



Viceministerio de Recursos Hídricos y Riego  
Dirección General de Cuencas y Recursos Hídricos



Universidad Mayor de San Simón



Proyecto Cuenca Pedagógica Pucara



*Reporte de investigación:*

# **Sobre-explotación de aguas subterráneas en Punata: causas y efectos**

*Aníbal Mayta, Alfredo Durán*

*Cochabamba, junio de 2015*



Plan Nacional de Cuencas  
Programa Intercultural de Cuencas  
Pedagógicas



Facultad de Ciencias Agrícolas, Pecuarias  
y Forestales



Entidad Facilitadora:  
Centro Andino para la Gestión y Uso el Agua

## Contenido

<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>3</b>
<b>2. CONTEXTO Y PROBLEMÁTICA .....</b>	<b>4</b>
<b>3. MARCO CONCEPTUAL: DEBATE SOBRE LA SOBRE-EXPLOTACIÓN DEL AGUA SUBTERRÁNEA .....</b>	<b>6</b>
3.1. Agua subterránea: un bien común.....	6
3.2. Aguas subterráneas: gobernabilidad y gobernanza.....	8
3.3. Sobre-explotación de acuíferos.....	9
3.4. Factores socioeconómicos en la sobre-explotación de las aguas subterráneas.....	12
3.5. Factores tecnológicos de la sobre-explotación de acuíferos .....	13
<b>4. EL PROCESO DE SOBRE-EXPLOTACIÓN DE AGUA SUBTERRÁNEA EN PUNATA.....</b>	<b>15</b>
<b>5. EFECTOS DE LA SOBREENPLOTAÇÃO DE AGUA SUBTERRÁNEA EN EL ABANICO DE PUNATA.....</b>	<b>22</b>
5.1 Descenso de niveles freáticos .....	22
5.1.1 Incremento de la profundidad de perforación .....	24
5.1.2 Aumento de los costos perforación y bombeo .....	26
5.2 Reducción de caudales .....	27
5.3 Problemas de fisura y colapso de terreno .....	30
5.4 Mayor competencia y conflictividad en la explotación de agua subterránea .....	31
<b>6. CONCLUSIONES .....</b>	<b>33</b>
<b>7. BLIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>34</b>

## 1. Introducción

El uso de aguas subterráneas como fuente de suministro, tanto para usos domésticos, industriales y agropecuarios, tiene numerosos aspectos favorables, como son la cercanía a los sitios de uso y consumo, la permanente disponibilidad de agua (mientras no existan problemas críticos con el acuífero, el pozo o el sistema de bombeo), la usualmente buena calidad del agua y la gestión de un sistema de pozo es independiente de otros sistemas hídricos y depende del usuario o grupo de usuarios que utiliza sus aguas, por lo cual los derechos de uso y las modalidades de distribución, operación y mantenimiento se deciden localmente. Es el caso de los Valles de Cochabamba, donde los pozos se han constituido en una de las fuentes más preciadas de agua.

Sin embargo, el proceso de perforación de pozos se ha intensificado gradualmente, y a la fecha se percibe una situación crítica caracterizada por las demandas y continuidad de perforaciones de nuevos pozos, al no existir posibilidad de acceder a otras fuentes de agua; y por el otro lado, las preocupaciones de la misma gente en relación al descenso de caudales y niveles freáticos, así como la distancia mínima que debería haber entre pozos. Las preocupaciones además se extienden a problemas más complejos como los procesos de cambio de uso del suelo que pueden incidir en la capacidad de recarga y almacenamiento de acuíferos, los hundimientos de terrenos (subsistencia), y los probables cambios en el sentido de los flujos subterráneos que podrían tener efectos sobre el régimen fluvial y en el desecamiento acelerado de algunos sectores.

Las investigaciones efectuadas durante los últimos años por el Centro AGUA, han generado evidencia de sobre-explotación de los acuíferos de los Valles de Cochabamba, y del abanico de Punata en particular, zona distal de la denominada Cuenca Pedagógica Pucara, que es parte del programa de Cuencas Pedagógicas del Plan Nacional de Cuencas. El Centro AGUA desarrolló anteriormente 3 inventarios de pozos (1998, 2005 y 2012) para comprender la dinámica de la explotación de agua subterránea, así como varias investigaciones sobre las formas de gestión y uso del agua. También se hicieron estudios para caracterizar la estructura del acuífero y determinar la recarga de agua subterránea en el abanico de Punata, a través de mediciones directas y con el apoyo de modelos.

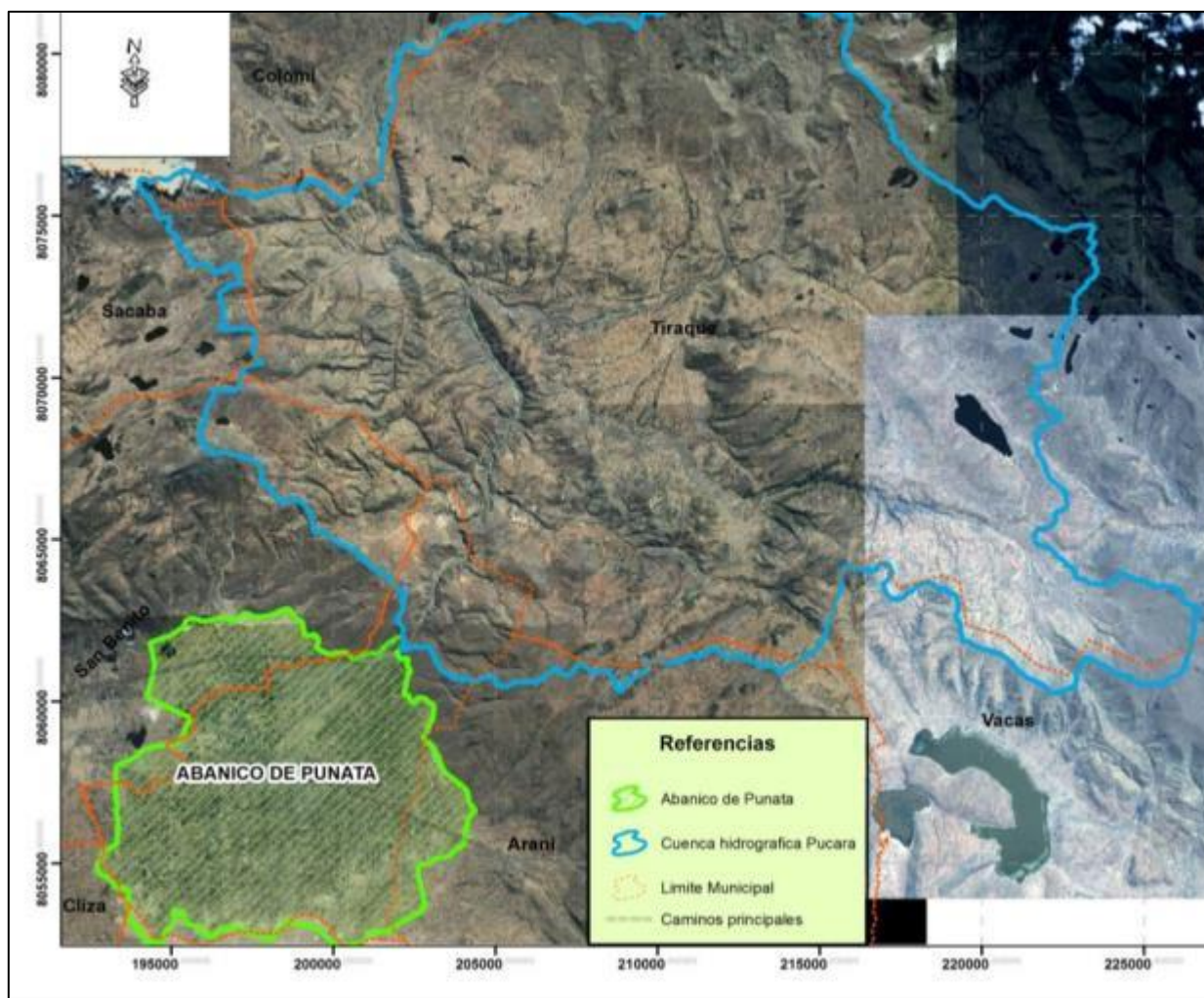
Sin embargo, no hubo un esfuerzo compartido de las autoridades locales que permitiese discutir, divulgar y profundizar el conocimiento sobre las características, potencial y límites de los acuíferos, a fin de establecer pautas para su explotación sostenible. Tampoco se han previsto acciones orientadas a mantener o incrementar la recarga. Es decir, nunca hubo la capacidad institucional de planificar y regular el proceso de sobre-explotación, el cual ocurre en un marco de anomia institucional y presiones sociales para la perforación de nuevos pozos.

Ante la evidencia empírica y las opiniones de diversos actores sobre el estado de los acuíferos en Punata, en el marco del proyecto Cuenca Pedagógica Pucara se planteó realizar una investigación específica orientada a entender el proceso, las causas y los efectos de la sobre-explotación de aguas subterráneas en el abanico de Punata. Este

reporte presenta los resultados de dicho estudio, mostrando evidencias de la sobre-explotación, abordando las causas subyacentes de este proceso, y los efectos ambientales, sociales, económicos y político-legales.

## 2. Contexto y problemática

El Abanico aluvial de Punata se encuentra en la región del Valle Alto de Cochabamba, abarca zonas de los municipios de Punata, Villa Rivero y San Benito, y una pequeña superficie del abanico se encuentra sobre la provincia de Arani. Geográficamente el abanico se halla entre las coordenadas 17°29'43" y 17°35'36" de Latitud Sur y 65°46'56" y 65°52'42" de Longitud Oeste, a una altitud comprendida entre los 2710 y 2800 msnm (Figura 1).

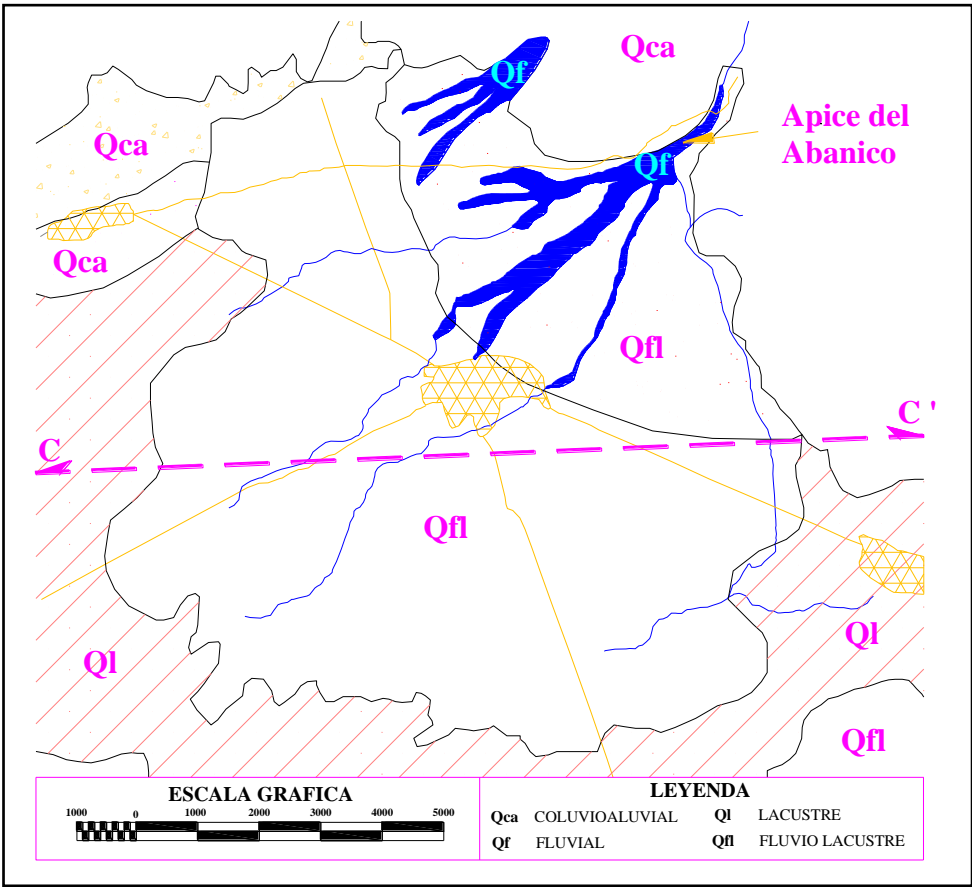


*Figura 1. Ubicación de la zona de zona de estudio*

La zona se caracteriza por presentar clima templado, semi árido, con dos periodos climáticos claramente diferenciados según datos de la estación meteorológica de Chaupisuyu: un periodo lluvioso entre noviembre y marzo donde se concentra el 86.4 %

de la precipitación anual, siendo enero (79.6 mm) el mes con mayor precipitación; el periodo seco se extiende entre abril a octubre donde se concentra el 13.6 % de la precipitación anual, siendo julio (0.5 mm) el mes con menor precipitación. La temperatura máxima media anual es de 20.9 °C y la mínima media es de 6.2 °C, registrándose las temperaturas más altas en octubre y las más bajas en Junio

Por las características favorables del clima en el Abanico de Punata se desarrolla intensivamente la actividad agropecuaria, la cual se sustenta en el aprovechamiento de agua para riego. Punata, al estar situada a la salida de la cuenca Pucara, cuenta con las aguas del río Pucara, que han conformado, de acuerdo a la cantidad de agua fluyendo por el río y a como fueron establecidos derechos de agua, diferentes sistemas de riego tradicionales como la Mit'a, Rol, Pilayacu Pucara y Pilayacu La Villa. Asimismo cuenta con recursos provenientes de embalses ubicados en la parte alta de la cuenca (Tiraque). Los embalses de Laguna Robada y Lluska Khocha abarcan diferentes áreas de riego en el Abanico de Punata y cada sistema beneficia a 10 comunidades. Además, el sistema de Totorá Khocha, el mayor embalse en la cuenca Pucara, se superpone a ambos, ya que riega toda el área de Punata (63 comunidades).



