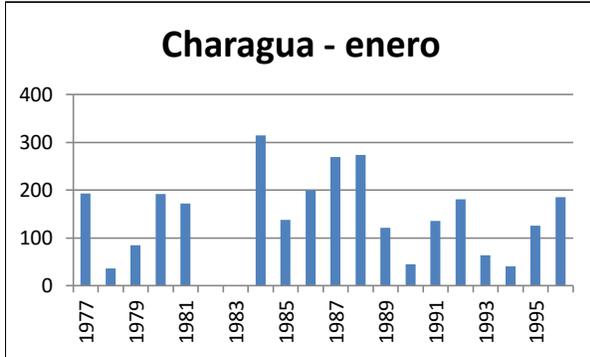


Cabezas - noviembre

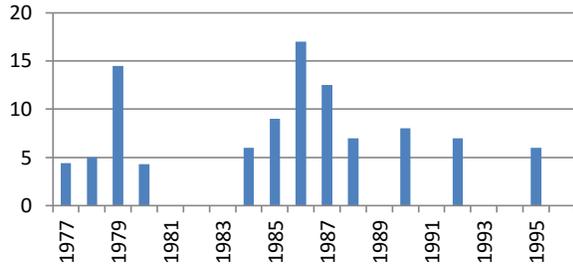


Cabezas - diciembre

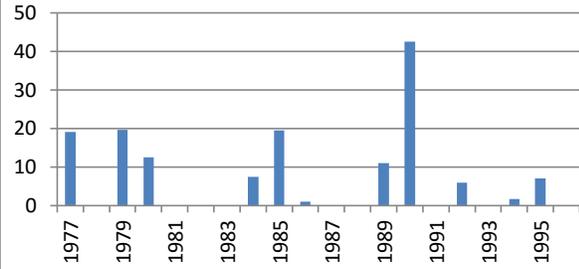




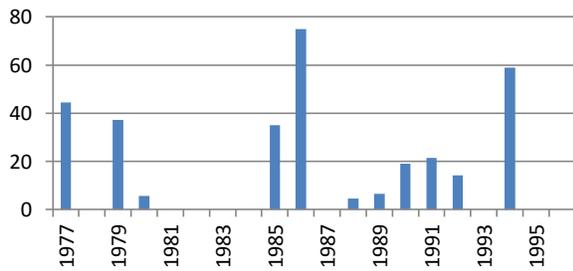
Charagua - julio



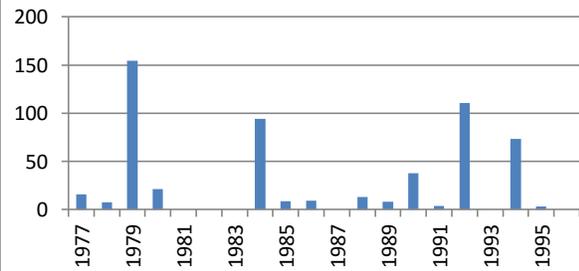
Charagua - agosto



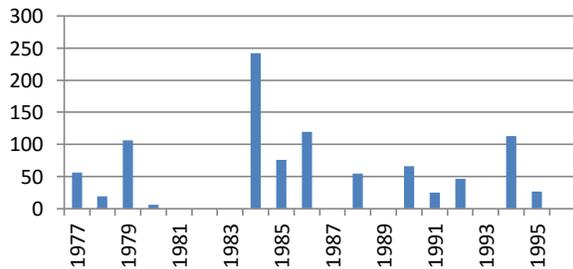
