



CONSORCIO AGUA SUSTENTABLE-AYNI TAMBO



**PROYECTO “ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA SUBCUENCA
DEL RÍO CHOQUECOTA”**

**CALIDAD DE AGUAS EN LA SUBCUENCA DEL RÍO
CHOQUECOTA**

**Mónica Rivera
Bióloga**

Responsable de Análisis de Calidad de Aguas

Julia McDowell

Coordinadora del Proyecto

**INFORME FINAL CORRESPONDIENTE A LA ÉPOCA DE TRANSICIÓN
(PERIODO ABRIL Y MAYO) Y A LA ÉPOCA SECA (AGOSTO)**

2008

CALIDAD DE AGUAS EN LA SUBCUENCA DEL RÍO CHOQUECOTA

1. INTRODUCCIÓN

El presente estudio se enmarca dentro del Proyecto “Adaptación al cambio climático en la subcuenca del río Choquecota” y fue iniciado el 24 de abril de 2008. Esta subcuenca nace en el nevado Mururata, que posiblemente ya está sufriendo pérdida de su capa glaciar (aún no se cuentan con resultados de un estudio en dicho glaciar en el marco del presente proyecto).

Las comunidades de la subcuenca del río Choquecota ocupan el agua que sale del nevado Mururata, tanto para sus cultivos como para su consumo. Existe la posibilidad de que en el futuro, debido a problemas de suministro de agua, se imponga la necesidad de dar un mejor aprovechamiento de los recursos hídricos. Por tanto, es necesario conocer la calidad de las aguas que están sirviendo de sustento a estas comunidades humanas y al ecosistema en general, ya que a menor calidad del agua la comunidad tiene mayor probabilidad de ser vulnerable a los cambios climáticos. La calidad del agua se refiere a las características del agua para determinados usos (Alba Tercedor, 1996). El presente trabajo brinda resultados de la calidad de las aguas de los ríos y vertientes de la subcuenca del río Choquecota utilizadas para riego y para consumo humano.

Hasta la década de 1970, los análisis químicos constituían los métodos más utilizados para evaluar la calidad de las aguas. Sin embargo, éstos resultan ineficaces para detectar cambios en los ríos en tiempo y espacio (Hellowell, 1986; Cairns & Pratt, 1993). Es decir que los análisis químicos pueden no detectar contaminación por el efecto de dilución si es que se toma la muestra días después del vertido de las sustancias contaminantes. La evaluación de la fauna de macroinvertebrados¹ que viven en las corrientes de agua, constituye un complemento importante a los análisis químicos debido a que si bien los análisis químicos pueden dar una idea exacta de cuál es el contaminante, los macroinvertebrados tienen la capacidad de detectar contaminación incluso meses después que la misma se haya producido, es decir que detecta la contaminación sin una restricción en tiempo y espacio.

Las variaciones inesperadas en la composición de las comunidades de organismos vivos de los ríos pueden interpretarse como signos evidentes de algún tipo de contaminación (Alba Tercedor, 1996). Entre tales organismos vivos, se ha reconocido la utilidad de los macroinvertebrados para evaluar las condiciones medioambientales en ecosistemas acuáticos (Hellowell, 1978; Hellowell, 1986; Gautam, 1990; Cairns & Pratt, 1993; Merritt & Cummins, 1996; Angelier, 2002), por lo que se consideran bioindicadores de la calidad del agua. Se ha visto que los macroinvertebrados son útiles para detectar perturbaciones

¹ Son organismos que viven en medio acuático y se denominados macroinvertebrados porque pueden ser observados a simple vista y se componen principalmente de insectos, también crustáceos, arácnidos, entre otros.

mecánicas, tales como cambios en el sustrato (Tavzes et al.,2006)², o contaminación química (Nedeau et al., 2002)³.

El presente informe recoge resultados obtenidos a partir de muestreos efectuados de la época de transición⁴, es decir, entre abril y mayo y, para tener una visión más amplia de la condición actual de cada sitio, también se evaluó la época seca (agosto), debido a que se conoce que en la época seca los resultados de calidad de agua pueden ser más concluyentes ya que en ésta época los contaminantes se concentran en el agua y también se puede hallar mayor número de bioindicadores (macroinvertebrados) (Jacobsen, 1998; Fossati, 2001).

Se evaluó la calidad de agua para riego y para consumo humano de las comunidades consideradas dentro del proyecto: Chullu, Oksani, Choquecota, Amachuma Grande, Retamani, Catupaya y de la población de Palca, capital de la provincia Murillo del Departamento de La Paz. Las comunidades fueron elegidas en base a su utilización del río Choquecota para riego y/o para consumo, lo que las hace vulnerables a cambios en los recursos hídricos debido a cambio climático. Un total de veinte (20) sitios fueron evaluados: tanques para consumo, sitios sobre los ríos que entran en las acequias, sitios sobre las acequias antes de su ingreso en los cultivos, vertientes alternativas para uso y consumo y sitios sobre el río que se consideraron fuentes potenciales de contaminación.

En el primer informe se presentaron los resultados del análisis de calidad de aguas correspondientes a la época de transición. En el presente informe final se presentan los resultados tanto de la época de transición como de la época seca. Esto con el fin de comparar los resultados de ambas épocas, de corroborar resultados de la época de transición u observar cambios en la calidad de las aguas entre épocas.

2. OBJETIVOS DEL ESTUDIO

- Identificar y georeferenciar los sitios de tomas de agua de las comunidades para riego y para consumo humano.
- Identificar y georeferenciar posibles fuentes de contaminación del agua.
- Evaluar la calidad del agua utilizada para riego y consumo humano, mediante parámetros fisicoquímicos.
- Evaluar la calidad del agua según los parámetros biológicos (macroinvertebrados) encontrados en cada sitio.

3. MÉTODOS

3.1. Elección de los sitios de muestreo

El número de sitios de muestreo fue escogido según la cantidad de comunidades definidas por el Proyecto y también según fuentes potenciales de contaminación.

² En este estudio se observó que un río de ciudad estaba dominado por grupos que se adaptaron a la modificación del hábitat como es la canalización.

³ Se observó que los macroinvertebrados se veían afectados por un efluente industrial, habiendo disminuido su riqueza y alterado su composición, con taxones tolerantes en sitios cercanos al efluente industrial.

⁴ Época entre la época húmeda y seca.

En el caso de riego, los sitios donde se tomaron las muestras fueron sitios sobre el río, que entran al canal de riego y también sitios sobre los canales de riego. En el caso de consumo humano, los sitios donde se tomaron las muestras fueron sitios utilizados para consumo, que podían ser los mismos que para riego u otros como vertientes y/o tanques construidos para este fin. Las fuentes alternativas de agua para las comunidades fueron evaluadas según la necesidad de las comunidades de fuentes alternativas de agua.

El sitio debajo de la mina San Francisco, sitio a mayor altitud que los demás considerados, fue tomado en cuenta porque es posible fuente de contaminación de las aguas río abajo. También se evaluaron como fuentes potenciales de contaminación el sitio en el río Choquecota que está debajo de la mina Sonia en Palca y el sitio en la confluencia del río Choquecota y el río Chumaqueri, saliendo del área de estudio, porque río abajo sirve para cultivos y consumo de otras comunidades. En la actualidad este sitio no es utilizado para riego ni para consumo humano. Sin embargo, considerando se constituyan alguna vez en fuente de abastecimiento para riego y/o consumo humano, se evaluaron parámetros fisicoquímicos tanto para riego como para consumo humano.

Existen varias explotaciones mineras en el lugar, entre las que se puede mencionar: Mina Sonia, Mina Carmiña, Mina Samara- I Carcavento, Mina YAMINEX, Mina San Francisco, Mina Santa Rosa, Mina Unificada Urania, Empresa Minera Himalaya Ltd., y dos minas abandonadas registradas en el estudio de (Arraya, 2006, estudio facilitado por Danilo Bocángel, Gerente de Medmin). Además se registró la mina Chilacoya que inició recientemente sus actividades. Se tomaron muestras de la acequia o canal de riego que pasa debajo de la mina Chilacoya.

La ubicación de los sitios de muestreo se muestran en el ANEXO 1. Los sitios en los que no hubo señal para georeferenciar fueron encontrados con el programa Google earth y colocados en el mapa.

En época seca se aumentaron los sitios evaluados: final de las acequias de Retamani, Catupaya y Chullu y Oksani, es decir después de todo su recorrido antes de que entren en los cultivos. Se consideró necesario conocer si existen cambios en la calidad del agua hasta llegar a los cultivos debido a actividades como lavado de ropa sobre la acequia (Talleres informativos a las comunidades). También se evaluaron en época seca fuentes alternativas o potenciales de consumo y riego para las comunidades Chullu y Oksani ya que esta última, por ejemplo, carece de agua; lo que ha ocasionado que la gente migre a Palca o a la ciudad.

3.2. Medición de características morfológicas de los sitios

Se midieron *in situ* los siguientes parámetros:

3.2.1. Velocidad de la corriente. Se midió la velocidad del agua en 10 metros, tomando el tiempo que un pedazo de plastroforno tarda en recorrer esta distancia.

3.2.2. Ancho del cauce húmedo. Se midió el ancho del cauce que actualmente tiene corriente, para la estimación del caudal.

3.2.3. Profundidad del cauce. Se midió la profundidad en las pozas⁵ y en los rápidos⁶ del río.

3.2.4. Sustrato. Se observó si el sustrato predominante en el cauce del río es grueso o es fino.

Estas mediciones fueron de utilidad para calcular el caudal aproximado de cada sitio. Este caudal o descarga se calculó según la modificación de Molina (2004) para éste río, en base a las fórmulas de Roldán (1992) y Angelier (2000). La fórmula es:

$$Q = A \times V \times a$$

Q Descarga

A Área que es calculada multiplicando el ancho por la profundidad del río

V Velocidad

a Coeficiente de rugosidad; 0,8 si el cauce es rugoso (sustrato grueso) y 0,9 si es liso (sustrato fino).

3.3. Toma de muestras y evaluación de la calidad del agua con parámetros fisicoquímicos y microbiológicos

Los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos evaluados, que pueden afectar en la calidad del agua para consumo y para riego, se muestran en el ANEXO 3.

Los siguientes parámetros fisicoquímicos fueron medidos “*in situ*”:

- *Conductividad*, mediante un conductímetro marca Hash.
- *Sólidos disueltos* mediante un medidor marca Hash.
- *Oxígeno disuelto*, mediante un oxímetro marca Hash.
- *Temperatura*, medida en el oxímetro.



Foto 1. Medición de la fisicoquímica del agua *in situ*

Para la medición de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos en laboratorio se colectó agua en frascos y se los mantuvo a baja temperatura, para llevarlos al laboratorio.

⁵ Pozas se refiere a lugares calmados y más profundos en el río.

⁶ Rápidos son los lugares donde fluye la corriente continuamente y no son tan profundos como las pozas.