**Figura 2. Geología regional: abanico de Punata**  
Fuente: (SALZGITTER CONSULT GMBH, 1985)

El Abanico de Punata constituye una de las zonas con alta disponibilidad de agua subterránea ya que presenta condiciones favorables para su transporte y almacenamiento. Según el PIRHC (1978), las unidades estratigráficas con sus correspondientes características hidrogeológicas para la cuenca del Valle Alto, se han originado en el Holoceno y el abanico de Punata presenta principalmente depósitos fluviales (Qf), caracterizados por materiales de grano grueso formados por cantos rodados, pedrones, gravas, con contenido de arenas y arcillas, formando abanicos aluviales y depósitos de cauce de río (Figura 3). La permeabilidad de estos materiales varía de regular a muy buena. Los depósitos en los cauces constituyen zonas de mayor recarga. El Abanico de Punata en la época de lluvia se alimenta de la recarga por infiltración del río Pucara, cuyo cauce en el Abanico se ramifica en cuatro ríos: Paracaya, Wasa Mayu, Morro y Puka Orko.

Tales cualidades hidrogeológicas de los acuíferos han determinado un proceso de aprovechamiento de aguas subterráneas a través de crecientes captaciones por medio de pozos profundos, el cual ha sido exacerbado por la falta de condiciones de gobernanza de las aguas subterráneas. Hace unos 20 años, los esfuerzos por conseguir el agua necesaria y con la calidad deseada mediante pozos, daban por lo general buenos resultados (Durán, 1997). Actualmente, las inversiones en pozos ya no son tan seguras. Se han reportado crecientes casos de pozos que no tienen agua, u obtienen tan poca que no se justifica su bombeo. Pero además, la perforación de pozos se plantea como alternativa para cualquier zona en la que falte agua, así las condiciones hidrogeológicas no sean las mínimas requeridas.

Este proceso ha generado paulatinamente una sobre-explotación de los acuíferos de Punata, con serias consecuencias ambientales, como el continuo descenso de niveles freáticos, la reducción de caudales, interferencia entre pozos y un escenario de creciente conflictividad y preocupación por las posibles consecuencias socioeconómicas que podrían derivarse de esta situación, poniendo en riesgo no solo la continuidad de la explotación de aguas subterráneas y la sostenibilidad de los sistemas hídricos establecidos con aguas subterráneas en el Abanico de Punata, sino incluso los modos de vida y sustento de los pobladores.

### **3. Marco conceptual: debate sobre la sobre-explotación del agua subterránea**

#### **3.1. Agua subterránea: un bien común**

Los procesos de perforación de pozos en los Valles de Cochabamba, y de Punata en particular, se realizan en un contexto de ausencia de un marco legal (la Ley de Aguas data de 1906), por tanto no existe una autoridad de aguas, ni las autoridades políticas pueden ejercer un control efectivo sobre los múltiples intentos de perforación que ocurren en cualquier momento.

Al no existir una base de información que permita efectuar algún tipo de planificación seria, los POA's municipales presentan una larga lista de proyectos de perforación de

pozos, siendo ésta la única forma de planeamiento, básicamente con fines de inversión y sin ningún criterio de sostenibilidad. Como también resulta obvio, no existe ningún mecanismo de regulación, excepto tal vez el reclamo, cada vez mas frecuente, de otro grupo de usuarios de aguas subterráneas que siente afectados sus derechos y sus intereses por la cercanía de un nuevo pozo.

Aunque la explotación de las aguas subterráneas mediante pozos es relativamente nuevo, estos nuevos sistemas de agua en zonas rurales de los Valles se inscribieron dentro de un marco plurilegal en el cual los Usos y Costumbres han constituido históricamente el sistema local que define las reglas del juego y determinan derechos y obligaciones en relación al uso de los recursos naturales, en particular del agua.

No obstante, la situación de anomia no solo ha sobrepasado la capacidad institucional formal existente, sino también está desestructurando la base de los Usos y Costumbres, pilar de las relaciones y prácticas intercomunales e interpersonales. La anomia es un estado que surge cuando las reglas sociales se han degradado o directamente se han eliminado y ya no son respetadas por los integrantes de una comunidad (Waldmann, 2006). El concepto, por lo tanto, también puede hacer referencia a la carencia de leyes. Reciben este nombre todas aquellas situaciones que se caracterizan por la ausencia de normas sociales que las restrinjan.

El agua subterránea puede considerarse un recurso o bien común, ya que su estado en la Naturaleza brinda condiciones para ser aprovechada por diversos tipos de usuarios, y por tanto la hacen vulnerable a las acciones humanas, pudiendo derivar en procesos de sobre-explotación y creciente contaminación de acuíferos. Su aprovechamiento se inscribe por tanto dentro de los debates sobre el uso sostenible de los recursos naturales, los cuales a su turno hacen referencia a conceptos relacionados a los bienes comunes, gobernanza y sostenibilidad en el uso de los recursos.

Hardin (1968) en su “Tragedia de los Bienes Comunes”, describe una situación en la cual varios individuos, motivados por sus necesidades y actuando racionalmente en su propio interés personal, terminan por destruir un recurso compartido limitado (el bien común) aunque a ninguno de ellos, ya sea como individuos o en conjunto, les convenga que tal destrucción suceda. Según Hardin, el centro del debate sobre el aprovechamiento de los recursos naturales es acerca de la relación estructural e institucional entre los principios de libertad, responsabilidad y necesidad por una parte; y por otra, el mal uso (abuso y demanda sin límites o restricciones), de los recursos naturales. Este dilema se traduce en situaciones en las cuales se presentan exceso de derechos de uso o ausencia de derechos de preservación, ocasionados por el crecimiento continuo de la población lo cual deriva en una intensidad de explotación del recurso cada vez mayor, hasta su agotamiento. Para Hardin, la solución se encuentra en la restricción incremental de algunos derechos o libertades, y en última instancia, el derecho a la reproducción.

La preocupación primordial de Hardin era el crecimiento de la población, cuyo control implica imponer controles sobre el uso de ciertos recursos y, eventualmente traducirse

en limitaciones al número de personas que pueden aspirar a vivir en ese hábitat. Asimismo, resalta otro aspecto esencial: la fuerza de la racionalidad económica. Cada individuo encuentra conveniente aumentar el uso del recurso compartido en su propio beneficio, aún cuando sepa que eso impone costos adicionales sobre la comunidad; es decir, él obtiene los beneficios del uso extra mientras que el costo es compartido o recae mayormente sobre otros.

Aunque Hardin fue ferozmente criticado por la comunidad científica de su tiempo, y rebatido por nuevos postulados en defensa de los regímenes de gestión de bienes comunes, entre los que destacan los de Elinor Ostrom, premio Nobel de Economía el año 2010, el dilema de Hardin ha persistido y a la fecha se traduce en como preservar los bienes comunes globales, como la propia Tierra, el agua y la atmósfera.

Por analogía, los procesos de sobre-explotación de aguas subterráneas que se observan en todo el planeta pueden ser entendidos desde la óptica de Hardin, pues por las particularidades de las aguas subterráneas (un recurso invisible), el comportamiento de la gente se orienta a capturar toda el agua posible, sin considerar las consecuencias que su comportamiento individual puede ocasionar a otros usuarios o a la capacidad de los acuíferos para seguir suministrando agua.

### **3.2. Aguas subterráneas: gobernabilidad y gobernanza**

Por otro lado, conceptos como gobernabilidad y gobernanza son importantes para entender el contexto socio-político en el cual se desarrolla la explotación de aguas subterráneas. Gobernabilidad puede entenderse como “un estado de equilibrio dinámico entre el nivel de las demandas societales y la capacidad del sistema político (estado/gobierno) para responderlas de manera legítima y eficaz” (Camou, 2001, citado por Mayorga y Córdova, 2007). Prats (2003) por su parte considera a la gobernabilidad como “un atributo de las sociedades que se han estructurado sociopolíticamente de modo tal que todos los actores estratégicos se interrelacionan para tomar decisiones de autoridad y resolver sus conflictos conforme a un sistema de reglas y de procedimientos formales e informales (...) dentro del cual formulan sus expectativas y estrategias” (en IIG 2003:28). De ambas definiciones se colige que gobernabilidad no solo es una atribución del Estado en sus diversos niveles, sino que también es una cualidad de las sociedades.

Por otro lado, la gobernanza puede ser entendida como “la acción y el efecto de gobernar y gobernarse” (Camou 2001: 20), es decir, la manera específica en que los gobiernos establecen sus agendas, diseñan sus políticas, toman sus decisiones y evalúan sus impactos. Por su parte, Prats (2001: 119), cita a Elena Martínez, Directora del Buró de América Latina y el Caribe del PNUD, quien indica que gobernanza incluye el “marco de reglas, instituciones y prácticas establecidas que sientan los límites y los incentivos para el comportamiento de los individuos, las organizaciones y las empresas”.

Mientras gobernabilidad se refiere a “como se estructura, organiza y desempeña” un Estado para desarrollar sus acciones, gobernanza se orienta mas a analizar su funcionamiento: “que hace” el Estado. El “que” y el “como” implican establecer una

estrategia de orden, es decir, se parte de la premisa de que el Estado y la sociedad tienen claro lo que hay que hacer (gobernanza) sobre diversos aspectos, por ejemplo en relación a la gestión del agua subterránea. Asimismo, siguiendo el mismo ejemplo, estaría también claro como se va a organizar todo el proceso de gestión del agua subterránea (governabilidad).

Sin embargo, este pretendido “ordenamiento” tiende a desordenarse en situaciones en las que se confrontan intereses de sectores sociales que tienen demandas urgentes e imperiosas, y que además cuentan con el poder de decisión política para lograr sus objetivos. Si por el otro lado está como objeto de apropiación un recurso natural como el agua subterránea, recurso ignoto, puesto que no se conoce su origen, su estado ni todo el ciclo hidrológico; y además invisible, pues el agua está en el subsuelo; se entra fácilmente en un proceso caótico de creciente explotación, hasta traspasar los límites de la sostenibilidad y conducir al agotamiento del acuífero, en la misma lógica descrita por Hardin (1968).

Estas consideraciones son de importancia para caracterizar los procesos de sobre-explotación de acuíferos, en particular el análisis de las causas y los efectos de la sobre-explotación de acuíferos.

### **3.3. Sobre-explotación de acuíferos**

Para “conocer” un acuífero se requieren una serie de estudios sobre su estructura (estratigrafía y límites) y funcionamiento (características hidrológicas), como sustento para estimar los procesos de recarga, transporte, almacenamiento y descarga de las aguas subterráneas, es decir entender el balance hídrico subterráneo. Tales estudios son casi siempre complicados y costosos, y pocas veces son concluyentes, justamente por dificultades de escala, equipamiento, personal especializado y recursos disponibles, entre otros factores.