Charagua - septiembre



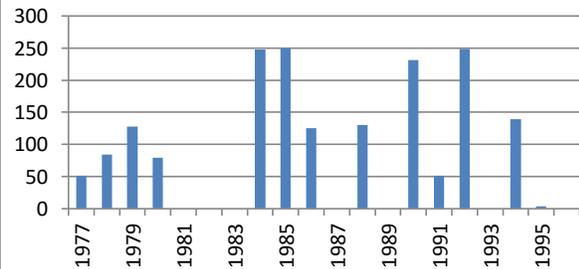
Charagua - octubre

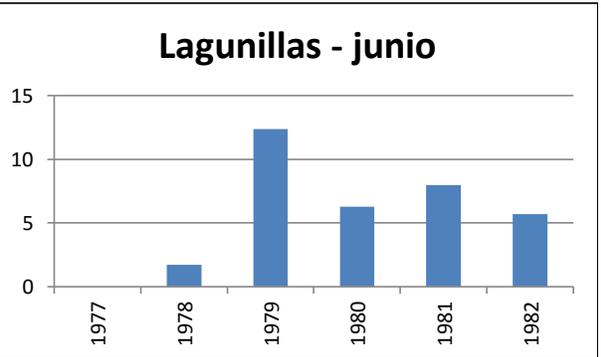
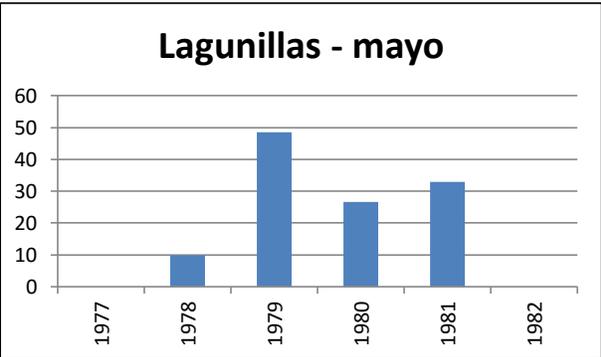
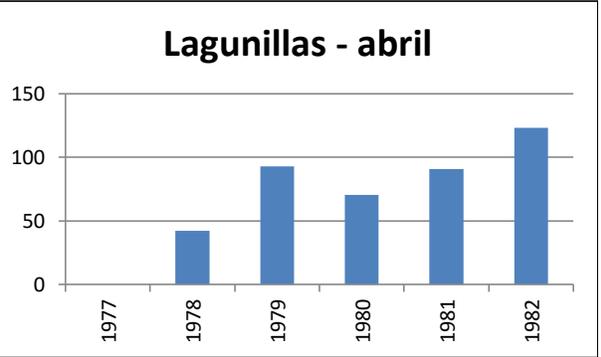
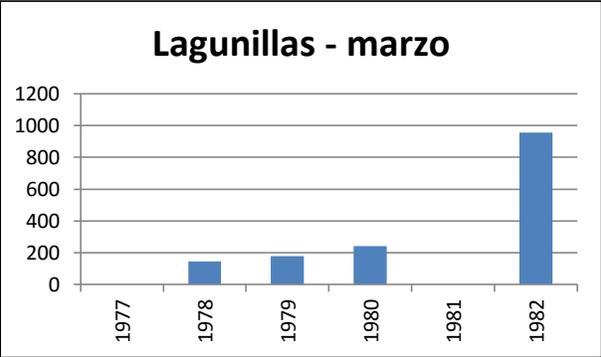
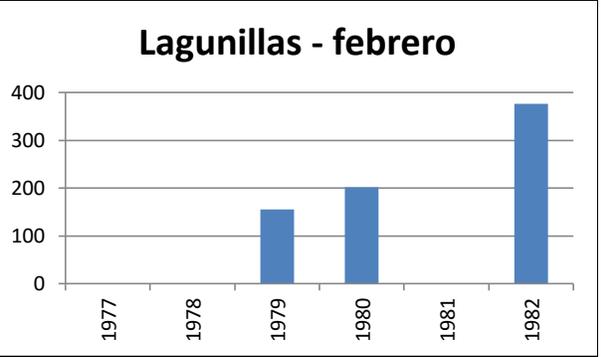
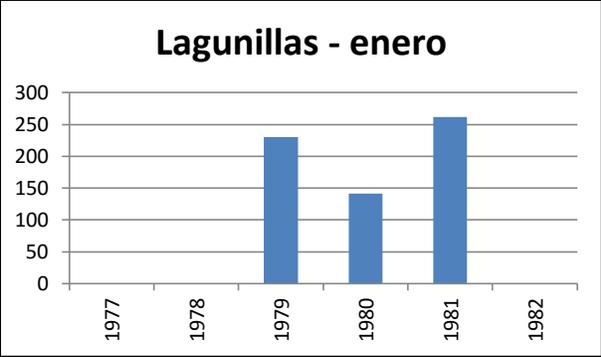