Los siguientes parámetros fisicoquímicos y microbiológicos fueron medidos en laboratorio:

- *Coliformes fecales*
- *Sólidos suspendidos*
- *Turbidez*
- *Dureza*
- *Sulfatos*
- *Cadmio*
- *Plomo*
- *pH*
- *Calcio*, solamente para lugares de riego
- *Magnesio*, solamente para lugares de riego
- *Sodio*, solamente para lugares de riego
- *Mercurio*, solamente en lugares cercanos a la extracción de oro.
- *Demanda Biológica de Oxígeno*, solamente en lugares donde se observaba una posible mayor contaminación orgánica, por las algas presentes.
- *Fósforo*, a la entrada de las acequias en los ríos Choquecota y Tacapaya y al final de las acequias de Retamani, Catupaya y Chullu y Oxani debido a que algunos comunarios lavan ropa sobre las acequias.

Además, se obtuvo la tasa de absorción de sodio (SAR) que determina la proporción de de sodio respecto a otros iones importantes del agua como son el calcio y el magnesio, mediante la fórmula:

$$SAR = Na(meq/l) / \sqrt{Ca(meq/l) + Mg(meq/l) / 2}$$

La conductividad se utiliza para conocer si las aguas son salinas, factor importante en cultivos y la conductividad y la SAR se utilizan para conocer potenciales problemas de infiltración⁷.

Aún no existe una norma boliviana que se refiera a valores máximos establecidos para riego. Por esto que se tomaron los valores de la FAO (Food and Agricultural Organization), organización comprometida con la agricultura a nivel mundial.

Para establecer la calidad del agua para consumo humano, los valores de los diferentes parámetros medidos fueron comparados con los límites permisibles de la Clase "A" de la ley 1333, ya que esta clase establece los límites para consumo con sólo una desinfección y ningún tratamiento, lo que estaría aproximado al alcance de las comunidades del lugar y por normas extranjeras (Organización Mundial de la Salud).

Es necesario aclarar que ya no fue necesario evaluar los mismos parámetros fisicoquímicos en época seca, debido a que algunos se encontraron en bajas concentraciones. Además, los macroinvertebrados se utilizaron para conocer las condiciones generales de cada sitio.

⁷ La infiltración se refiere a la entrada del agua en el suelo.

3.4. Toma de muestras y evaluación de la calidad del agua con macroinvertebrados (análisis biológico).

Los organismos macroinvertebrados se colectaron en todos los sitios de muestreo que estuvieran en el río, ya que en el caso del agua de la vertiente que ingresa a los tanques, su muestreo es difícil por la verticalidad de las aguas y su bajo caudal. Se utilizaron dos métodos de colecta: muestreo compuesto con la red surber (en dos pozas y dos rápidos de cada sitio) (Foto 2) y el método kicksampling (Foto 3) en un tramo de 10 m en un rápido del lecho del río.



Foto 2. Colecta con la red Surber



Foto 3. Método kicksampling de colecta

Para obtener la calidad del agua se identificaron los macroinvertebrados a nivel taxonómico de familia y se aplicaron los índices biológicos que miden la calidad de agua: Índice Biótico de Familias (IBF) y el Índice Biótico Global Normalizado (IBGN) (ANEXO 3).

4. RESULTADOS

Los resultados obtenidos se refieren a:

- Descripción de los sitios evaluados en época de transición y época seca.
- Calidad del agua según macroinvertebrados (evaluación biológica) en época de transición y época seca.
- Calidad del agua según parámetros fisicoquímicos y microbiológicos (coliformes fecales) en época de transición y época seca.

4.1. Descripción de los sitios evaluados

A continuación se observan tablas de las ubicaciones, caracteres físicos, impactos y usos de cada sitio.

4.1.1. Sitios que son utilizados para riego

Se han identificado los siguientes principales sitios para riego:

- Una acequia compartida entre Amachuma Grande y Choquecota;
- una acequia de Amachuma Grande, que está debajo de la mina de oro Chilacoya;

- dos acequias de Chullu y Oksani, una que sale del río Tacapaya que riega los cultivos en épocas húmeda y de transición y la otra acequia sale del río Choquecota en época seca y antes de llegar a los cultivos se une con la acequia del río Tacapaya;
- una acequia de Retamani que sale del río Choquecota y,
- una acequia de Catupaya que se alimenta en la unión de los ríos Choquecota y Tacapaya, en el caso de esta última acequia se observó que todas las aguas del río Tacapaya dan a la acequia.

No se han observado cambios en los impactos entre las épocas evaluadas, en ninguno de los sitios. Se puede observar en la Tabla 1 que la principal alteración notoria a simple vista es la remoción de sustrato para buscar oro. Esto se ha observado en el río Tacapaya que alimenta a las acequias de Chullu y Oksani (Foto 4), de Catupaya (Foto 5) y en el sitio del río Choquecota que alimenta a la acequia de abajo de Retamani (Foto 6).

En general, los caudales disminuyen en época seca. Los caudales en época de transición son más parecidos a los caudales de la época seca encontrados en Molina (2004) en el río Choquecota, en el que encontraron caudales entre 0,916 y 2,96 ml/seg, pero hay que tener en cuenta que los de éste trabajo también son caudales aproximados.

4.1.2. Sitios que son utilizados para consumo

Los sitios para consumo son los mismos que para riego, a excepción de la acequia de Amachuma Grande y Choquecota, por lo que ya no se muestran en la Tabla 2. Además se han muestreado los tanques de Amachuma Grande, Choquecota y Palca y el agua que entra en el entubado de Retamani. Son las únicas de las comunidades evaluadas que tienen infraestructura para captar agua para su consumo. El agua es captada de vertientes, que no están sometidas a contaminación por detergentes, aguas servidas, entre otras. Sin embargo, pueden presentar algunos problemas como veremos más abajo.

Tabla 1. Características principales de los sitios utilizados para riego

	Asequia de Choquecota y Amachuma Grande		Asequia de Amachuma Grande		Asequias de Chullu y Oksani				Final acequia Oxani	Asequia de Retamani		Final acequia Retamani	Asequia de Catupaya		Final acequia Catupaya
Altitud (m)	3886		3706		3701		3610		3583	3500		3470	3523		3482
Coordenadas de ubicación (UTM)	614330 8172708		612708 8171085		613106 8171497		0611057 8170493		611088 8168635	611810 8169316		611864 8168381	0611850 8169707		611035 8167849
Alteración del sitio	Basura y algas filamentosas indicadoras de contaminación orgánica		La acequia cruza por la mina Chilacoya de extracción de oro		Ninguna evidente		Remoción de sustrato para extraer oro y lavado de ropa		Contaminación orgánica indicado por algas filamentosas	Basura, olor a heces fecales, remoción de sustrato y muro de contención del río		Contaminación orgánica	Remoción fuerte de sustrato para extraer oro		Contaminación orgánica
Uso actual por la comunidad	Riego		Riego		Riego y consumo en época seca		Riego y consumo en época húmeda		Riego y consumo	Riego y consumo		Riego y consumo	Riego y consumo		Riego y consumo
Sustrato mayoritario	Mediano		Mediano a fino		Grueso		Mediano a Fino		Uniforme. Cascajo	Mediano a Fino		Uniforme. Cascajo	Fino		Uniforme. Cascajo
Erosión en las riberas	Ninguna		En orilla izquierda debido a desmontes		En la orilla derecha		En las dos orillas erosión fuerte		Ninguna	En la orilla izquierda		Sin signos evidentes de erosión	En el río Tacapaya y remoción de sustrato en los dos ríos		Sin signos evidentes de erosión
Lugar de muestreo	Río Choquecota		Acequia antes de la mina Acequia después de la mina		Río Choquecota		Río Tacapaya Unión río Tacapaya - río Choquecota		Acequia de Oxani	Río Choquecota Río Choquecota		Sobre la acequia	Río Choquecota y Tacapaya		Acequia de Catupaya
Época	Transición	Seca	Transición	Seca	Transición	Seca	Transición	Seca	Seca	Transición	Seca	Seca	Transición	Seca	Seca
Ancho medio del lecho (m)	3,3	3,3	0,45	0,38	3,8	3,5	2,6	2	0,75	3,3	2,6	0,82	3	3	0,35
Profundidad media aproximada (m)	0,4	0,5	0,1	0,1	0,6	0,26	0,2	0,15	0,08	0,3	0,15	0,16	0,2	0,15	0,18
Velocidad media aproximada (m/seg)	1,3	0,39	0,91	0,83	0,50	0,51	0,70	0,66	0,67	1,15	0,71	0,71	1,3	0,82	1,43
Área transversal (m2)	1,32	1,65	0,05	0,04	2,28	0,91	0,52	0,30	0,06	0,99	0,39	0,13	0,6	0,45	0,061
Caudal aproximado (l/seg)	1,37	0,52	0,037	0,025	0,91	0,37	0,33	0,18	0,032	0,91	0,22	0,075	0,702	0,33	0,07
Colecta de macroinvertebrados	Sí	Sí	No	No	Si	Si	Sí	Sí	No	Sí	Sí	No	Sí	Sí	No



Foto 5. Río Tacapaya antes de acequia de Chullu.



Foto 6. Río Choquecota a la entrada de acequia de Retamani



Foto 7. Río Choquecota en unión de ríos Choquecota y Tacapaya antes de la entrada de acequia de Catupaya



Foto 8. Debajo de mina San Francisco



Foto 9. Confluencia río Choquecota con el río Chumaqueri debajo de Palca



Foto 10. Acequia de Catupaya

Tabla 2. Características principales de los sitios utilizados para consumo

	Tanque para consumo de agua de Choquecota		Tanque para consumo de agua de Amachuma Grande		Toma para tanque de consumo de agua de Palca	Tanque para consumo de agua de Palca		Vertiente 3 para Chullu	Asequia de Retamani (entubado)		
Altitud (m)	4041	3993	3796			3534		4056	3546	3567	
Coordenadas de ubicación	615068 8173414		613040 8169754		No hubo señal	611656 8169220		609685 8170890	0611951 8170349		
Alteración del sitio	Heces en los alrededores pero no cerca del tanque		Ninguna aparente		Ganado en los alrededores	Ninguna evidente		Ninguno	Ninguno		Se evidenció alguna modificación del lecho
Uso actual por la comunidad	Consumo		Consumo		Consumo	Consumo		Consumo	Consumo		
Sustrato	—	—	—	—	—	—	—	—	Mediano		
Erosión en las riberas	—	—	—	—	—	—	—	Ninguna	En la orilla derecha		
Lugar de muestreo	Vertiente	Tanque	Tanque	Tanque	Vertiente que alimenta al tanque de Palca	Tanque	Tanque	Poza formada por una vertiente	Río Choquecota (entubado)		
Época	Transición	Seca	Transición	Seca	Transición	Transición	Seca	Seca	Transición	Seca	
Colecta de macroinvertebrados	No	No	—	—	No	No	No	—	Sí	Sí	
Ancho del lecho (m)	—	—	—	—	—	—	—	—	4,5	4	
Profundidad aproximada (m)	—	—	—	—	—	—	—	—	0,35	0,18	
Velocidad aproximada (m/seg)	—	—	—	—	—	—	—	—	1,3	1,2	
Área (m ²)	—	—	—	—	—	—	—	—	1,575	0,72	
Caudal aproximado (ml/seg)	—	—	—	—	—	—	—	—	1,638	0,6912	

4.1.3. Sitios considerados fuente de contaminación

La mina San Francisco y la unión del río Choquecota con el río Chumaqueri, debajo de Palca, son considerados como sitios potenciales de contaminación río abajo. El primero es el sitio de mayor altitud y el segundo indica cómo el río Choquecota sale del área de estudio para ser utilizado por otras comunidades.