Resulta de ello que ni el conocimiento teórico ni el entendimiento empírico de los fenómenos hidrológicos llegan a ser plenamente comprendidos y por tanto, tampoco son difundidos con la profundidad necesaria a los distintos actores y a los niveles operativos necesarios, para que dicho conocimiento sea un importante instrumento de decisión y gestión de las aguas subterráneas. A este problema se suma la crónica falta de información en Bolivia sobre distintos tipos de datos: hidrológicos, meteorológicos, edáficos, geológicos, etc. Ello se traduce en que la información hidrológica es prácticamente inexistente o muy poco precisa cuando existe alguna.

En tal contexto, se observa que la débil institucionalidad instalada, es incapaz de planificar y gestionar el aprovechamiento de las aguas subterráneas, ni siquiera de regular el proceso de explotación, mientras que las demandas de agua suman y siguen, la inequidad en el acceso al agua se acentúa (los que están mejor ubicados o poseen más dinero tienen más agua), los intentos de perforación de pozos bordean lo trágico (varios nuevos sistemas de pozos no funcionan o funcionan limitadamente por deficiencias ya sea en el diseño, constructivas, o por no haber sido completada toda la

infraestructura hidráulica necesaria), y aumentan los contubernios entre empresas perforadoras y autoridades con poder de decisión sobre el financiamiento a proyectos hídricos, que con frecuencia terminan en nuevos y malos proyectos de pozos, de funcionamiento cada vez más precario, y con gente decepcionada en sus expectativas.

El resultado final es la sobre-explotación de aguas subterráneas en un marco de desgobierno, y se vislumbra un futuro aún más caótico y amenazante para la sostenibilidad de los medios de sustento de los pobladores locales, unido al deterioro acelerado de los acuíferos y ecosistemas locales.

¿Por qué, en el caso de Cochabamba y muchos otros lugares, se mantiene el comportamiento de la gente en relación a la sobre-explotación de las aguas subterráneas, aún a sabiendas de lo insostenible de tal proceso? Muchas pueden ser las respuestas: motivación social por mejores condiciones de salud y confort; beneficio económico resultante de la mayor disponibilidad de agua y diversidad de usos del agua; mantención y mejora de los medios de producción, entre otras causas (Durán, 2004).

Los intereses personales son muy difíciles de modificar, pero entonces, si las aguas subterráneas son un bien común fundamental para el bienestar futuro de las sociedades y la Madre Tierra, ¿cómo puede regularse o normarse el aprovechamiento de este bien común, de modo que se reviertan los procesos de sobre-explotación, y se pueda lograr una gestión sostenible de las aguas subterráneas?

Una medida inmediata es a través de las regulaciones que pueda implementar el Estado en sus diversos niveles, desde Leyes, Reglamentos, Ordenanzas, etc., acompañados por un fortalecimiento de las instancias institucionales que puedan hacer cumplir tales regulaciones. Sin embargo, pese a los esfuerzos desde el estado, las experiencias de muchos países muestran que los procesos de sobre-explotación y contaminación de acuíferos tienen una dimensión mundial, como lo reportan Famiglietti et al (2015) y muchos otros autores, y que puede corroborarse fácilmente por medio de cualquier búsqueda en Internet.

Por tanto, parece ser que, al salirse la problemática fuera de la capacidad de acción de las autoridades formales, es la propia gente en el contexto local la que tendrá que asumir los roles y responsabilidades que se requieran para no llegar a desastres ambientales, como ya se reportan en muchos de los grandes acuíferos del planeta. Asumir tal compromiso implica un proceso de empoderamiento colectivo, en el cual autoridades, instituciones y usuarios trabajan de forma organizada para diseñar mecanismos e instrumentos de gestión que son aplicados y respetados por todos.

Aunque tal aseveración parece ir en contra-ruta de los procesos de globalización y mercantilización de los recursos naturales que predominan en el planeta, no debe perderse de vista que muchas culturas lograron grandes desarrollos humanos, tecnológicos y económicos sin deterioro ambiental significativo. Como Ostrom sostiene: “los utilizadores de los recursos comunes frecuentemente desarrollan sofisticados mecanismos de decisión y aplicación de reglas para manejar conflictos de interés” (Ostrom, 1999). Ostrom además caracteriza las reglas que promueven resultados positivos de gestión colectiva. Pero el establecimiento de estos “mecanismos de decisión

y aplicación de reglas” requieren no solo de buena voluntad, sino además de un profundo conocimiento sobre las condiciones naturales, amenazas, vulnerabilidad y resiliencia, beneficios, potenciales y límites que tienen los bienes comunes.

La implementación de estos mecanismos involucra pactos sociales y políticos con una sólida base técnica y capacidad de gestión. Estas condiciones son cada vez más difíciles de cumplir, debido a los rápidos cambios en los contextos locales, que antes que a diseñar, implementar y consolidar estos “mecanismos de decisión y aplicación de reglas”, tienden a desestructurar los ya existentes. Dicho de otra manera, la visión unívoca y la dinámica socioeconómica que la globalización ha impuesto a la humanidad, marcha de forma arrolladora en dirección opuesta a los patrones naturales y la base tecnológica y socio-política sobre las cuales se cimentaron formas de gestión local de los recursos naturales en distintas culturas, como la Andina, a través de la historia.

Por ello, la gestión del conocimiento debe ser una opción principal en procesos de empoderamiento y desarrollo de condiciones de gobernanza del agua subterránea. La gestión del conocimiento es un concepto que proviene de la Teoría Organizacional, desarrollado inicialmente para un mejor desempeño empresarial. Wiig (1997), señala que “la gestión del conocimiento tiene perspectivas tácticas y operativas, es más detallado que la gestión del capital intelectual, y se centra en la forma de dar a conocer y administrar las actividades relacionadas con el conocimiento, así como su creación, captura, transformación y uso. Su función es planificar, implementar y controlar, todas las actividades relacionadas con el conocimiento y los programas requeridos para la administración efectiva del capital intelectual”. Además, tiene “el fin de transferir el conocimiento desde el lugar dónde se genera hasta el lugar en dónde se va a emplear” (Fuentes, 2010).

Por otra parte, desde una perspectiva tecnológica, la sobre-explotación de un acuífero puede ser definida como la extracción de agua que es mayor a la correspondiente recarga durante un periodo suficientemente largo de tiempo para descartar anomalías climáticas (Llamas, 1992). Auge (2006), define sobre-explotación como *“la extracción de agua subterránea que produce un marcado desequilibrio hidráulico, como consecuencia de una extracción que supera con amplitud y durante lapsos relativamente prolongados a la recarga natural, creando efectos adversos indeseables para el sistema hidrológico subterráneo”*.

El efecto directo de la sobreexplotación es el descenso continuado de los niveles piezométricos, lo cual reduce la cantidad de agua almacenada y progresivamente deriva en la reducción de los caudales extraídos. Por consiguiente, los estudios de sobreexplotación deben ser evaluados en un periodo de tiempo suficientemente largo como para diferenciar las consecuencias similares que tendrían periodos anómalamente secos.

Sin embargo, la sobre-explotación no puede ser vista únicamente desde el punto de vista de efectos ambientales, aunque constituya uno de los más graves procesos de deterioro, a veces irreversible, de los sistemas naturales que son la base de la existencia en este planeta.

El análisis de la sobre-explotación de acuíferos debe considerar de una forma mas integral las complejas relaciones de causa y efecto que se generan en los ámbitos y niveles político-legales, sociales, económicos, ambientales y tecnológicos, de modo que ayuden a una caracterización mas completa de la sobre-explotación.

### **3.4. Factores socioeconómicos en la sobre-explotación de las aguas subterráneas**

Hay algunos factores críticos que ayudan a entender el proceso de sobre-explotación que ocurre en Cochabamba, y que con sus respectivos matices, se produce en la mayor parte de los acuíferos del Mundo, en particular en zonas secas (Famiglietti, 2015). Por una parte, el incremento de población y los afanes por mejorar las condiciones de vida e ingresos, generan intensificación de los usos del agua, cuyo resultado directo genera nuevas perforaciones de pozos que aceleran el desecamiento de acuíferos, con una amplia gama de consecuencias para los usuarios y para los ecosistemas.

El primer detonante de la sobre-explotación es el crecimiento poblacional, el cual determina que los pobladores de una región, como Punata por ejemplo, busquen incrementar sus ingresos y modos de subsistencia. El agua subterránea es un factor determinante que incide en mejoras en la producción y productividad. En el sector agrícola, una mayor disponibilidad de agua significa incrementar áreas de riego, nuevos cultivos de mayor valor nutritivo y/o económico, diversificar e intensificar la producción (mayor número de productos, de cosechas por año y mayor uso de la tierra), mayores rendimientos por unidad de tierra y/o por unidad de agua, o combinaciones de estas acciones que permiten incrementar significativamente los ingresos y mejorar la seguridad alimentaria familiar y regional (Durán, 1997).

Mayor disponibilidad de agua en el sector pecuario, implica la posibilidad de incrementar el número de crías y la diversificación de productos pecuarios, aumentar el número de animales, la producción de alimentos para el ganado, prácticas que en conjunto significan mayor valor económico de los emprendimientos pecuarios, mayor capacidad financiera, crecientes ahorros (en especie y en efectivo), diversidad de productos para el mercado y el consumo doméstico, además de mayores ingresos para las familias (Durán, 2004).

En el sector industrial, los beneficios son similares en términos de incrementar producción, productividad e ingresos, además de la posibilidad de cambiar la escala productiva, gracias a la seguridad del suministro de agua, aumentando así la magnitud de la producción y el valor agregado de los productos.

En el sector doméstico, la mayor disponibilidad de agua implica mejores condiciones de confort, higiene y salud, además de mayores facilidades para atender las múltiples necesidades domésticas: cocina, limpieza, lavado, incluida la posibilidad de incursionar en nuevos usos productivos del agua, como ser pequeñas huertas, servicios y productos derivados: helados, refrescos, mermeladas, etc. (Durán, 2004).

Es claro entonces que ante las posibilidades de mejora social y económica, las familias harán todos los esfuerzos necesarios para lograr mayores posibilidades de acceso al agua, y el agua subterránea se convierte así en uno de los recursos más preciados.

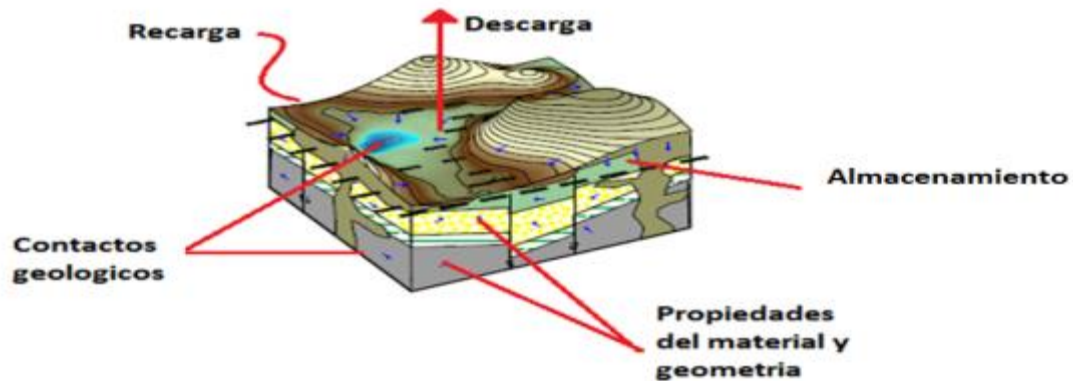
Esta dinámica debe ser acompañada simultáneamente por el desarrollo de mecanismos de gestión, planificación y regulación (Durán, 2013). El entorno institucional debe proveer el apoyo político, legal y financiero necesarios, de modo que existan facilidades y consistencia en las políticas de inversión (de Vries *et al*, 2005). Para tomar decisiones inteligentes se requieren asimismo acciones orientadas a evaluar las reservas de agua subterránea, como parte de un proceso de planificación racional que prevea los posibles excesos de la explotación de agua subterránea. Asimismo, se requiere establecer sistemas de regulación que definan las reglas del juego y los límites del aprovechamiento de acuíferos.