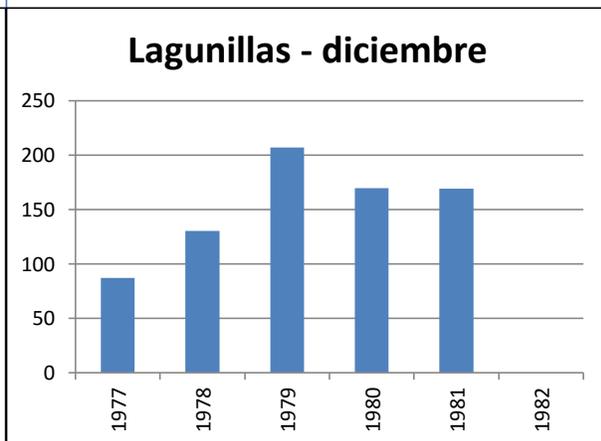
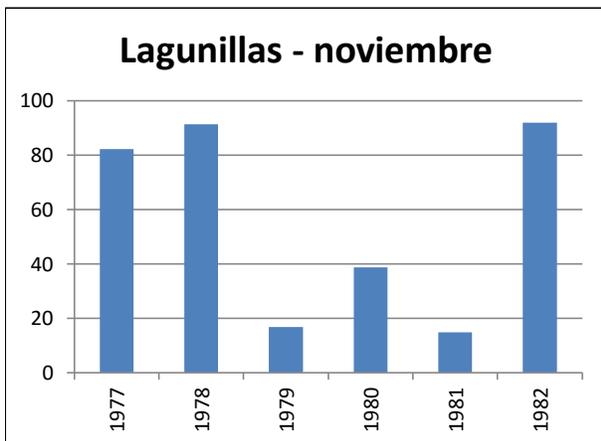
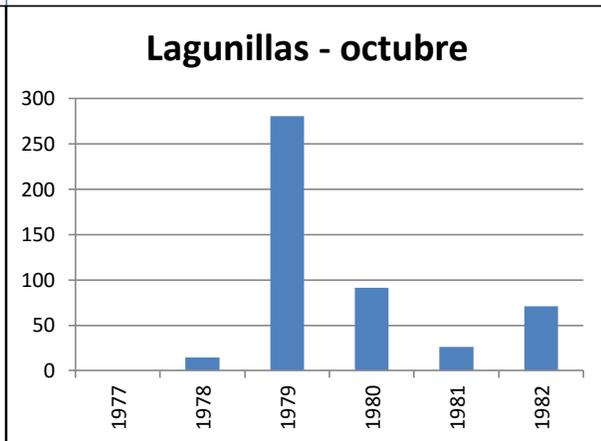
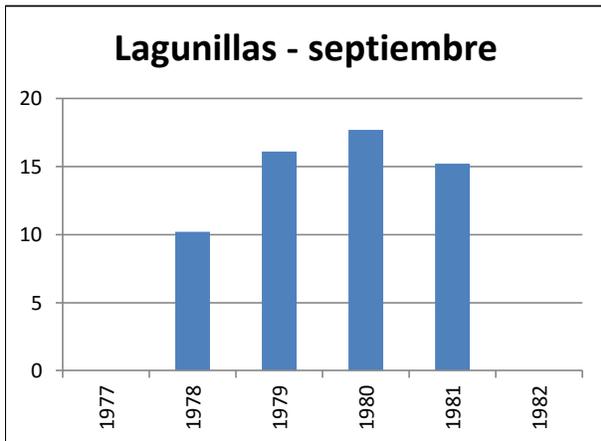
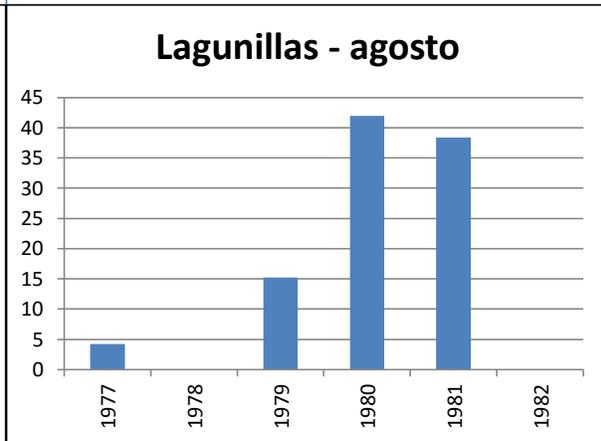
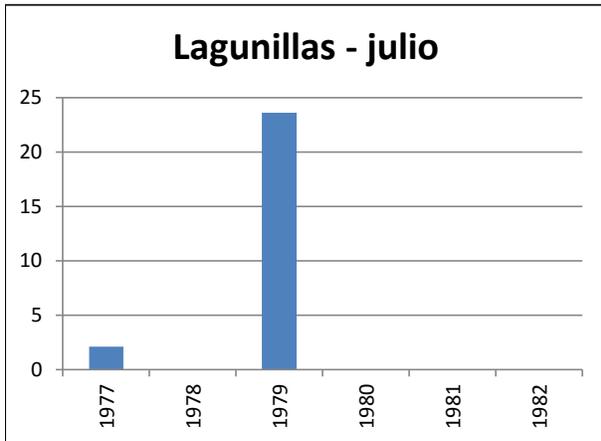
Charagua - noviembre



Charagua - diciembre







Anexo 2 Imágenes del trabajo llevado a cabo



Foto 1 - Tolata, presa construido en 2011, seca y sin mantenimiento básico



Foto 2 - Tolata - Equipo de perfil geo-eléctrica



Foto 3 - Valle Alto de Cochabamba - Equipo de perforación de COFADENA



Foto 4 - Valle Alto de Cochabamba. Muestras tomadas durante perforación. Cada taza represente un metro de sub-superficie, y se puede ver capas de arcilla y arena



Foto 5 - Valle Alto de Cochabamba -Perfil eléctrica, utilizada para diseñar ubicación de filtros en el pozo



Foto 6 - Vale Alto de Cochabamba - Tipico pozo para riego



Foto 7 - Cabezas - Revisando operación de manantiales que forman parte del abastecimiento municipales



Foto 8 - Cabezas - Pozo existente, que suministra 5 l/s al parte del municipio