4.1.4. Sitios alternativos para riego y consumo

En la Tabla 4 se muestran los sitios potenciales o alternativos de uso de agua de las comunidades Amachuma Grande, Chullu y Oksani.

Tabla 3. Características principales de sitios considerados fuentes de contaminación.

	Debajo de mina San Francisco		Debajo de Palca
Altitud (m)	4322		3358
Coordenadas de ubicación (UTM)	618511 8177052		0611072 8167245
Alteración del sitio	Mina de Wolfram y pastoreo		Basura, olor a heces fecales, remoción de sustrato para extraer oro
Uso actual por la comunidad	Ninguno		
Sustrato mayoritario	Grueso		Mediano a fino
Erosión en las riberas	Ninguna		En las dos orillas por remoción de sustrato
Lugar de muestreo	Río Soa		Unión río Choquecota y río Chumaqueri debajo de Palca
Época	Transición	Seca	Seca
Ancho medio del lecho (m)	0,9		3,25
Profundidad media aproximada (m)	0,1		0,07
Velocidad media aproximada (m/seg)	0,392		0,455
Área transversal (m2)	0,090		0,228
Caudal aproximado (l/seg)	0,028		0,103
Colecta de macroinvertebrados	Sí	Sí	Sí

Tabla 4. Características principales de las fuentes alternativas de uso.

	Posible fuente de consumo para Amachuma Grande		Vertiente 1 en cañadón para Chullu	Vertiente 2 para Chullu
Altitud (m)	3824		3668	4134
Coordenadas de ubicación	613132 8169644		610806 8168574	609632 8171184
Alteración del sitio	Ganado en los alrededores		Ninguna evidente	
Lugar de muestreo	Vertiente		Vertiente	Poza formada por una vertiente
Época	Transición	Seca	Seca	Seca
Uso actual por la comunidad	Se quiere utilizar para consumo		Ninguna al momento	Ninguna al momento
Erosión en las riberas	—	—	Ninguna	Ninguna
Colecta de macroinvertebrados	No	No		

4.3. Evaluación de la calidad del agua según parámetros fisicoquímicos y microbiológicos.

A continuación, se muestran los resultados de estos parámetros que sobrepasan los límites permisibles para consumo y para riego. Los valores de los demás parámetros medidos se encuentran en el ANEXO 4.

4.3.1. Sitios utilizados para riego.

Los resultados de los sitios con valores de los parámetros por encima de los límites permisibles se observan en la Tabla 5. Los valores mostrados son generales para los cultivos, pero la calidad de agua para riego depende también del tipo de cultivo y del suelo (Ayers & Westcot, 1985).

La conductividad como medición de la salinidad y el índice SAR (medida mediante la relación de sodio respecto del magnesio y calcio) son los valores más importantes para conocer si el agua es apta para riego porque una alta salinidad puede conllevar pérdidas en el o los cultivos.

En la Tabla 5 se puede ver que la conductividad aumenta en general, en época seca, esto debido a la concentración de compuestos inorgánicos, como sales, por ejemplo. Según los valores de conductividad, la salinidad es alta en la acequia de la comunidad Catupaya y en la acequia de Chullu y Oksani que viene del río Tacapaya, en las dos épocas. La conductividad más alta se obtuvo en el río Tacapaya, que alimenta tanto a la acequia de Chullu y Oksani como a la de Catupaya (Tabla 5).

No se han encontrado valores altos de salinidad en suelos (com. pers. Aliaga, Consultor en productividad de cultivos), pero sí una alta conductividad en los sitios mencionados arriba, lo que implica alta salinidad en éstas aguas, pero no a causa de sodio, que es un tóxico, sino a otras sales, lo que puede ocasionar que el suelo se vuelva salino y por tanto, disminuya el rendimiento de cultivos sensibles a la salinidad (Ayer & Westcot, 1985).

Es necesario mencionar que si debido a un déficit de agua por cambio climático, el agua resultara menos disponible y se regara con menor frecuencia e intensidad, entonces los cultivos que estuviesen en suelos salinos, serían los primeros en sufrir déficit de agua, porque les costaría más a las plantas extraer el agua de los suelos salinos en comparación con cultivos que están en suelos no salinos (Ayer & Westcot, 1985). Por supuesto, el efecto de la salinidad es diferente según el cultivo y varía según la tolerancia del cultivo a la salinidad (ANEXO 5).

Tampoco se han encontrado problemas de infiltración en el suelo (com pers. Aliaga, Consultor en productividad de cultivos), pero aguas con baja salinidad (conductividad menor a 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y en especial menor a 200 $\mu\text{S}/\text{cm}$) como las de la mina San Francisco y la acequia de Choquecota y Amachuma Grande en las dos épocas evaluadas, y la acequia de Chullu-Oksani del río Choquecota en época de transición (Tabla 5 y ANEXO 4), podrían ocasionar problemas de infiltración⁸.

Los valores de coliformes fecales son altos en todos los sitios. Según la OMS y las Naciones Unidas (1989) se tiene un severo grado de restricción de aguas para riego cuando las coliformes fecales sobrepasan las 1000 en 100 ml. de muestra. Éstas son riesgosas para la salud humana como resultado de consumir cultivos regados con agua contaminada (Tabla 7).

En general, en aguas naturales el pH varía entre 6 y 9 (Cole, 1989) y según la FAO el rango normal para riego es de 6.5 a 8.4. Se ha encontrado que el pH, igual que la conductividad, aumentó en época seca hasta sobrepasar el valor de 8.4 (Tabla 5). Este aumento fue posiblemente debido a la menor capacidad del agua de amortiguar los contaminantes en época seca ya que en ésta época aumentan los sólidos disueltos y las sales. Un valor de pH fuera del rango normal puede indicar un desbalance iónico o la presencia de un tóxico.

Tabla 5. Valores de parámetros que en algunos sitios sobrepasan los límites aceptados para riego.

Lugar de la toma de muestra	Época de muestreo	pH	Dureza mg/l CaCO ₃	Conductividad μS/cm	Sólidos disueltos g/l	Fósforo soluble mg/l	Coliformes fecales NMP/100 ml	Arsénico mg/l	
Asequia de Retamani	Río Choquecota	Transición	7,6	130	273	0,15	<0,070	4,9*10 ²	<0,0010
		Seca	8,55	—	410	0,3	—	2,3*10 ²	<0,0010
	Final de la acequia de Retamani	Seca	9,18	—	390	0,19	0,55	—	—
Asequia de Catupaya	Ríos Choquecota y Tacapaya	Transición	8,4	160	513	0,27	0,44	1,3*10 ³	<0,0010
		Seca	8,78	—	640	0,32	—	9,3*10 ²	<0,0011
	Final de la acequia de Catupaya	Seca	9,47	—	430	0,22	<0,070	—	—
Asequias de Chullu y Oksani	Río Choquecota	Transición	8	82	171	0,08	—	90	0,0033
		Seca	8,49	—	300	0,15	—	2,3*10 ²	<0,0010
	Río Tacapaya	Transición	8,5	440	747	0,37	<0,070	1,2*10 ³	0,0028
		Seca	8,68	634	1060	0,53	—	—	<0,0010
	Unión Ríos Tacapaya y Choquecota	Seca	—	630	—	—	—	3,3*10 ²	<0,0010
Final acequias de Chullu y Oksani	Seca	9,14	—	730	0,36	<0,070	—	—	
Asequia de Choquecota y Amachuma Grande	Río Choquecota	Transición	7,8	70	151	0,089	<0,070	2,3*10 ²	<0,0010
		Seca	8,08	—	200	0,1	—	2,3*10 ²	<0,0010
	Final acequia de Amachuma Grande debajo de la mina Chilacoya	Transición	8	—	178	0,09	—	4,6*10 ³	<0,0010
		Seca	8,74	—	290	0,14	<0,070	1,7*10 ²	<0,0010
Grado de restricción para agua de riego según FAO	Ninguno	Rango normal 6,5-8,4		<700	<0,45	No existe valor de referencia			
	Bajo a moderado		500	700-3000	0,45-2				
	Severo			>3000	>2		1000		
Rango usual en aguas de riego				0-3000	0-2			0,1	

Cuando se habla de ningún grado de restricción, es que no se han evidenciado problemas ni con el suelo ni con los cultivos con valores debajo de este grado. En el grado de restricción bajo a moderado, gradualmente se incrementa el cuidado en seleccionar el cultivo y en tener alternativas de manejo para alcanzar un rendimiento óptimo del cultivo. Si el agua excede los valores de restricción severa, es muy probable que existan problemas con los cultivos y se necesitaría un alto nivel de manejo para alcanzar un rendimiento aceptable (Ayers & Westcot, 1985).

Tabla 6. Valores de SAR en sitios utilizados para riego.

	Debajo de mina San Francisco	Asequia de Choquecota y Amachuma	Asequias de Chullu Oksani		Asequia de Retamani	Asequia de Catupaya	Debajo de Palca
Lugar de toma de la muestra	Río Soa	Río Choquecota	Río Choquecota	Río Tacapaya	Río Choquecota	Ríos Choquecota y Tacapaya	Río Choquecota y Río
SAR (meq/l)	0,22	0,32	0,22	0,23	0,37	0,3	0,21

La tasa de absorción de sodio (SAR) indica que en ningún sitio evaluado existe una salinidad alta debido al sodio ni que el ion sodio está presente en grandes proporciones, lo que implicaría toxicidad por sodio; por lo que, en este sentido, las aguas del río Choquecota y río Tacapaya o Huancapampa son aptas para riego. Los valores se convirtieron a meq/l porque los límites de la FAO están expresados en éstas unidades.

La alta conductividad en el río Tacapaya que alimenta la acequia de Chullu y Oksani, se refiere entonces a varios iones pero no a una alta concentración del ion sodio.

El daño por tóxicos como sodio depende de la duración a la exposición, la concentración del ión tóxico, la sensibilidad del cultivo y el volumen de agua que es expulsado o transpirado por el cultivo (Ayers & Westcot, 1985) ya que el sodio pueden ocasionar una baja producción o rendimiento. No hay evidencia de esta situación en los cultivos.