### **3.5. Factores tecnológicos de la sobre-explotación de acuíferos**

Este proceso se ve agravado por la falta de entendimiento sobre el ciclo que siguen las aguas subterráneas, no solamente a nivel de autoridades y usuarios, sino incluso de profesionales vinculados al desarrollo rural, incluidos técnicos de Municipios y ONG's. Este desconocimiento se explica en parte debido a que la Hidrogeología es un campo de conocimientos relativamente nuevo y altamente complejo. Pese a que presenta una serie de avances importantes por el uso de tecnología moderna, desde la relacionada con modelación, aplicaciones de sensores remotos hasta Geofísica, los avances en el conocimiento tardan en llegar mucho más tiempo a los niveles operativos del sector hídrico que los avances tecnológicos.

Y más allá de los intentos de aplicación de herramientas tecnológicas, el desconocimiento de los aspectos hidrogeológicos relacionados a comprender los procesos de recarga y los inconvenientes ligados a la explotación (descarga), genera una serie de problemas: la gente no cuenta con la información para entender mejor cuáles serían las mejores zonas de perforación, que características podrían tener los pozos (profundidad, ubicación de acuíferos, profundidad de la bomba, caudal óptimo, descenso racional de niveles freáticos), información que en conjunto permitiría lograr mejores inversiones, dar mayor vida útil a los pozos, optimizar la infraestructura hidráulica, definir las mejores condiciones de gestión del pozo/sistema, etc.

El modelo conceptual de un acuífero es un importante punto de partida para el análisis de las aguas subterráneas. Por un lado, el modelo permite establecer tentativamente la estructura de los acuíferos, sus características y estratos geológicos que lo conforman, la topografía superficial y red hidrográfica, que tienen gran importancia en la comprensión de los flujos de agua y la ubicación de zonas de recarga y descarga natural, y facilitan además identificar los bordes o límites del sistema acuífero. En la Figura 1, se esquematiza el modelo conceptual para el abanico de Punata.



**Figura 3.** Modelo conceptual del Abanico de Punata.  
Fuente: Ortiz, 2013 (Modificado de Garfias, 2010)

El modelo conceptual facilita comprender el funcionamiento hidrogeológico del acuífero, generándose paulatinamente a través de diversos estudios mayor conocimiento sobre los volúmenes de recarga y los flujos de agua que ingresan en el acuífero, así como su almacenamiento potencial, información necesaria para definir los caudales a ser explotados en una zona con un enfoque de sostenibilidad.

Los estudios deben ir acompañados por el monitoreo permanente de caudales y niveles piezométricos, para una mejor comprensión de los cambios que existan en el proceso de recarga, ya que por ejemplo en climas áridos y semiáridos la recarga puede ser importante en años húmedos excepcionales, pero decrece muy rápidamente al disminuir la precipitación, lo cual exige prudencia al caracterizar el funcionamiento del acuífero (Custodio, 1996). Pero además los parámetros que caracterizan la recarga no son fijos y dependen de cambios del uso de tierra tales como el grado de forestación, urbanización, existencia de regadíos (los retornos de riego pueden ser una recarga importante), otras dotaciones de agua, etc.

El progresivo agotamiento del almacenamiento del agua subterránea, expresado por los descensos del nivel freático, implica la disminución de la Transmisividad, parámetro que indica la capacidad de recarga de un acuífero y que está en función de la conductividad hidráulica y el espesor del acuífero. Asimismo, el descenso freático significa que el almacenamiento (expresado usualmente como Coeficiente de Almacenamiento, que indica el volumen de agua liberado por unidad de área y por unidad de descenso del nivel freático en un acuífero), también se está reduciendo. La consecuente reducción de caudales indica por tanto la disminución en la capacidad de un acuífero de reponer el volumen de agua extraído (la recarga es menor que la descarga), y la reducción en la capacidad de almacenamiento aprovechable.

El proceso de abatimiento de niveles freáticos es un proceso que a veces no es plenamente comprendido. Para entenderlo mejor, se puede asumir que el volumen de agua subterránea puede compararse con el volumen de agua que puede almacenar una esponja. Cuando la esponja está totalmente saturada, hay un máximo volumen retenido. Si se comienza a presionar la esponja, existirá una descarga de agua que se expresa por el

descenso paulatino de la zona saturada de agua, reduciéndose progresivamente el volumen almacenado, hasta llegar a su eventual desecamiento.

Dicho de otra manera, el descenso freático es una medida del desecamiento del acuífero. Al reducirse la altura de agua, también está disminuyendo el volumen de agua almacenada. Por tanto, las captaciones deben realizarse desde zonas cada vez más profundas, y a medida que desciende el nivel freático, desmejoran las condiciones hidráulicas iniciales (ya no hay abundante agua como al principio debido a que la recarga y el almacenamiento han disminuido), y los caudales que se capturan son progresivamente menores. Este proceso de desecamiento puede ir hasta el punto en que ya no sea factible ni técnica ni económicamente extraer agua por bombeo.

También grandes descensos del nivel piezómetro en formaciones no consolidadas suponen que éstas pueden compactarse al aumentar las tensiones efectivas en el terreno. Otros efectos de la sobreexplotación son también; la interferencia con manantiales, agua superficial y ecosistemas dependientes del agua subterránea, y casi siempre el deterioro de la calidad del agua, debido al ingreso de contaminantes.

En síntesis, puede afirmarse que las causas de la sobre-explotación de aguas subterráneas en Punata y otras regiones del país están determinadas por demandas socioeconómicas para aumentar el acceso y disponibilidad de agua, con énfasis creciente en captaciones de aguas subterráneas, en un marco de desconocimiento del ciclo hidrogeológico que determinan el estado y la dinámica de las aguas subterráneas. Todo ello genera una serie de efectos perjudiciales que derivan en situaciones de sobre-explotación de aguas subterráneas.

Es obvio entonces que la gestión de la información y del conocimiento generado a través de la investigación, debe ser incorporado en agendas educativas, ya sea vía currículas universitarias de pre y posgrado, pero especialmente en procesos de capacitación de actores y tomadores de decisiones. Este es un proceso paulatino pero de gran importancia para el posicionamiento de la investigación como herramienta de gestión.

Es también importante la posibilidad de influir en políticas hídricas, planificación, regulación, y en general en la toma de decisiones. Este es también un proceso paulatino pero que puede tener un importante impacto en la transformación de las modalidades de aprovechamiento y enfoques de gestión del agua subterránea no solo a nivel de sistemas hídricos, sino principalmente para la gestión a nivel regional de los sistemas de acuíferos.

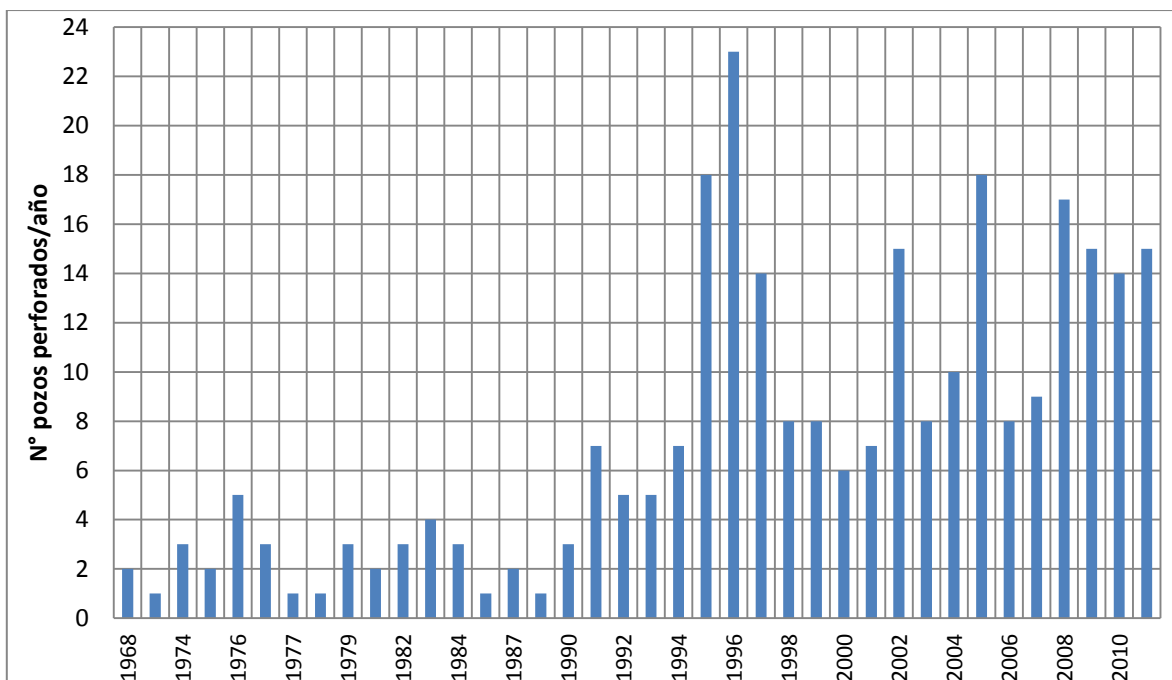
#### **4. El proceso de sobre-explotación de agua subterránea en Punata**

En el abanico de Punata se realizaron varias intervenciones estatales a partir de los años 70 en el mejoramiento y construcción de embalses y otras obras hidráulicas con la finalidad de incrementar la oferta de agua superficial. Dicho proceso permitió la intensificación de la producción agropecuaria, incrementando principalmente la producción bajo riego.

Según los estudios realizados por Rocha y Mayta (2007), en los años 80 con el agua de las represas (Laguna Robada y Lluska Khocha), pozos y aguas de río la producción era

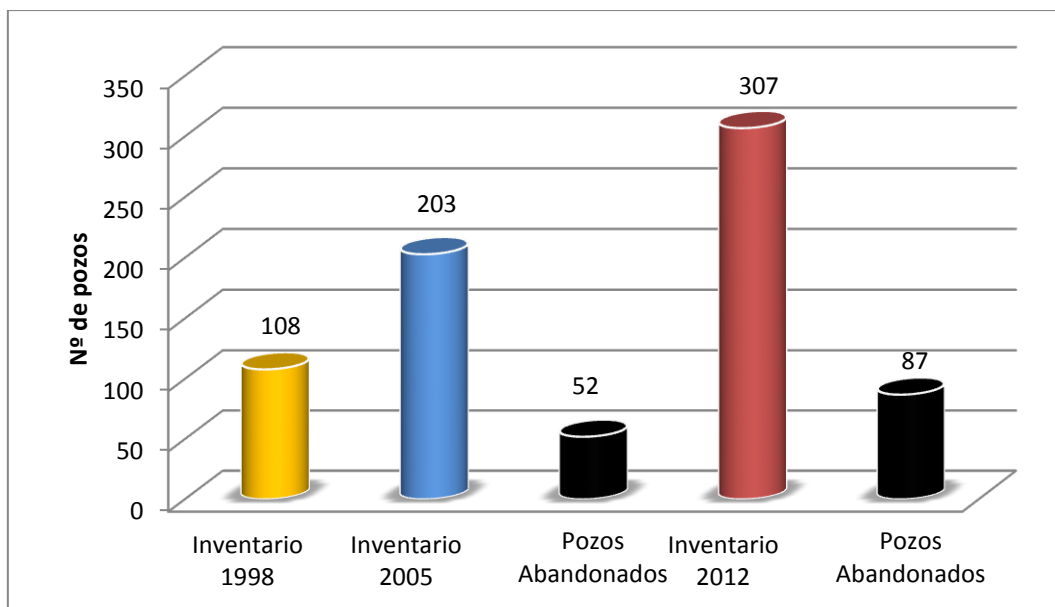
principalmente Maíz grano, Alfalfa y algunos Cereales (Trigo, avena). Luego de la implementación de la represa Totorá Khocha (1991) se produjo una mayor disponibilidad de agua, siendo ésta utilizada para el riego de cultivos tempranos y hortalizas. Esta dinámica productiva creó a su vez una mayor demanda de agua, que generó una mayor explotación de aguas subterráneas, al no existir posibilidades de incrementar en ese momento la oferta de aguas superficiales. Asimismo, el crecimiento acelerado de la población generó un incremento de las demandas de agua para uso doméstico. Inicialmente estas demandas se satisfacían con el agua proveniente de vertientes y pozos excavados superficiales, pero paulatinamente mediante pozos perforados.

Actualmente, los pozos de mayor capacidad son utilizados para riego como uso principal, otros pozos de menor capacidad con fines de consumo doméstico, además de algunos nuevos pozos para uso industrial, y las nuevas demandas de agua para riego solo pueden ser satisfechas con agua subterránea, ya que incrementar la disponibilidad de agua de fuentes superficiales (reservorios y ríos) implica proyectos de gran envergadura y fuertes inversiones, que como requisito previo a su implementación, requieren importantes acuerdos sociales y políticos, como lo demuestran los fallidos proyectos de Yungas de Vandiola y Kewiña Khocha en el Valle Alto. A raíz de que el agua proveniente de los reservorios en Tiraque no satisfacía las demandas de agua para riego y uso doméstico, se optó por la perforación de pozos profundos como alternativa. En los años 70 y 80 se iniciaron programas de perforación de pozos profundos cuya finalidad era conocer el real potencial de los acuíferos del Abanico de Punata. Durante estos primeros años la perforación de pozos era reducido (2-4 pozos/año). Sin embargo, dado el éxito de los pozos y en vista de que Punata contaba con acuíferos con alta capacidad de almacenamiento y recarga, a partir de los años 90 la perforación de pozos se incrementa bruscamente llegando a perforar el año 1996 un total de 23 pozos. La siguiente gráfica muestra la evolución de los pozos perforados en el Abanico de Punata desde los años 70:



**Figura 4.** Cantidad de pozos perforados cada año  
Fuente: Elaboración propia

La intensidad de perforación de los pozos también se puede observar a partir de los 3 inventarios de pozos realizados en el Abanico de Punata. En el primer inventario realizado por Ríos (1998) se identificaron 108 pozos, en el segundo inventario realizado el año 2005 (Lazarte, 2007), se registraron 203 pozos y en el último inventario (Mayta, 2012) se registró un total de 307 pozos, lo que significa un incremento de alrededor de 14-15 pozos nuevos por año. No obstante, también se observa un importante incremento de los pozos abandonados (mas del 25% de los pozos o 1 de cada 4 pozos ya ha sido abandonado), fenómeno que ya se había observado en el inventario del 2005.



**Figura 5. Síntesis de los inventarios realizados**  
Fuente (Mayta, 2012)

El incremento de la cantidad de pozos perforados también tiene estrecha relación con el incremento de los volúmenes explotados en el Abanico. Según el estudio de ríos (1998), la extracción de agua subterránea para el periodo 97/98 fue de 11.6 millones de m<sup>3</sup>, sin embargo para el año 2011 se determinó 16.7 millones m<sup>3</sup>, para este periodo (14 años) se puede señalar que la extracción de agua subterránea se incrementó en 5.1 millones de m<sup>3</sup> anuales. Sin embargo, pese al incremento de nuevos pozos en la zona, de 108 pozos en 1998 a 205 actualmente en funcionamiento, mientras el número de pozos se triplicó, el volumen no se ha incrementado en la misma proporción. Esto se explica por la paulatina disminución de los caudales de operación, efecto del descenso freático, reducción de caudales y la competencia entre pozos, que disminuyen progresivamente el volumen aprovechable. En esta tendencia, así aumente más el número de pozos, el volumen general tenderá a descender.

**Tabla 1. Volumen total extraído del Abanico de Punata (año 2011)**

Meses	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
<b>Volumen (m<sup>3</sup>*1000)</b>	846	587	632	1087	1417	1519	1702	1793	1774	1856	1787	1755	<b>16755</b>

Fuente: Mayta, 2012.

La tabla anterior muestra que las extracciones de agua son continuas en los diferentes meses del año, aunque con cierta reducción en la época lluviosa, porque la mayoría de los pozos de riego dejan de funcionar. También se puede observar que existe un incremento progresivo desde julio hasta noviembre, época que corresponde a los meses de mayor demanda de agua para riego de los cultivos. Sin embargo, los pozos para uso doméstico

funcionan a una tasa casi constante, ya que la mayoría de las comunidades solo cuentan con este recurso para el consumo.

Los valores que presenta la Tabla 2 sobre los inventarios del 2005 y 2012, muestran la evolución e importancia que el aprovechamiento de agua subterránea tiene y ha tenido para satisfacer diferentes necesidades que demanda la población de del abanico de Punata.

**Tabla 2. Uso de agua de los pozos perforados, inventario 2005 y 2012**

Uso del agua	Inventario 2005		Inventario 2012	
	Nº	%	Nº	%
Agua potable	51	25	76	25
Riego	66	33	113	37
Mixto (AP y Riego)	11	5	11	4
Industrial	7	3	5	2
Abandonados	52	26	87	28
En construcción	16	8	16	5
<b>Total</b>	<b>203</b>	<b>100</b>	<b>308</b>	<b>100</b>

Fuente: Mayta, 2012.

El inventario del 2012 indica que los pozos para riego (113 pozos de riego) siguen siendo los más numerosos del total que se encuentran en funcionamiento (205 pozos), lo cual representa un 55% del total de pozos existentes. Haciendo una comparación con el inventario del 2005, se observan importantes incrementos de pozos para riego (47 nuevos pozos de riego).

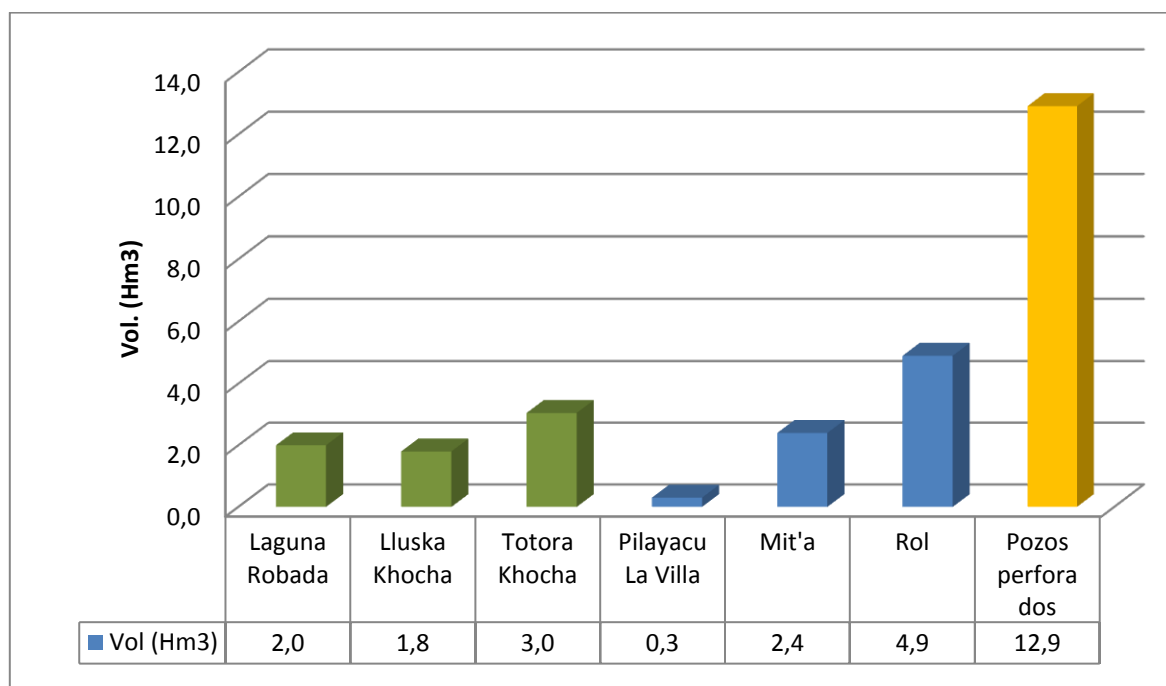
Sin embargo, el incremento de agua no se correlaciona linealmente con el número de pozos, pues mientras el número de pozos se triplicó de 108 pozos en 1998 a 307 pozos el 2012, el volumen de agua para riego no ha sufrido cambios sustanciales: 11,6 Hm<sup>3</sup> en 1998 y 16,8 Hm<sup>3</sup> en 2012. Ello significa que el número de pozos desde 1998 al 2012 se incrementó en 200 pozos (285% de incremento en el número de pozos), mientras el aumento en volumen alcanzó 5,2 Hm<sup>3</sup> (apenas 31% de agua adicional a la extraída en 1998). La siguiente tabla muestra tales datos:

Relación #pozos/volumen extraído	Inventario 1998		Inventario 2005		Inventario 2012	
	Nº pozos	Volumen (Hm <sup>3</sup> )	Nº pozos	Volumen (Hm <sup>3</sup> )	Nº pozos	Volumen (Hm <sup>3</sup> )
Total	108	11,6	203	12,9	308	16,8
Incremento			95	1,3	105	3,9
Incremento total 1997-2012					200	5,2

Fuente: Elaboración propia.

La misma tendencia se observa en el riego. El 2008, el aporte de aguas subterráneas para riego, según del Callejo et al (2008), era de 12,9 Hm<sup>3</sup>, volumen cercano al volumen aportado por las otras fuentes de agua superficial para riego (14,4 Hm<sup>3</sup> provenientes de represas y río). En el inventario de pozos del 2012, el volumen de aguas subterráneas utilizado en riego, de un total de 16,8 Hm<sup>3</sup> extraídos (Mayta, 2012), alcanza los 11,6 Hm<sup>3</sup>, es decir que pese al incremento en el número de pozos, el volumen de agua utilizada para riego pareciera ir descendiendo.

La siguiente figura muestra los aportes de agua de riego a Punata el año 2008, la cual destaca que las aguas subterráneas superan en el aporte de agua de riego con holgura a cualquier otra fuente de agua superficial, incluidas las represas.



**Figura 6.** Volúmenes de agua de las diferentes fuentes de agua  
Fuente: Elaboración propia en base a Del Callejo et al, (2008)

En el sector de consumo doméstico, para el año 2012 un total de 87 pozos son destinados a uso doméstico, considerando 76 pozos de uso específico y 11 pozos mixtos para uso doméstico y riego simultáneamente. Haciendo una comparación con el inventario del 2005, se observan importantes incrementos de pozos para agua potable (25 nuevos pozos). Los incrementos se fundamentan principalmente en el crecimiento poblacional que sufrió el municipio de Punata.

Según el último censo (2012), se registró un total de 28707 habitantes, con incremento de 2567 habitantes con respecto al censo 2001. Aunque el incremento de pobladores no es muy grande (menos del 10%), hay un marcado aumento de las fuentes de agua, lo cual se explica por las necesidades de mayor acceso al agua para satisfacer necesidades básicas, pero también otros usos del agua, como se explica en el capítulo anterior. Cabe

señalar que para el área urbana de Punata y las comunidades Pucara y Albasuyu, tienen, además de pozos perforados, galerías filtrantes ubicadas en la desembocadura del río Pucara al Abanico de Punata (Del Callejo y Vasquez, 2007).

Si bien cada año se implementan nuevos pozos también en la zona existe un marcado abandono de pozos por diversas razones. Según la Tabla y Figura siguientes, un total de 35 pozos han dejado de funcionar en los últimos 7 años; lo cual representa una reducción de 5 pozos por año (se perforan 14 pozos nuevos cada año y simultáneamente se abandonan 5).

Las causas más importantes se atribuyen a aspectos técnicos que presentan deficiencias desde la ubicación del pozo hasta su implementación; en estos casos los pozos presentan caudales reducidos o de baja calidad (agua salada) y en otros con excesivo arrastre de sedimentos por la mala ubicación de los filtros. En otros casos los pozos disminuyeron su caudal con el pasar de los años por la colmatación de finos en el prefiltro (filtro de grava) o por derrumbes que se van produciendo alrededor del pozo, producidos por el reacomodo del suelo en los vacíos generados a partir del bombeo de materiales finos (limo o arcilla). Finalmente algunos pozos disminuyeron su caudal efecto del descenso freático y la competencia entre pozos, como se detalla en el siguiente capítulo.



*Figura 7. Fotografías de pozos que han dejado de funcionar*

Lo anterior muestra que no existe suficiente conocimiento ni entendimiento de la hidrogeología regional y su dinámica. Por otro lado al no existir una normativa que regule la implementación de pozos, se convierte en un campo abierto para seguir perforando pozos de forma caótica, y también al no existir una entidad supervisora la construcción pozos con deficiencias es muy común.

## 5. Efectos de la sobreexplotación de agua subterránea en el Abanico de Punata

Como consecuencia de la creciente explotación de agua subterránea el Abanico de Punata en la actualidad presenta un descenso significativo y continuo del nivel freático, aspecto que repercutió de forma directa en la reducción de los caudales de bombeo, crecientes interferencia entre pozos, incremento de los costos de operación y perforación de nuevos pozos y también al sud del Abanico se registraron fisuras y colapsos de del suelo (*Oqhoris*) producto del vacío generado en los estratos superficiales.