A nivel de sensibilidad de cultivos, en Bolivia no existen estudios conocidos que hayan considerado el daño por contaminantes a cultivos. En la FAO no se tiene información de los efectos de la turbidez del agua, del arsénico o de las coliformes fecales sobre diferentes tipos de cultivos, pero sí se tienen, a nivel general, los efectos sobre la salud del riego con aguas contaminadas con heces fecales. En la Tabla 7, se muestra un resumen de éstos efectos en la salud humana.

Tabla 7. Efectos en la salud por el consumo de cultivos con contaminación fecal

Enfermedades por alimentos regados con aguas con contaminación fecal y consumidas sin cocinar

Infección por lombrices	<i>Ascaris lumbricoides</i>
Infección viral	<i>Enterovirus, rotavirus</i> que causa diarrea especialmente en niños, también <i>poliovirus</i> que puede causar poliomeilitis
Infección bacteriana	Bacterias como <i>Helicobacter pylori</i> que provoca úlcera; <i>Shigella</i> que provoca shigelosis, <i>Salmonella</i> que provoca salmonella, tifoidea o paratifoidea, <i>Esherichia coli</i> enterotóxica.
Infección por protozoarios	<i>Vibrium cholerae</i> , que provoca el Cholera

Según la FAO, la toxicidad por arsénico en las plantas varía ampliamente, desde 12 mg/l para algunas gramíneas hasta menos de 0.05 mg/l para el arroz, pero el arsénico encontrado en los sitios evaluados es menor a este valor.

El fósforo soluble es un indicador de la presencia de detergentes, aunque no existen límites permisibles en este sentido, se conoce que si el fósforo está disuelto en agua puede dañar las raíces de los cultivos (com. pers. Aliaga, consultor agrónomo en productividad de cultivos).

Es importante tener en cuenta el efecto de los químicos (especialmente salinidad y tóxicos) en el rendimiento de los cultivos, ya que si existe este tipo de problemas la comunidad es más vulnerable al cambio climático.

4.3.2.Sitios utilizados para consumo.

Como en el caso de la calidad del agua para riego, en la Tabla 8 sólo se muestran los valores de los sitios cuyos parámetros sobrepasan los límites permisibles para consumo. Por lo que no se muestran los valores de la vertiente de donde se toma agua para el tanque de Choquecota ni del último tanque de Choquecota (la comunidad cuenta con tres tanques) que sirve para repartir el agua de consumo, valores que se pueden ver en el ANEXO 4. En los tanques de las comunidades evaluadas no utilizan ningún tipo de tratamiento y/o desinfección de las aguas para consumo humano. En Choquecota incorporan cal al agua como sustituto de la desinfección (según com pers. con el secretario de actas de Choquecota). Se aclara que el pH de la vertiente que alimenta el tanque de Choquecota medido *in situ*, fue poco mayor a neutro (7,3) y el de laboratorio fue de 5,4 (ácido); al corroborar esto en época seca se encontró que el pH es mayor a 7 (Tabla 9).

En las dos épocas evaluadas, el tanque de donde actualmente consume la comunidad de Amachuma Grande y la acequia de Chullu Oksani que viene del río Tacapaya tienen alta dureza (Tabla 9), por lo que se trata de aguas con abundante Calcio y Magnesio.

La turbidez sobrepasa el valor aceptado en algunos casos, pero en el río Tacapaya es notoriamente mayor por lo que las aguas de las acequias que se alimentan de este río son turbias. A diferencia de otros parámetros fisicoquímicos la turbidez fue mayor en época de transición (Tabla 9) debido a que está asociada a los sólidos suspendidos que son ocasionados por la búsqueda de oro, y que además pueden traer consigo contaminantes como metales pesados, por ejemplo y, no permiten una efectiva desinfección del agua porque las bacterias se rodean de sedimentos y no son eliminadas. La alta turbidez de la toma de Retamani (entubado) se debe a que la muestra se tomó en la cámara que se encuentra al inicio del entubado, la cual está reteniendo de manera efectiva los sólidos suspendidos y la turbidez del agua.

Las coliformes fecales fueron mayores en época de transición, seguramente porque en esta época aún existe arrastre de material, este mismo patrón se pudo observar en Rivera (2007) donde se observó en el río Choquecota mayor cantidad de coliformes fecales en época húmeda respecto de la época seca. El sitio del río Choquecota que entra en la acequia de Chullu Oxani fue el único donde las coliformes fecales aumentaron notoriamente en época seca (Tabla 9).

Se debe tener presente que existe lavado de ropa en el lugar y, por tanto, contaminación con detergentes, habiéndose encontrado fósforo a la entrada de la acequia de Catupaya y al final de la acequia de Retamani. El hecho de no haber encontrado fósforo al final de las otras acequias, no significa que no existan detergentes en los ríos o en los canales de riego porque el vertido pudo haber sido días antes y no ser detectado en el análisis. Es en

estos casos que los macroinvertebrados son de especial utilidad, especialmente cuando se trata de contaminación orgánica como contaminación por detergentes, por ejemplo, ya que éstos eutrofizan⁹ el agua (Justiniano, 1986 en Franken & Sivila, 1992). Como veremos más adelante, los macroinvertebrados en todas las acequias dieron una calidad entre regular y regular mala, lo que indica contaminación orgánica. Es preocupante la cantidad de algas que se han visto al final de las acequias, especialmente en la acequia de Retamani ya que están relacionadas con la contaminación orgánica. El consumo de agua con contaminación orgánica trae consigo efectos en la salud por el crecimiento desmesurado de microorganismos (Tabla 8).

La demanda biológica de oxígeno DBO se utiliza para determinar la cantidad de materia orgánica en el agua (Roldán, 1992). De los sitios donde se tomó la DBO en el río Choquecota, en la acequia de Catupaya sobrepasa un poco el límite permisible para abastecimiento doméstico de agua potable después de sólo una desinfección y ningún tratamiento (CLASE "A") (Tabla 9, ANEXO 6) pero sí está debajo del límite para abastecimiento doméstico de agua potable después de desinfección más tratamiento físico (CLASE "B") (ANEXO 6). Las bajas cantidades de DBO encontradas, a pesar de tener un alto número de coliformes fecales en el río Choquecota, pueden deberse a la baja temperatura del río que lentifica los procesos metabólicos.

Los sulfatos del tanque de Amachuma Grande y de la acequia de Chullu y Oksani del río Tacapaya están un poco por encima del límite establecido por la OMS. No se conocen efectos directos sobre la salud pero sí efectos en la corrosión de tanques (World Health Organization, 2006).

Se detectó arsénico en cantidades mínimas en la acequia de Chullu y Oksani sobre el río Choquecota y también la acequia en el río Tacapaya. El arsénico pudo encontrarse debido al beneficiado del wolfram en el lugar, ya que los concentrados de wolfram que se producen muchas veces contienen arsénico (Escobari, 2003). Este metal está por debajo de los límites para consumo humano pero según Hindmarsh & McCurdy (1986); & US NRC (1999) en WHO (2003), en aguas naturales el arsénico debe estar entre 0,001 y 0,002 mg/l porque es difícil de remover de las aguas. Aún no se conocen las concentraciones a las que el arsénico no tiene efectos sobre la salud humana. En estos sitios el arsénico fue de 0.0033 y 0.0028 mg/l, respectivamente (Tabla 9), además no se encontró arsénico en la época seca, por lo que se debe continuar con el monitoreo en estos sitios. Cabe recalcar que el efecto de tóxicos depende del tiempo y frecuencia de exposición.

Según la OMS, los efectos principales de las coliformes fecales, el arsénico y la turbidez en aguas para consumo son:

⁹ Eutrofizar significa quitar el oxígeno al agua, entonces está se vuelve estancada.

Tabla 8. Efectos en la salud por consumo de agua con los contaminantes encontrados.

Efectos del consumo de aguas con coliformes fecales, arsénico y turbidez en la salud humana	
Coliformes fecales	<p>Infecciones gastrointestinales como disentería amebiana causadas por protozoos, otras infecciones como gastroenteritis, salmonella, fiebre tifoidea, paratifoidea, entre otras. causadas por bacterias como Salmonella, Shigella, Escherichia coli, Campylobacter, entre otros</p> <p>Infecciones en el tracto respiratorio superior causada por adenovirus</p> <p>Poliomelitis y Hepatitis causadas por virus poliovirus y virus de la hepatitis, pero en mucha menor ocurrencia que el primero.</p>
Arsénico	<p>El arsénico inorgánico puede acumularse en piel, huesos, riñones o hígado. Su tiempo de vida en el hombre es de entre 2 y 40 días y es eliminado del cuerpo por el sistema urinario. Se conoce que puede traspasar la barrera placentaria en mujeres embarazadas.</p> <p>Puede causar rompimiento de cromosomas o aberraciones cromosomales, especialmente en células de los huesos en experimentos con roedores.</p> <p>Signos de intoxicación por arsénico son la hiper o hipopigmentación, cáncer de piel, de vejiga, de riñones y de pulmones y daño en la circulación periférica.</p>
Turbidez	<p>Las partículas que ocasionan la turbidez pueden traer consigo organismos causantes de enfermedades o químicos tóxicos provenientes de las montañas.</p> <p>Altos niveles de turbidez y sólidos suspendidos no permiten una desinfección efectiva de las aguas ya que los organismos patógenos están protegidos por las partículas de tierra.</p> <p>La alta turbidez también provoca el mayor crecimiento de bacterias.</p>

Tabla 9. Valores de parámetros que en algunos sitios sobrepasan los límites aceptados para consumo.