### 5.1 Descenso de niveles freáticos

El incremento acelerado de la explotación de agua subterránea en el Abanico de Punata desencadenó a un descenso continuo del nivel freático. Según el último inventario hasta el año 2012 se registró un total de 307 pozos perforados, con una dinámica de perforación de 15 pozos nuevos por años según el registro de los últimos 7 años. Los datos presentados anteriormente muestran que los acuíferos del Abanico de Punata presentan una fragilidad al incremento de la cantidad de pozos perforados.

Considerando los valores de uno de los pozos más antiguos de la zona, se puede señalar que el descenso total en el Apice del Abanico es de 34m para un periodo de 35 años (Tabla 3). De lo anterior se puede señalar que existe una pérdida del aporte de los acuíferos someros, a raíz de la reducción de 34m de suelo saturado. Algo que resalta en el Apice del Abanico, en algunos pozos antiguos los niveles estáticos sobrepasaron la profundidad del pozo, aspecto que permitió la reducción de caudal hasta llegar a una situación que los pozos dejaron de aportar agua a los usuarios.

**Tabla 3. Descenso de agua**

Comunidad	Nombre pozo	Año	Periodo	NE (mbbp)	Descenso total (m)	Descenso anual (m)
Chaupisuyu Grande	Urkupiña	1979	35	25,5	34	1,0
		2014		59,0		
Alto Alianza	Reyes Magos	1996	16	16,0	18	1,1
		2012		33,8		
Wasa Mayu Grande	San Pedro	2002	12	47,7	17	1,4
		2014		64,5		
Chaupisuyu Grande	Sr Toco	2006	9	38,0	9	1,1
		2015		47,5		
Tambillo Linde - Arani	Sr. de Caña	2009	3	13,5	5	1,7
		2012		18,7		

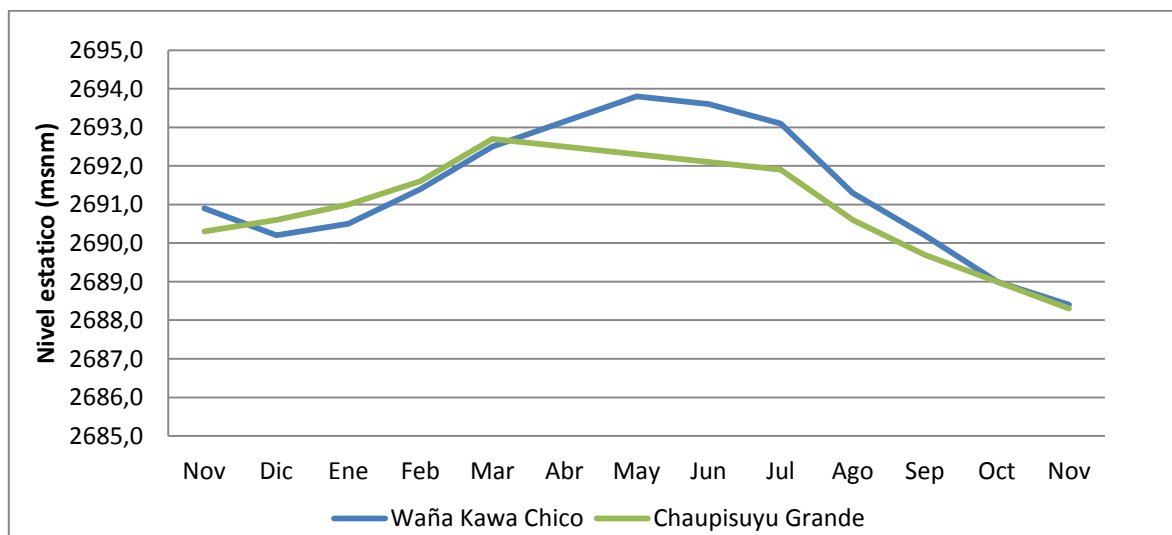
Respecto a los datos de pozos perforados recientemente los espesores de descenso total de cada pozo se va reduciendo a medida que tiempo de funcionamiento se va acortando,

así por ejemplo el pozo Sr de Caña ubicado en la comunidad Tambillo Linde tiene un descenso total de 5 m en 3 años de su funcionamiento.

**Tabla 4. Descenso anual del nivel de agua en las diferentes partes del Abanico**

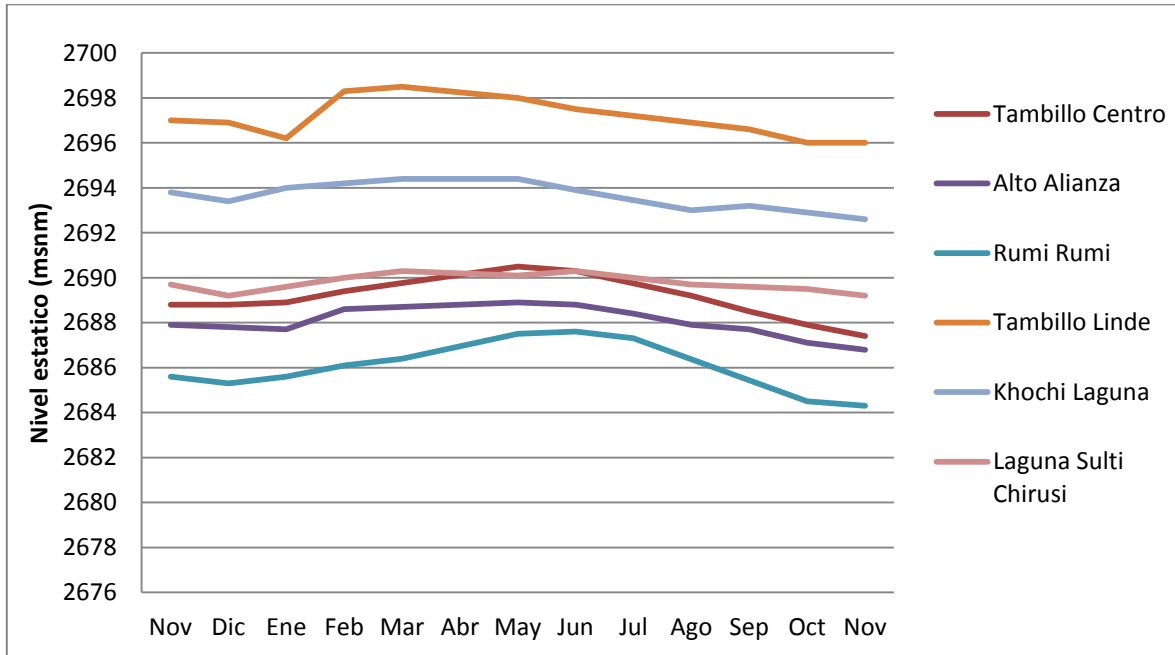
Ubicación		Nivel estático (msnm)		Descenso anual (m)	Promedio (m)
Abanico	Comunidad	Nov (2011)	Nov (2012)		
Ápice	Chaupisuyu Grande	2690,3	2688,3	2,00	2,25
	Waña Kawa Chico	2690,9	2688,4	2,50	
Cuerpo	Tambillo Centro	2688,8	2687,4	1,40	1,27
	Alto Alianza	2687,9	2686,8	1,10	
	Rumi Rumi	2685,6	2684,3	1,30	
Distal	Tambillo Linde	2697,0	2696,0	1,00	0,9
	Khochi Laguna	2693,8	2692,6	1,20	
	Laguna Sulti Chirusi	2689,7	2689,2	0,50	

Al incrementar la tasa de bombeo en la zona se llega a un descenso general del nivel de agua a nivel regional. Sin embargo los descensos del nivel freático son variables (2 a 0,5m) de acuerdo a la ubicación espacial en el Abanico de Punata. Los pozos ubicados en el Ápice del Abanico registran mayor descenso anual con respecto a los pozos ubicados en la parte Distal. De forma general se puede señalar que en el Ápice del Abanico el descenso del nivel freático oscila entre 2 a 2.5m, en la parte media (Cuerpo del Abanico), se registraron descensos desde 1 a 1.5m, y en la parte Distal los descenso oscilan entre 1 a 0.5m (Tabla 4).



**Figura 8.** Descenso de niveles freáticos en *Ápice del Abanico de Punata*

Si bien los descensos son mayores en el *Ápice del Abanico*, como muestra la Figura 8, sin embargo esta zona por estar constituido como acuífero libre de alta permeabilidad, los pozos se caracterizan por presentar una mayor recuperación del nivel de agua efecto de la recarga en la época de lluvia. El incremento de los niveles de agua en el *Ápice* oscilan entre 3 a 4m, por otro lado en los pozos ubicados en el *Cuerpo y Distal del Abanico* el incremento del nivel de agua efecto de la recarga es menor (1 a 2m de incremento) (Figura 9).



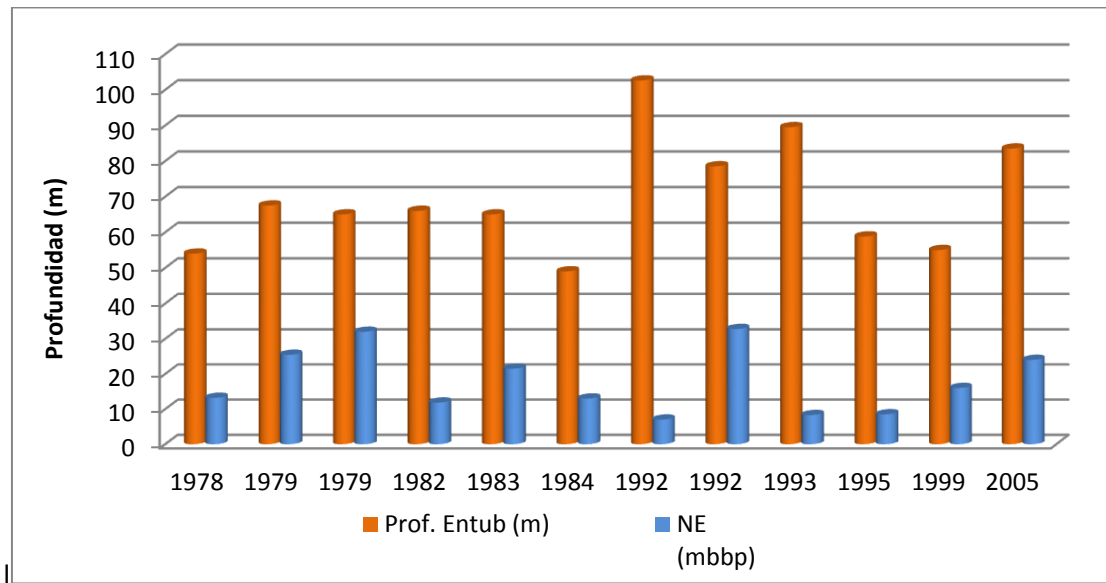
**Figura 9.** Descenso de niveles freáticos en el *Cuerpo y Distal del Abanico de Punata*

El descenso de los niveles freáticos en el *Abanico de Punata* ocasionó algunos cambios relacionados de forma directa en la implementación de nuevos pozos, afectando en el incremento de la profundidad de perforación, aumento de costos de explotación, reducción de caudal, y también ocasionando hundimientos del suelo, cuyos problemas son desarrollados en los siguientes subtítulos:

### 5.1.1 Incremento de la profundidad de perforación

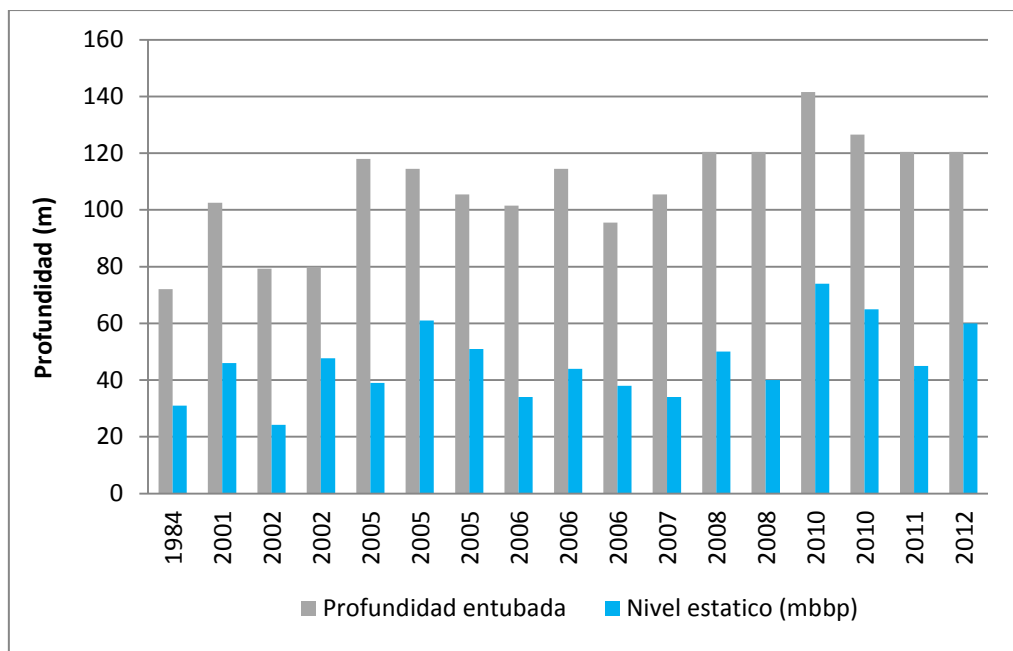
El descenso paulatino de los niveles freáticos en el *Abanico de Punata* ocasionó que las profundidades de perforación de los pozos sea cada vez a mayor profundidad. Entre los años 70 a 90s, niveles freáticos se encontraban cercanos a la superficie de la tierra (<a 30m de profundidad) por consiguiente la construcción de los pozos oscilaba entre 50 y 80 m de profundidad (Figura 10). Así mismo en estos años en la parte distal de *Abanico* el agua se extraía mediante pozos excavados desde 1 a 5 m de profundidad. Algunos pozos perforados resultaban surgentes, como es el caso del pozo “San Severino” ubicado en la comunidad de *Chequej Mayu*, para el año 2002 este pozos tenía un caudal de

surgencia de 1 l/s, en la actualidad su nivel freático fluctúa entre 13 m (época lluviosa) y 16 m (época seca) y prácticamente hace varios años atrás a dejado de ser surgente.



**Figura 10.** Profundidad entubado y nivel estático en pozos de dejaron de funcionar

A medida que fueron pasando los años, las profundidades de perforación fueron cada vez a mayor profundidad, tal como se puede apreciar en la Figura 11. Los pozos que fueron perforados entre los años 2000 y 2012, registran un incremento en la profundidad de perforación en las diferentes partes del Abanico de Punata. En el Ápice del Abanico los pozos llegan a entubarse entre profundidades de varían entre 100 a 140 m, para estos pozos los niveles estáticos descienden hasta 40 a 70m por debajo de la superficie de la tierra.



**Figura 11.** Profundidad entubada y nivel estático de pozos en funcionamiento de la parte apical del Abanico

En la parte media del Abanico los pozos fueron perforados a una profundidad que varía entre 70 a 100 m, para estos pozos el nivel freático oscila entre 30 a 40 metros bajo la superficie de la tierra. En parte Distal la perforación de pozos son más superficiales (60m) que las mencionadas anteriormente, para esta zona los niveles freáticos se encuentran a una profundidad que varían entre 10 a 30. En la parte Distal uno de las razones para no perforar pozos a mayor profundidad es que los acuíferos más profundos cuentan con agua de mala calidad (agua salada).

Según los estudios geológicos no recomiendan perforar más allá de los 120 metros de profundidad porque no existen acuíferos y solamente están presentes las arcillas azuladas de origen lacustre. Tal como se observa en la Figura 9, existen pocos pozos perforados por debajo de 120 metros de profundidad. La situación de un continuo descenso del nivel freático y la imposibilidad de seguir incrementando la profundidad de perforación, plantea en lo futuro incrementar problemas de reducción de los acuíferos superficiales y prácticamente un futuro dramático como ocurrió en otros países de no disponer de agua subterráneas someras.

### 5.1.2 Aumento de los costos perforación y bombeo

La reducción del nivel freático también ha incrementado los niveles de inversión necesarios para contar con un pozo y el costo de energía eléctrica, ya que cada vez se necesita perforar a mayor profundidad y por tanto se requieren también bombas de mayor capacidad.

**Tabla 5. Costos de perforación con material de Fierro Galvanizado (FG°) en Punata**

Año	Costo perforación ml con FG° (\$us)*			Comunidad Capilla		Comunidad Chillcar Chico	
	4"	6"	8"	Prof perforada (m)	Costo total perforación (\$us)	Prof. perforada (m)	Costo total perforación (\$us)
1995	50	100	150	100 (8")	15000		
2000	100	150	200		0	102 (6")	15300
2005	130	180	230	115 (8")	26450	106 (8")	24380
2010	150	200	300	121 (6")	24200	115 (6")	23000
2015	170	300	410				

\*Fuente: Perforaciones San Rafael S.R.L.

Tal como se presentan en la Tabla 5, los costos de construcción se incrementaron por un lado por el aumento de la profundidad de perforación y como también por el incremento paulatino de los costos de perforación definidas por las empresas perforadoras. Inicialmente (años 80 y 90) la mayoría de los pozos de riego fueron construidos con material de fierro galvanizado y para un diámetro de 8 y 10 plg, por lo que su construcción era más económica. Sin embargo en la actualidad por el incremento de los costos, la mayoría de los pozos de riego se construyen solo a un diámetro de 6 plg. También en los últimos años algunos pozos fueron construidos con PVC, ya que se reduce prácticamente el 50% comparando con la implementación de FG°.

Así mismo el incremento de la profundidad de extracción de agua subterránea ocasionó cambios en el incremento de bombas de mayor potencia, y como también el incremento costos de consumo de energía. Por ejemplo al cambiar una bomba de 10 Hp (consumo 2 Kw/hr) a otra bomba de mayor potencia se incrementa los consumos de energía y por lo tanto los costos de bombeo.

También se incrementaron los costos de extracción de agua subterránea por el cambio del tipo de bomba. En los primeros años cuando la población de Punata comenzó a extraer agua subterránea, se usaban bombas de superficie, como es el caso de los pozos de la parte distal de Abanico los niveles de agua estaban cercanos a la superficie. Prácticamente con el descenso de los niveles freáticos se comenzó a usar bombas sumergibles, estas últimas son de costos más elevados que las bombas de superficie.

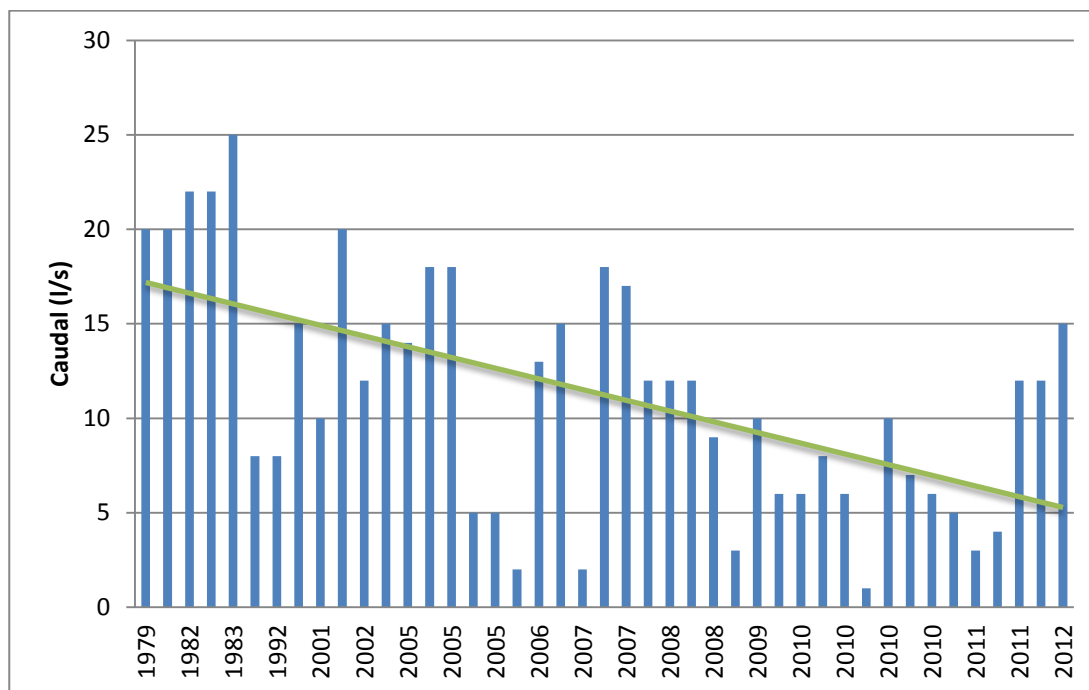
## 5.2 Reducción de caudales

En el Abanico de Punata los caudales de producción fueron reduciendo a medida que fueron pasando los años, esta reducción se arguye al vaciado de los acuíferos más productivos producto del descenso de los niveles de agua. Según Ortiz (2013), en la zona apical del abanico valores de conductividad hidráulica (K) son altos ( $K > 10 \text{ m/día}$ ) y se reducen paulatinamente hasta valores de permeabilidad media (entre 3 a 6 m/día) a profundidades entre 20 y 60 m. Los valores de K disminuyen progresivamente a medida

que aumenta la distancia desde el ápice del abanico y se incrementa la profundidad ( $0,01 < K < 1$  m/día).

Según los valores de K presentados anteriormente, justifica que los pozos perforados en los años 70 y 80 producían caudales altos porque captaban acuíferos de alta y media conductividad hidráulica, cuyos estratos son de mayor espesor y de materiales como; bolones, grava y arena. En la actualidad los pozos captan acuíferos más profundos cuyos estratos son más delgados de materiales de menor permeabilidad (arena con limo), razón por la cual los caudales bombeo son reducidos. Así mismo la reducción de caudal se incrementa producto de la interferencia de pozos a raíz la reducción de la distancia entre pozos.

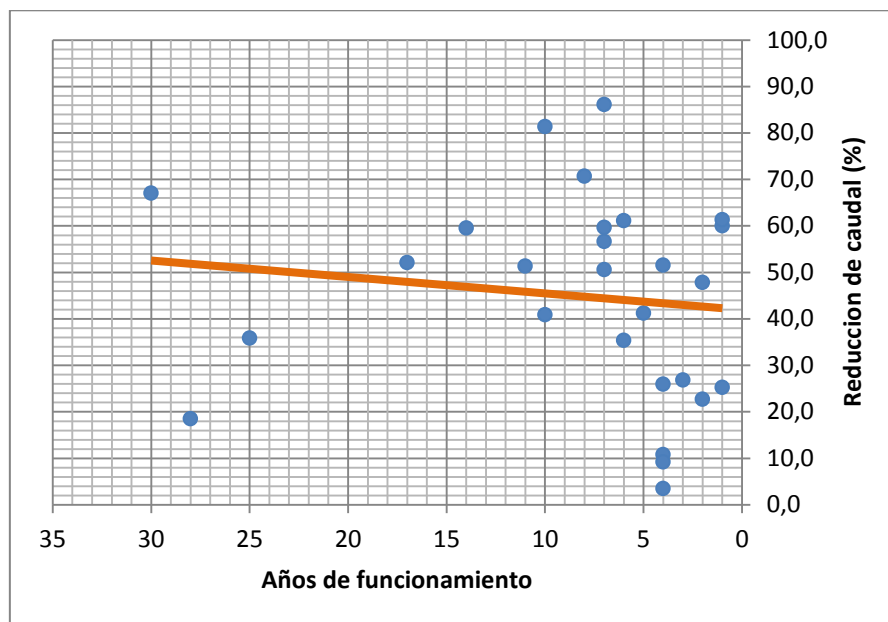
Con el transcurso de los años los caudales de producción fueron reduciendo en las diferentes partes del Abanico de Punata. En el Ápice y cuerpo del Abanico los primeros pozos perforados (años 70 y 80) producían caudales entre 20 a 25 l/s, actualmente en la misma zona los pozos de riego no llegan a sobrepasar caudales por encima de 15 l/s (Figura 12)



**Figura 12.** Caudales de extracción de los pozos

Si bien existe una reducción general de los caudales de explotación de los pozos a raíz de la reducción de la disponibilidad de agua subterránea por la disminución del nivel freático, también los pozos en funcionamiento con el pasar de los años fueron disminuyendo su caudal de oferta. Los pozos más antiguos presentan una mayor reducción de caudal que los perforados recientemente. En la Figura 13, se puede observar la disminución de caudal de los pozos generados a partir de los caudales de diseño y caudales aforados el año 2012. En los pozos con una vida útil mayor a 10 años la

reducción de los caudales llega hasta un 70% con respecto a su caudal inicial. Sin embargo los pozos perforados en los últimos 10 años presentan una reducción variada en cuanto a su reducción de caudal, existen pozos que disminuyeron su caudal en un 5% y otros alcanzan hasta un 85%. Lo anterior nos permite afirmar que la reducción del caudal no siempre está relacionada a la antigüedad de pozos sino a otros factores como la calidad de construcción y por el envejecimiento del pozo.