Lugar de la toma de muestra		Época de muestreo	pH	Dureza mg/l CaCO ₃	Turbidez UTN	Sólidos suspendidos mg/l	Sulfatos mg/l	Fósforo soluble mg/l	DBO mg/l	Coliformes fecales NMP/100 ml	Arsénico mg/l
Tanque para consumo de agua de Amachuma Grande	Tanque	Transición	7,1	570	—	5,3	268	—	—	40	<0,0010
		Seca	7,51	420	0,6	—	—	—	—	4,6*10 ²	<0,0010
Vertiente para tanque de Palca	Vertiente	Transición	8,6	—	—	—	—	—	—	1,7*10 ²	
Tanque para consumo de Palca	Tanque	Transición	8,3	205	5,1	7,5	40	—	—	—	<0,0010
		Seca	8,63	—	—	—	—	—	—	4,6*10 ²	
Asequias de Retamani	Río Choquecota (entubado)	Transición	7,6	110	42	96	60	<0,070	2,5	4,6*10 ²	<0,0010
		Seca	8,57	—	56	—	—	—	—	1,7*10 ³	<0,0010
	Río Choquecota	Transición	7,6	130	6,5	5,5	68	<0,070	—	4,9*10 ²	<0,0010
		Seca	8,55	—	52	—	—	—	—	2,3*10 ²	<0,0010
	Final de la acequia	Seca	9,18	—	—	—	—	0,55	—	—	—
	Asequia de Catupaya	Ríos Choquecota y Tacapaya	Transición	8,4	160	492	1480	185	0,44	4,2	1,3*10 ³
Seca			8,78	—	67	—	—	—	—	9,3*10 ²	<0,0011
Final de la acequia		Seca	9,47	—	—	—	—	<0,070	—	—	—
Asequias de Chullu y Oksani	Río Choquecota	Transición	8	82	5,2	<5	40	—	—	90	0,0033
		Seca	8,49	No se midió	5,4	—	—	—	—	2,3*10 ²	<0,0010
	Río Tacapaya	Transición	8,5	440	130	157	287	<0,070	—	1,2*10 ³	0,0028
		Seca	8,68	634	17	—	—	—	—	—	<0,0010
	Unión Ríos Tacapaya y Choquecota	Seca	—	630	16	—	—	—	—	3,3*10 ²	<0,0010
	Final de acequias	Seca	9,14	—	—	—	—	<0,070	—	—	—
Valor máximo aceptable para consumo según norma boliviana			6-8,5	500	10	<10	300		<2	5 en 80% de las muestras	0,05
Valor máximo para consumo según OMS			<8 para que la desinfección con cloro sea eficiente	500	5	No hay valor de referencia	250	No hay valor de referencia	—	0	0,01

4.3.3. Sitios considerados fuente de contaminación.

El sitio debajo de la mina San Francisco fue considerado como potencial fuente de contaminación río abajo porque es el sitio más alto. El sitio debajo de la Mina Sonia también es fuente potencial de contaminación y el sitio en la confluencia del río Choquecota con el río Chumaqueri, debajo de Palca, porque es el sitio de salida del río Choquecota hacia otras comunidades (que no están en el área de estudio establecida por el Proyecto). La calidad del agua de estos sitios se comparó con límites establecidos tanto para riego como para consumo.

El sitio debajo de la mina San Francisco está influenciado por arsénico y coliformes fecales (Tabla 10).

Los resultados de calidad del agua del sitio debajo de la mina de oro Sonia se muestran en el ANEXO 4 por no haber sobrepasado límites permisibles, sin embargo sólo se midieron en este sitio algunos parámetros (oxígeno disuelto, pH, conductividad, sólidos disueltos, temperatura y mercurio) ya que el interés especial en este sitio era conocer si existía contaminación con mercurio.

Las aguas del sitio debajo de Palca en la confluencia de los ríos Choquecota y Chumaqueri son salinas según la conductividad y los sólidos disueltos; además, tienen más magnesio en relación con el calcio, lo que implicaría una posible disminución del rendimiento en los cultivos debido a que el magnesio induce la disminución del calcio, el cual reduce la presencia de tóxicos en la raíz, como magnesio y sodio en gran cantidad, por ejemplo.

Tabla 10. Valores de parámetros en sitios considerados fuentes potenciales de contaminación

Lugar de la toma de muestra	Época de muestreo	pH	Dureza Total mg CaCO ₃ /l	Conductividad uS/cm	Sólidos disueltos g/l	Turbidez UTN	Sulfatos mg/l	Magnesio meq/l	Coliformes fecales NMP/100 ml	Arsénico mg/l	
Debajo de mina San Francisco	Río Soa	Transición	7,3	43	96	0,16	—	27	0,11	<2	0,0079
		Seca	7,8	—	170	0,09	0,31	—		80	<0,0010
Debajo de Palca	Río Choquecota	Seca	8,82	490	970	0,48	220	309	5,75	3,4*10 ⁴	<0,0010
	Río Chumaqueri	Seca	—	422	—	—	400	—	—	—	—
Grado de restricción en el uso para agua de riego según FAO	Ninguno			<700	<0,45	No hay valores de referencia	No hay valores de referencia				
	Bajo a moderado	Rango normal 6,5-8,4	500	700-3000	0,45-2			0	0,1		
	Severo			>3000	>2						
Rango usual en aguas de riego según FAO				0-3000	0-2			0-5			
Valor máximo aceptable según norma boliviana		6-8,5	500	No hay valores de referencia		10	300	No hay valores de referencia	<5 en 80% de las muestras	0,05	
Valor máximo aceptable según OMS		<8 para que la desinfección con cloro sea eficiente	500	No hay valores de referencia		5	250	No hay valores de referencia	0	0,01	

4.3.4. Vertientes alternativas para riego y consumo

Se tomaron muestras de las vertientes potenciales o alternativas de las comunidades según las necesidades identificadas en los talleres.

La vertiente actual de la comunidad Amachuma Grande cuenta con aguas duras que sobrepasan los límites permisibles para consumo. Además esta aguas presentan salinidad. La comunidad ha encontrado una vertiente alternativa que, según los resultados es menos salada y menos dura (Tabla 11). En esta vertiente se han encontrado coliformes fecales porque la muestra se tomó de una poza que se forma de la vertiente y en los alrededores existe ganado, además la baja concentración de oxígeno se debe a que en la poza el agua está quieta y permite la colonización de algas. Esto tiene su solución dejando correr el agua y evitando que se estanque. De esta manera, ya puede ser consumida por la comunidad.

Las comunidades de Chullu y Oksani, especialmente Oksani, tienen deficiencia de agua, lo que ha ocasionado que la mayoría de la gente de Oksani se fuera a vivir a Palca.

Las aguas de la vertiente alternativa para Chullu son de buena calidad, a pesar de ser un poco turbias, no se ha encontrado mayor problema. Las aguas de la vertiente alternativa para Oksani tienen el problema de tener una alta conductividad o sea que son salinas y son duras con iones de calcio y magnesio. El oxígeno en ésta vertiente es bajo porque se tomó la muestra de la poza que forma la vertiente debido a la imposibilidad de acceder con el equipo a las aguas subterráneas de la vertiente, pero esto es solucionable si se deja correr el agua. Se midieron los nitratos en la fuente actual para Oksani y en la vertiente alternativa para Oksani debido a la cantidad de materia orgánica que pudiese estar en descomposición y formar de manera natural nitratos, que son peligrosos para la salud. No se encontraron concentraciones significativas de nitratos en las pozas.



Foto 11. Fuente actual de uso de Oksani.

Tabla 11. Valores de parámetros en fuentes alternativas de uso

	Lugar de la toma de muestra	Época de muestreo	pH	Turbidez UTN	Dureza Total mg CaCO ₃ /l	Oxígeno disuelto mg/l	Conductividad µS/cm	Sólidos disueltos g/l	Coliformes fecales NMP/100 ml	Nitratos mg/l
Vertiente alternativa para Amachuma Grande	Vertiente	Transición	7,36	5,1	197	6,7	387	—	—	—
		Seca	7,12	—	—	4,14	440	0,22	80	—
Vertiente alternativa para Chullu	Vertiente en un cañadón	Seca	8,48	25	86	7,07	400	0,2	—	—
Vertiente actual Oxani	Poza que se forma de la vertiente	Seca	9,05	—	—	9,38	770	0,39	—	2,6
Vertiente alternativa para Oxani	Poza que se forma de la vertiente	Seca	7,28	—	611	3,02	950	0,47	—	2,8
Grado de restricción para agua de riego según FAO	Ninguno	Bajo a moderado	6,5-8,4	No hay valor de referencia	500	No hay valor de referencia	<700	<0,45	0	
		Severo					700-3000	0,45-2		
Rango usual en aguas de riego		No hay valor de referencia		No hay valor de referencia		0-3000	0-2	No hay valor de referencia		
Valor máximo aceptado según norma boliviana		6-8,5	10	500	No hay valor de referencia	No hay valor de referencia	<1	<5 en 80% de las muestras	20	
Valor máximo aceptado según OMS		<8 para desinfección con cloro	5	500	No hay valor de referencia	No hay valor de referencia	<1	0	50	

4.2. Evaluación de la calidad del agua según macroinvertebrados (evaluación biológica).

Las muestras biológicas se colectaron de los sitios sobre los ríos de ingreso a las acequias. También se tomaron en los lugares que se consideraron como potencial fuente de contaminación (Mina San Francisco y en la confluencia del río Choquecota con el río Chumaqueri debajo de Palca). Se tomaron muestras en un total de 12 sitios. Entonces las muestras biológicas no fueron tomadas en vertientes ni en tanques, por los motivos explicados anteriormente.

4.2.1. Calidad de agua para riego y para consumo según la evaluación biológica

Se colectaron en total cerca de 50.000 organismos macroinvertebrados bioindicadores, 12.000 individuos fueron colectados en época de transición y 38.000 en época seca.

Tabla 12. Resultados del Índice Biótico de Familias que miden calidad del agua con en invertebrados de las entradas a las acequias.

	Asequia Amachuma Grande y Choquecota-río Choquecota	Asequia Chullu y Oksani - río Tacapaya	Asequia Chullu y Oksani - unión ríos Tacapaya y Choquecota	Asequias Chullu y Oksani - río Choquecota	Asequia Retamani (entubado) - río Choquecota	Asequia Retamani (abajo) - río Choquecota	Asequia Catupaya - río Tacapaya	Asequia Catupaya - río Choquecota
Transición	4,39	5,37	—	5,15	5,72	5,45	5,92	5,76
Seca	5,84	5,86	5,89	5,83	5,84	5,9	5,97	5,2

Tabla 13. Resultados del Índice Biótico Normal Globalizado que miden calidad del agua con en invertebrados de las entradas a las acequias.

	Asequia Amachuma Grande y Choquecota-río Choquecota	Asequia Chullu y Oksani-río Tacapaya	Asequia Chullu y Oksani-unión ríos Choquecota y Tacapaya	Asequia Chullu Oksani-río Choquecota	Asequia Retamani (entubado)-río Choquecota	Asequia Retamani abajo-río Choquecota	Asequia Catupaya-río Tacapaya	Asequia Catupaya-río Choquecota
Transición	13	11	—	11	13	11	8	12
Seca	13	13	10	13	11	9	9	11

Los resultados muestran que los sitios utilizados por las comunidades tienen calidad entre regular y regular mala (índice IBF) y calidad regular (índice IBGN) (Gráfica 1 a 4). En la Tablas 12 y 13 se muestran los valores de los índices. La calidad regular se refiere a que existe contaminación aunque ésta no es elevada. Para el Índice Biótico de Familias IBF, mientras es menor el valor es mejor la calidad del agua.

La acequia que comparten las comunidades Amachuma Grande y Choquecota tuvo la mejor calidad de todas las acequias, especialmente con el índice IBGN (Gráfica 1). Fue el único sitio en la época de transición donde se encontró el invertebrado sensible Blepharoceridae (sólo un individuo). Hay que tener presente que, en este sitio, existió también un gran número de organismos tolerantes, igual que en los demás sitios. El principal contaminante en esta parte del río son las coliformes fecales, pero no en mayor cantidad que los demás sitios, posiblemente esto debido a que esta acequia es la de mayor altura (está debajo del pueblo Choquecota) y por tanto tiene menor influencia de aguas servidas.

Los dos sitios utilizados por Chullu y Oksani se clasificaron como de calidad regular en transición y buena calidad en época seca. En el caso de la acequia que se alimenta del río Choquecota la calidad subió en época seca porque aparecieron las familias de invertebrados (Elmidae, Empididae, Muscidae, Ostracoda, Planaria), que son medianamente tolerantes. Ésta acequia solamente es utilizada en época seca.

En el río Tacapaya, que alimenta a la otra acequia de Chullu Oksani, no se encontró el invertebrado más sensible de todos: Grypopterigidae en época de transición pero sí se encontró en época seca, lo que significa que existe menor contaminación orgánica en época seca (las coliformes disminuyeron en esta época) y menor turbidez porque si bien continúan las actividades de remoción de sustrato para búsqueda de oro, el arrastre de material disminuye en época seca (Tabla 9) (Rivera, 2007). Se ha visto que familias como

Leptophlebiidae, Elmidae e Hidroptilidae se ven afectadas por la turbidez, las cuales efectivamente están en menor proporción respecto de taxones tolerantes (Fossati et al., 2001). Esta acequia es utilizada todo el año pero para aumentar su caudal en época seca la comunidad une los dos ríos (Choquecota y Tacapaya) para que entren en la acequia. Ambas acequias son más limpias en época seca. También se tomaron muestras en la unión de los dos ríos en época seca que también tiene calidad regular.

En las dos acequias de Chullu Oksani se ha encontrado arsénico en pequeñas cantidades. Es difícil relacionar los metales pesados con la diversidad de invertebrados, porque se han realizado mayor número de estudios en relación con la contaminación orgánica que acerca de metales pesados. En este caso, se ha visto en Smolders et al., 1999 que el hecho de haber encontrado Leptophlebiidae e incluso Gryopterigidae (sensibles) en éstos sitios y a que no se encontró arsénico en la época seca, indica que la contaminación por arsénico no es constante durante el año.

En el caso de las acequias de la comunidad Retamani (que se utiliza para consumo humano solamente), las aguas que entran al entubado son de calidad regular (con ambos índices) a buena (con el índice IBGN en época seca). Aumentó el número de familias tolerantes en época seca. Precisamente en esta época aumentó la contaminación orgánica y la turbidez. Este sitio es muy rico en familias, por lo que el IBGN le dio calidad buena, pero tiene pocos individuos de familias sensibles (ANEXO 2), de ahí la calidad regular con el IBF.

En la acequia de Retamani de abajo (que se utiliza para riego y consumo) la calidad del agua es regular pero disminuye un poco en época seca, la turbidez en este sitio es importante en época seca, y desaparecen taxones sensibles (Gryopterigidae).

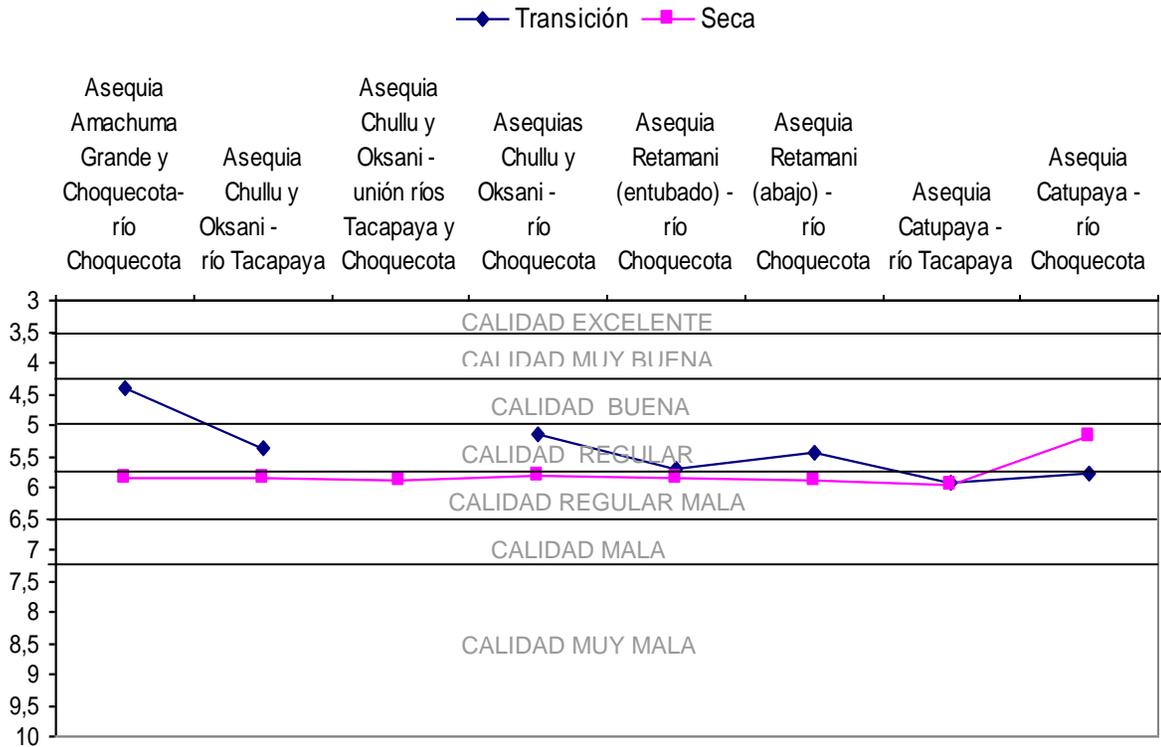
Las aguas del río Tacapaya utilizadas por la comunidad Catupaya tienen condición "regular mala" (Grafica 1 y 2), en este sitio casi no se encontraron taxones sensibles. En esta acequia entran aguas tanto del río Choquecota como del río Tacapaya. Es mejor la condición del río Choquecota que entra en la acequia de Catupaya. Se observó gran turbidez a la entrada de la acequia en época de transición (proveniente del río Tacapaya) y disminución de la turbidez en época seca.



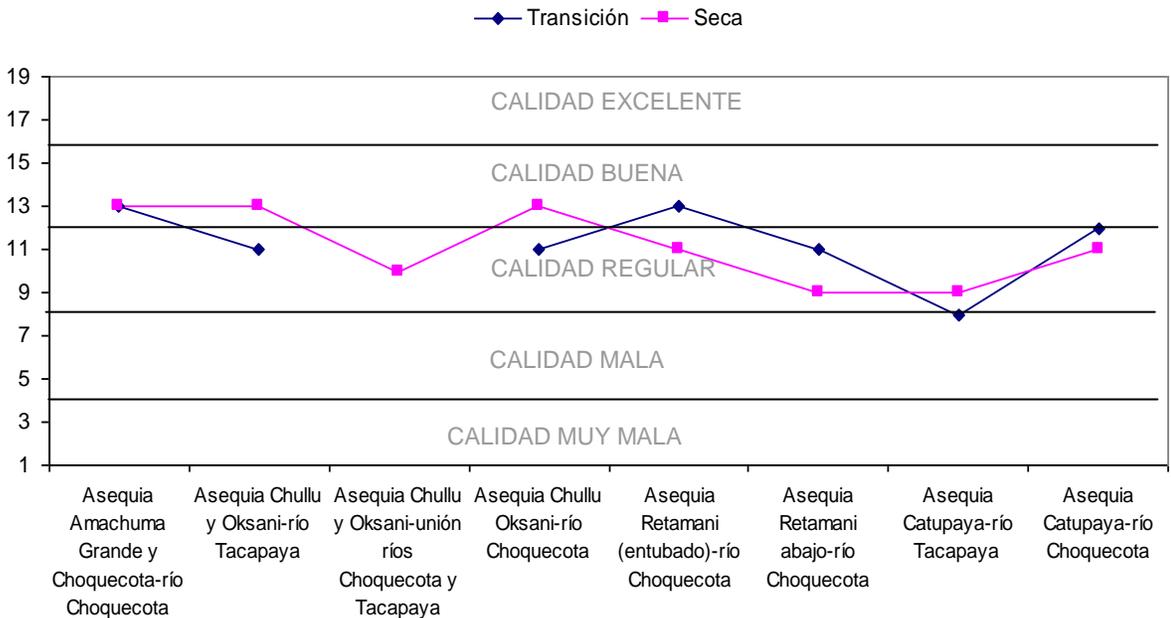
Foto 12. **Leptophlebiidae.**
Macroinvertebrado sensible
a la contaminación



Foto 13. **Chironomidae**
Macroinvertebrado
tolerante a la contaminación



Gráfica 1. Calidad de agua del río que entra en las acequias con el Índice Biótico de Familias.



Gráfica 2. Calidad de agua del río que entra en las acequias con el Índice Biótico Global Normalizado.

4.2.2. Calidad del agua en sitios que son potencial fuente de contaminación.

En época seca se corrobora la mala calidad del sitio debajo de la mina San Francisco. No se encontraron invertebrados muy sensibles como Grypopterigidae y/o Leptophlebiae. La abundancia fue muy baja (12 individuos en total en época de transición y 135 en época seca). Se encontró arsénico por debajo de límites permisibles pero es mayor que el arsénico encontrado en sitios de río abajo (acequias de Chullu y Oksani) (Tabla 10). Si bien ahora no se encontró una contaminación notoria en este sitio, es posible que hubiera existido contaminación incluso meses antes de la toma de muestras porque la diversidad es muy baja respecto a otros estudios en la zona a esas altitudes (Molina, 2004; Rivera, 2007). Esto es indicador de contaminación en el sitio. Los mineros indicaron que utilizan un xantato ácido para el beneficio del mineral. Sin embargo, indicaron que no vierten este ácido en el río, lo que se corrobora al menos en el día de muestreo porque el pH no fue ácido (Tabla 10).