**Figura 13.** Reducción de caudal

Existen casos que por la mala ubicación de los filtros, los pozos no pudieron ofertar agua clara sin arrastre de material fino (arcilla o limo). Un pozo con alto grado de turbidez prácticamente en la mayoría de los casos deja de ser útil para uso doméstico ya que traerían problemas de taponamiento en la red de tubería, estos pozos en su mayoría son abandonados.

Es importante aclarar que la reducción de caudal no solo se debe al descenso del nivel freático si también está relacionada al envejecimiento de los pozos, especialmente por la oxidación y el taponamiento de los filtros. Principalmente los pozos construidos al sud del Abanico de Punata tuvieron una reducción drástica del caudal ya que en esta zona por el excesivo arrastre de material fino (limo o arcilla), tienden a tapan el filtro de grava y la rejilla del pozo.

En algunos pozos la reducción drástica del pozo también puede estar relacionada con el funcionamiento de la bomba o se presentaron derrumbes alrededor del pozo, afectando de forma directa al taponamiento de los filtros.

### 5.3 Problemas de fisura y colapso de terreno

En el valle de Punata principalmente en la parte baja del abanico, se han registrado una infinidad de fisuras y colapsos de terreno, comúnmente conocido por la población como *Oqhoris* (tragadero de agua). Los hundimientos de tierra se producen por la reducción del nivel piezométrico y por la extracción de agua subterránea con arrastre de material. A continuación se explica en detalle los fenómenos presentados anteriormente:

- Este descenso piezométrico produce una reducción de la presión del agua existente en los huecos del suelo por lo que éstos se cierran progresivamente, causando un reajuste de las partículas, disminuyendo su volumen y, por lo tanto, generando hundimientos de en la superficie del terreno (Figura 14).



**Figura 14.** Hundimiento de suelo

- Otra de las razones para que existan los colapsos de terreno se dan por la extracción de agua de bombeo con materiales de limos, arenas finas y arcillas procedentes de los primeros metros del terreno (Figura 15). Este material movilizado y evacuado junto con agua turbia, puede ser, al cabo de unas horas, de varias toneladas. Material retirado precisamente de la zona de cimentación, pudiendo provocar huecos y cavidades en el terreno y modificar la capacidad portante del suelo.



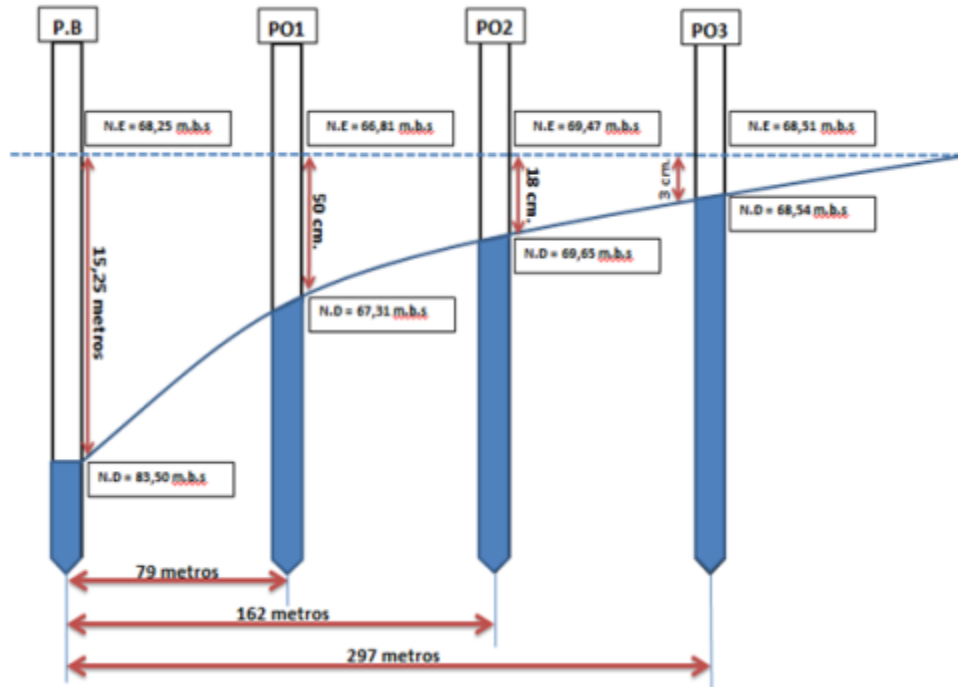
**Figura 15.** Pozos de bombeo con arrastre de sedimentos

Para evitar males mayores la población debe parar aquellos pozos que descargan de agua turbia, ya que el arrastre de limos y arenas es la evidencia de que se ha iniciado ya el proceso de "lavado de finos".

#### **5.4 Mayor competencia y conflictividad en la explotación de agua subterránea**

A pesar de que población conoce en cierta manera los problemas de la sobreexplotación de agua subterránea sin embargo existe una demanda continua de implementación de nuevos pozos, para satisfacer demandas actuales y futuras. Por otro lado también existe una preocupación e inseguridad sobre el futuro abastecimiento de agua, lo cual ha generado un escenario de potenciales conflictos entre las organizaciones de usuarios.

Existe una demanda generalizada para seguir perforando nuevos pozos, los usuarios que tienen poca disponibilidad de agua y mayor demanda de agua intentan satisfacer sus demandas con la implementación de nuevos pozos ya sea con aportes propios o financiamiento externo. El otro grupo de usuarios, a raíz de que los pozos existentes han empezado a disminuir los caudales de explotación, buscan fondos para reemplazar o perforar un pozo nuevo cerca al antiguo con la finalidad de disponer de cantidad suficiente para el uso en riego. Esta situación desencadenó en la zona mayor interferencia de pozos, afectando en la disminución de caudal y un descenso mayor del nivel de agua producto de la competencia en la extracción de agua. En la Figura 16, se puede observar la afectación de los niveles de agua a pozos cercanos (apagados), a partir de un pozo de bombeo.



**Figura 16.** Interferencia de niveles freáticos en los pozos de la comunidad de Larasuyu  
Fuente: Jaimes 2015

La intensidad de perforación de pozos nuevos es tal que, hay zonas donde los pozos están muy próximos uno del otro (menores a 100m) y el más profundo llega a interferir en la producción del otro. A raíz de varios incidentes de este tipo es que los usuarios de pozos solicitaron la promulgación y aprobación de una ordenanza municipal que regule la perforación de pozos en Punata. Según esta ordenanza municipal, en la zona norte se debe respetar una distancia mínima entre pozos de 500 m, mientras que en la zona sur, la distancia mínima debe ser de 1000 m (Cossio and Ampuero, 2007). Sin embargo esta ordenanza es parcialmente efectiva, debido a las dificultades en su aplicación y control.

## 6. CONCLUSIONES

En el Abanico de Punata los procesos como el crecimiento poblacional y la dinámica de la producción han permitido que la explotación del agua subterránea sea intensiva. En los últimos años se han registrado en un promedio de 15 pozos perforados, cuyo recurso es destinado principalmente para riego y como también para satisfacer demandas de uso doméstico. Considerando lo anterior, en el abanico de con el transcurso de los años la cantidad de pozos perforados fue incrementando dramáticamente, por consiguiente también los volúmenes de extracción de agua subterránea. Si bien los volúmenes de explotación fueron incrementando sin embargo no se realizó ninguna acción que permita incrementar los volúmenes de recarga, razón por la cual en el Abanico de Punata se está viviendo una situación dramática de sobre-explotación.

Sin duda los efectos adversos de la sobre-explotación se evidencian con procesos de descenso significativo y continuo del niveles freáticos aspecto que repercutió de forma directa en el incremento de los costos de perforación y operación. Los descensos del nivel freático en un año son variables (2 a 0,5m) de acuerdo a la ubicación espacial en el Abanico de Punata. Así mismo la reducción de la disponibilidad de agua subterránea repercutió en la reducción de los caudales de bombeo, en los primeros años de perforación lo pozos ofertaban caudales que alcanzaban hasta 25 l/s, en la actualidad los caudales de bombeo no sobrepasan 15 l/s. También al sud del Abanico se registraron proliferación fisuras y hundimiento de terreno (*Oqhoris*) producto del vacío generado en los estratos superficiales, a causa la reducción del nivel freático y por la extracción de agua subterránea con arrastre de material.

Así mismo los efectos de sobre-explotación se deben a la falta de un conocimiento limitado de la hidrogeología regional y su dinámica, y también a la falta de normas y autoridades que puedan regular la explotación de los recursos subterráneos.

## 7. BIBLIOGRAFIA

- Auge, M. (2006). *Agua subterránea deterioro de calidad y reserva*. Buenos Aires: Universidad de buenos aires.
- Custodio, E. (1996). Explotación racional de las aguas subterráneas. *Acta Geológica Hispánica*, 30(1-3), 21-48.
- Del Callejo, I., Encinas, S., & Vasquez, S. (2008). *Problemas de afectan la sostenibilidad de la agricultura en el Valle de Punata*. Cochabamba.
- Del Callejo, I., & Vasquez, S. (2007). *Caracterizacion y cambios en el uso del agua en Punata*. Cochabamba.
- Hoster, S., & Tuinhof, A. (2002). Gestión sustentable del agua subterranea: Conceptos y herramientas. Banco Mundial. Retrieved from [www.worldbank.org/gwmate](http://www.worldbank.org/gwmate)
- LLamas, R., & Custodio, E. (2002). Acuíferos explotados intensivamente. Conceptos principales, hechos relevantes y algunas sugerencias. París: UNESCO.
- Mayta, A. (2012). *Disponibilidad de agua subterránea en el Abanico de Punata*. Cochabamba.
- Ortiz, J. (2013). *Análisis del potencial hídrico subterráneo , en la zona de K'juchu Punata , mediante modelación con Visual Modflow*. Católica Boliviana San Pablo.
- Rocha, R., & Mayta, A. (2007). *Dinámica del cambio del uso de tierra en Punata (1983-1996-2005)*. Proyecto GIRH . Centro AGUA-PIEB. Cochabamba.
- Llamas, M. R.; Back, W.; Margat, J. (1992). «Groundwater use: equilibrium between social benefits and potential environmental cost». *Applied Hydrogeology*; 2: 3-14.
- Waldmann, P. (2006). *El estado anómico: derecho, seguridad pública y vida cotidiana en América Latina*. Iberoamericana, Madrid, 2006.
- de Vries, F., E. Boelee, J. Butterworth, T. Cousins, A. Durán, J. Hagmann, B. Mintesinot, S. Morardet, P. Moriarty, I. Restrepo, S. Ruaysoongnern, C. Scott, S. Suryarwanshi, S. Smits, B. Van Koppen, B. Yoder. (2005). Learning Alliances for the broad implementation of an integrated approach to multiple sources, multiple uses and multiple users of water. Manuscript for the International Conference on 'Integrated Assessment of Water Resources and Global Change: A North-South Analysis', 23-25 February 2005, Bonn, Germany (<http://www.zef.de/watershed2005>).
- Durán, A. (2013). “Lineamientos para un programa estratégico de gestión de agua en el Chaco cruceño”. En: “Agua y Medios de Vida: Vulnerabilidad de los sistemas hídricos

y sistemas productivos en el Chaco cruceño”. Proyecto Geñoj; Centro AGUA-Acción Contra el Hambre. Ed. DiCan. Cochabamba.

Durán, A. (1997). “Criterios campesinos en el proceso de diseño e implementación de sistemas de riego con aguas subterráneas”. Tesis MSc. Wageningen University-WUR. The Netherlands.

Durán, A. (2004). “Planning for multiple uses of water: livelihood activities and household water consumption in peri-urban Cochabamba, Bolivia”. XIII Congreso Brasileiro de Aguas Subterráneas. Cuiabá, Brasil.