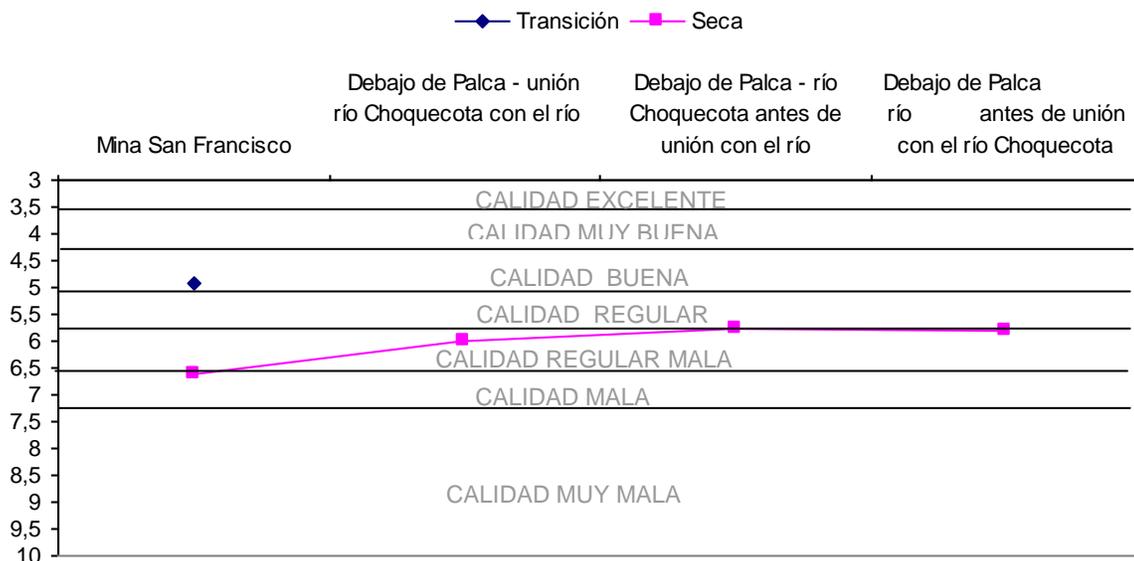
La unión del río Choquecota con el río Chumaqueri debajo de Palca dio clara idea de cómo sale el río Choquecota de Palca para ir hacia las partes más bajas del Municipio y a otras comunidades. La calidad del agua evidentemente no es buena pero aún se conservan, aunque pocos, taxones sensibles. Esto es indicador de que las condiciones aún se podrían remediar, a pesar de las medianamente altas dureza, salinidad y magnesio que podrían afectar a cultivos y coliformes fecales y turbidez que afectan al consumo humano.

Tabla 15. Resultados del Índice Biótico de Familias que miden calidad del agua con invertebrados en potenciales sitios de contaminación.

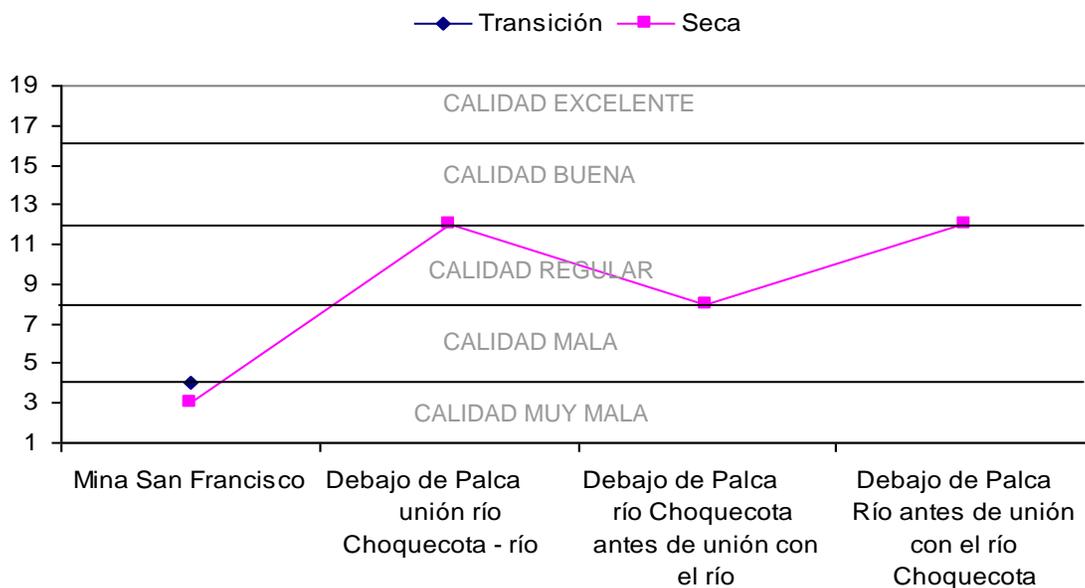
	Mina San Francisco	Debajo de Palca unión río Choquecota con río Chumaqueri	Debajo de Palca - río Choquecota antes de unión con río Chumaqueri	Debajo de Palca río Chumaqueri antes de unión con el río Choquecota
Transición	4,92	6	5,78	5,82
Seca	6,6	6	5,78	5,82

Tabla 16. Resultados del Índice Biótico Global Normalizado que miden calidad del agua con invertebrados en potenciales sitios de contaminación.

	Mina San Francisco	Debajo de Palca unión río Choquecota - río	Debajo de Palca río Choquecota antes de unión con el río	Debajo de Palca Río antes de unión con el río Choquecota
Transición	4	12	8	12
Seca	3	12	8	12



Gráfica 3. Calidad del agua en fuente potenciales de contaminación según Índice Biótico de Familias



Gráfica 4. Calidad del agua en sitios potenciales de contaminación según el Índice Biótico Global Normalizado.

En general se tuvo en todos los sitios mayor abundancia de taxones tolerantes. La respuesta conocida de los macroinvertebrados es a la contaminación orgánica. Según una Tesis de Grado (Rivera, 2007), los macroinvertebrados a mayores altitudes en el mismo río en sitios con limitada contaminación orgánica, dieron una buena a excelente calidad en época seca, por lo que río abajo existe aumento de la contaminación orgánica debido al ganado y a las poblaciones.

Como ya se indicó, los sitios para consumo humano como tanques y vertientes no pudieron ser evaluadas según criterios biológicos, debido a la imposibilidad de muestreos biológicos en dichos sitios. Por esto no se tienen resultados de calidad del agua para consumo con evaluación biológica (según macroinvertebrados) en el caso de sitios de consumo de Choquecota, Amachuma Grande y Palca. Debido a que las comunidades Chullu, Oksani, Retamani y Catupaya utilizan para consumo las mismas fuentes que para riego, los resultados de calidad del agua para consumo según los macroinvertebrados, son los mismos que para riego.

5. CONCLUSIONES

Generales

- ❖ Los caudales disminuyeron en época seca respecto de la época de transición. Los caudales de la época de transición son más parecidos a los caudales en época seca medidos en otros trabajos, debido a que las lluvias ya fueron escasas en la época de transición (mayo). Es necesario aclarar que éstos caudales son solamente aproximaciones.
- ❖ Las principales fuentes de alteración del río Choquecota fueron las aguas servidas ya que los valores de coliformes fecales están muy por encima del límite establecido para aguas de consumo.
- ❖ Las principales alteraciones en el río Tacapaya son las heces fecales y la remoción de sustrato para buscar oro, hecho que aumenta considerablemente los sólidos suspendidos y la turbidez en el agua, los que tienen su efecto en la salud de las comunidades que utilizan éste río.
- ❖ La dinámica de parámetros fisicoquímicos y en este caso de contaminantes en estos ríos consiste en un aumento de la turbidez y las coliformes fecales en época seca debido a arrastre de material por erosión.
- ❖ Las comunidades que consumen agua de tanques tienen ventaja respecto de las que utilizan agua de río, debido a que el río presenta más problemas de contaminación que las vertientes que alimentan a los tanques.
- ❖ En casi todos los sitios estudiados los macroinvertebrados dieron una calidad regular, que significa que existe un grado medio de contaminación. Se conoce que éstos macroinvertebrados detectan principalmente contaminación orgánica, lo que coincide con el alto número de coliformes fecales hallado, producto de las poblaciones y del ganado.
- ❖ Se conoce por otros estudios que la calidad de agua medida con macroinvertebrados es muy buena en sitios a mayores altitudes en el río Choquecota. Con esto podemos concluir que aumenta la contaminación a media que se baja en el río debido a las poblaciones.

Sitios no contaminados

- ❖ En Choquecota, no se ha encontrado parámetros fisicoquímicos ni microbiológicos por encima de lo establecido en las normas, tanto en la vertiente que alimenta los tanques de esta comunidad ni en el tercer tanque que reparte el agua, a pesar de que en éste último se utiliza cal (la concentración de calcio no supera los límites permisibles).

Detergentes y turbidez

- ❖ La turbidez y los detergentes en las acequias de Retamani, Catupaya y Chullu no permiten desinfección porque las bacterias se rodean de una película de detergente o de partículas sólidas que no dejan penetrar los desinfectantes.
- ❖ La contaminación por detergentes al ser orgánica, eutrofiza el agua, impidiendo que el río se autopurifique por actividad bacteriana ya que las bacterias se rodean de una película de detergente, que las aíslan del medio.
- ❖ Se ha observado notorio crecimiento de algas en las acequias antes de que éstas entren a los cultivos y valores de pH más elevados que en el río, lo que indica contaminación orgánica.

Conductividad como medida de salinidad

- ❖ Las altas conductividades en la acequia de Chullu y Oksani que sale del río Tacapaya y en el sitio debajo de Palca indican que existe salinidad media, lo que podría afectar a suelos con el tiempo y por tanto bajar la productividad. Aún no se han encontrado suelos salinos en la zona de estudio.
- ❖ La baja conductividad en las acequias de Chullu y Oksani del río Choquecota y de Amachuma y Choquecota puede estar ocasionando los problemas de infiltración en el suelo observados en Amachuma Grande.
- ❖ La conductividad fue alta para la vertiente actual y potencial de Oksani.

Dureza

- ❖ La vertiente utilizada para consumo por la Comunidad Amachuma Grande tiene agua dura. De acuerdo con estos valores y, con las percepciones de los comunarios de Amachuma Grande de que el agua es salada, es conveniente el cambio de fuente de agua por la vertiente que los comunarios tienen como alternativa para su consumo ya que si bien el oxígeno es bajo esto se debe a que el agua se estanca en un lugar y se soluciona dejando correr.
- ❖ La dureza también fue alta en la vertiente alternativa para Oksani.

Tasa de absorción de sodio

- ❖ Las acequias de todas las comunidad utilizadas para riego tuvieron baja tasa de absorción de sodio (SAR), por lo que no presentan sodio en grandes cantidades (que en grandes cantidades es tóxico para la planta) y en este sentido son aptas para riego.

Magnesio

- ❖ El alto magnesio en el sitio debajo de Palca indica posible disminución de productividad en cultivos.

Coliformes fecales

- ❖ Las coliformes fecales pueden ocasionar diferentes enfermedades tanto en aguas de riego como de consumo.

Arsénico

- ❖ No se encontraron metales pesados en los sitios evaluados, a excepción de una baja concentración de arsénico en tres sitios: debajo de la mina, en la acequia de Chullu y Oksani (río Choquecota) y en la acequia de Chullu y Oksani (río Tacapaya). Esto puede deberse al beneficiado de wolfram, que está asociado al arsénico. La concentración de arsénico está por debajo de los límites permisibles establecidos por ley y no se detectó en ningún sitio en época seca.

- ❖ Debido a que no se encontró mercurio en aguas, las minas de oro no están contaminando con este metal pero se debe monitorear.
- ❖ Si bien en el sitio debajo de la mina San Francisco no se encontraron valores fisicoquímicos anormales, a excepción de cantidades pequeñas de arsénico en época de transición y de coliformes fecales en época seca (a comparación de la gran cantidad de coliformes río abajo), la diversidad de macroinvertebrados es baja, lo que indica que posiblemente existió mayor contaminación hace un tiempo, podría ser incluso meses atrás.

6. RECOMENDACIONES

- A pesar de que no se encontraron metales pesados (excepto arsénico en bajas concentraciones) se debe realizar un monitoreo de metales pesados en la subcuenca, debido a que la Mina Chilacoya está comenzando sus actividades, lo que puede traer consigo problemas en el futuro (de mercurio, por ejemplo ya que ésta es una mina de extracción de oro). Además se ha corroborado en el río basura que consiste de baterías recargables, las mismas que al degradarse expulsan cadmio al agua.
- Según la OMS, un pH mayor a 8,5 puede provocar corrosión de los tanques de cemento de Palca, Choquecota y Amachuma Grande.
- Se debe hacer un seguimiento de la presencia de corrosión en los tanques y tuberías (en el caso de Amachuma Grande) ya que según la OMS aguas muy duras o muy blandas (debajo de 100 mg CaCO₃ /L) pueden ser corrosivas para éstas construcciones. También el pH mayor a 8,5 en época seca en el tanque de Palca (Tabla 9) indica que se debe realizar monitoreo para evitar corrosión.
- Se debe realizar un seguimiento a los cultivos, observando su existe daño foliar u otro indicio de acumulación de tóxicos en las plantas, ya que esta acumulación sólo puede ser vista a largo plazo.
- Los cultivos más tolerantes a la salinidad darán mejor rendimiento en el caso de cultivos de Chullu y Oksani alimentados por la acequia del río Tacapaya y también tener cuidado en cuanto a la salinidad del río Tacapaya que alimenta a la acequia de Catupaya ya que está cerca de los límites establecidos por la FAO.
- Para evitar problemas de agua por problemas de infiltración se debe asesorar a las comunidades en la realización de lixiviaciones cada cierto tiempo y mediciones de nutrientes en el suelo.
- Se recomienda la utilización de las aguas de la vertiente alternativa para Chullu en el cañadón. Lo que faltaría ver es si esta es suficiente para cubrir la demanda.
- No se recomienda la utilización de las aguas de la vertiente alternativa de Oxani ya que las aguas son duras y presentan alta conductividad. La vertiente que actualmente utiliza Oxani podría mejorar si el agua corriese ya que por este motivo se ha dado un crecimiento desmesurado de algas y por tanto, eutrofización de las aguas.

Para el tratamiento y/o desinfección de las aguas para consumo.

- En cuanto a la destrucción de coliformes fecales mediante desinfección con químicos (por ejemplo, cloro), puede ocasionar que se formen compuestos derivados de éstos químicos en el agua, pero según la OMS, los efectos de éstos químicos son pequeños comparados con el riesgo de consumir aguas contaminadas con bacterias y virus. Sin embargo, hay que tener en cuenta la

tolerancia de estos organismos, por ejemplo se ha visto que *Escherichia coli*, *Salmonella*, *Shigella*, *Campilobacter*, *Yersinia* y *Vibrio cholerae* son sensibles al cloro pero protozoarios como *Acanthamoeba*, *Toxoplasma* son resistentes al cloro.

- En Franken (2007), se puede ver que el cloro es cancerígeno, además para una efectiva desinfección con cloro es mejor que el agua tenga un pH de 8, generalmente éste ha sido un poco mayor. La desinfección con radiación UV, no sería muy efectiva en éstos ríos porque son relativamente turbios (río Choquecota) y muy turbio (río Tacapaya). Dejar sedimentar el agua puede ser una medida útil para este tipo de desinfección.
- Se recomienda hervir el agua, y debido a que algunas bacterias presentes en las heces pueden tolerar hasta 60°C, se recomienda hervir bien el agua antes de tomarla. Si es que se utiliza cloro se debe dejar reposar el agua al menos tres días antes de consumirla.
- También se pueden agitar por 20 s. pequeñas cantidades de agua en un contenedor limpio y transparente, una botella plástica por ejemplo, y luego colocar al sol por al menos 6 h.
- No se recomienda la desinfección mediante cal viva ya que si bien ésta puede precipitar metales e incluso desinfectar, genera desbalance de iones porque aumenta el pH del agua y puede ocasionar efectos en la salud como diarrea (com. pers. Lic. Miura, Carrera de Ciencias Químicas, UMSA). Es más recomendable el cloro o hervir el agua.
- Según la alta turbidez encontrada en varios de los sitios evaluados y dado que ésta está relacionada con los sólidos suspendidos, se recomienda que la gente deje sedimentar el agua por unas horas antes de utilizarla.
- Es importante filtrar el agua, especialmente para las comunidades que beben agua directamente de los ríos.
- Es importante que el lavado de ropa se realice en bañadores y no en el río o en las mismas acequias.

7. BIBLIOGRAFÍA

ALBA-TERCEDOR, J., 1996. Macroinvertebrados acuáticos y calidad de las aguas de los ríos.- IV Simposio del Agua en Andalucía vol II, 203-213 Almería, España.

ANGELIER, E., 2002. Ecología de las aguas corrientes. Editorial Acribia S.A. Zaragoza, España.

ARRAYA, S. 2006. Plan de Acción Ambiental Municipal. Diagnóstico Minero Ambiental, Estudio: Minería. Fundación MEDMIN. Gobierno Municipal de Palca.

AYERS, R; WESTCOT, D. 1985. Water Quality for Agriculture. FAO. Italia.

BLUMENTHAL, U; PEASEY, A. 2002. Critical review of epidemiological evidence of the health effects of wastewater and excreta use in agriculture. London School of Hygiene and Tropical Medicine.

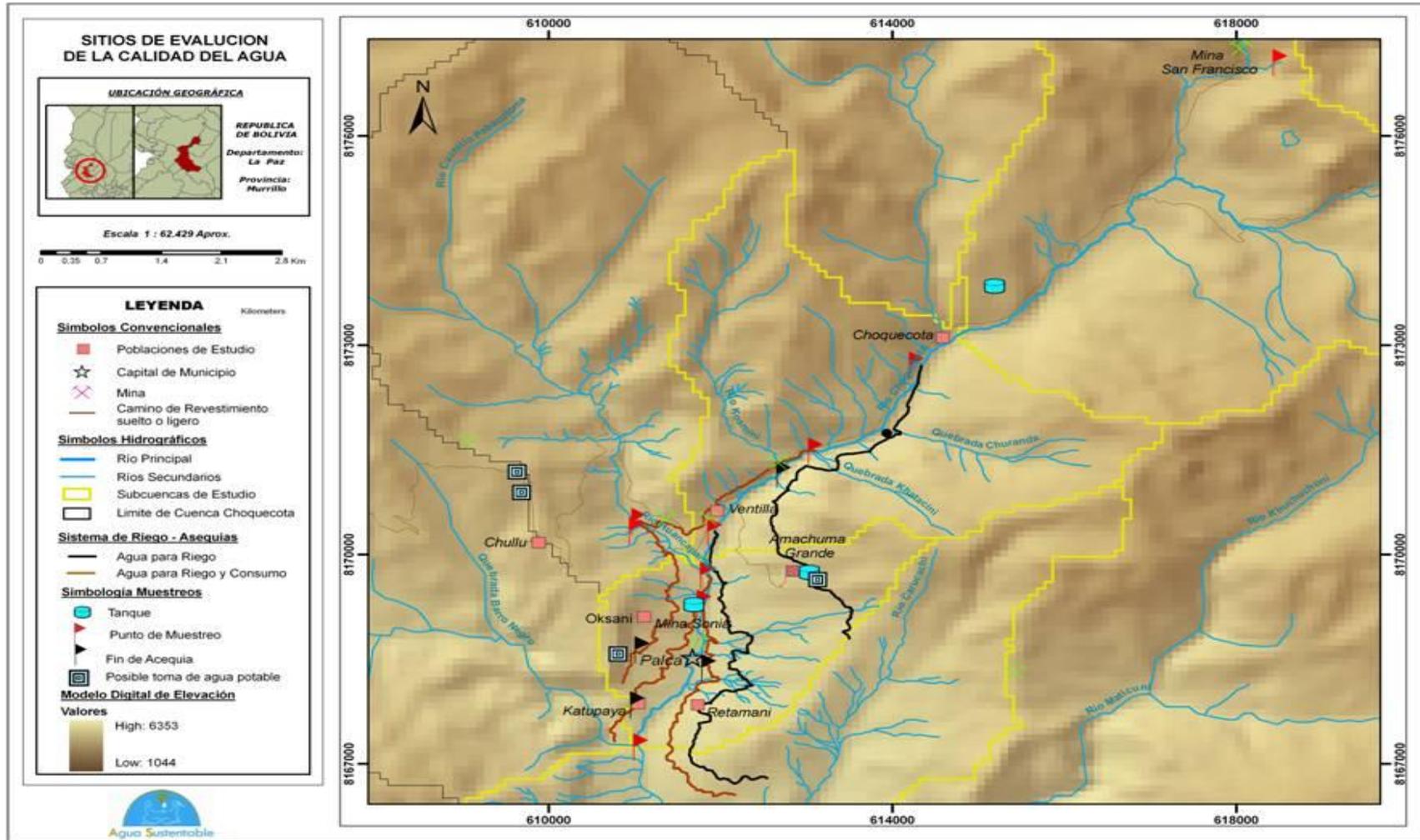
CAIRNS, J; PRATT, J. 1993., A history of biological monitoring using benthic macroinvertebrates.- Freshwater biomonitoring and the benthic macroinvertebrates. Chapman and Hall. New York, USA.

- COLE, G., 1988. Manual de Limnología. Editorial Hemisferio Sur S.A. Argentina.
- ESCOBARI, J. 2003. Problemática ambiental en Bolivia. Unidad de Análisis de Políticas Sociales y Económicas UDAPE.
- FOSSATI, O; WASSON, J.G.; HÉRY, C ; SALINAS, G ; MARÍN, R. 2001. Impact of sediment releases on water chemistry and macroinvertebrate communities in clear water Andean streams (Bolivia). Arch. Hydrobiol. 151: 33-50
- FRANKEN, M. & SIVILA, R. 1992. Estudio limnológico de los ríos del valle de La Paz en relación a su calidad de aguas. Ecología en Bolivia: 19, 97-132.
- FRANKEN, M. 2007. Gestión de aguas. *Conceptos para el nuevo milenio. Manejo sostenible del agua por sistemas descentralizados de suministro y evacuación de aguas y cierre de ciclos naturales locales del agua.* Universidad Mayor de San Andrés, Instituto de Ecología. Plural Editores. Bolivia.
- GAUTAM, A. 1990., Ecology and pollution of mountain waters.- Ashis Publishing House, India.
- HELLAWELL, J. 1978., Biological Surveillance of Rivers. Natural Environment Research Council.- Water Research Center, Regional Water Authorities, England.
- HELLAWELL, J. 1986., Biological indicators of freshwater pollution and environmental management.- Elsevier Applied Science Publ. 546 p. London & New York.
- JACOBSEN, D. 1998., The effect of organic pollution on the macroinvertebrate fauna of Ecuadorian highland streams.- Arch. Hydrobiol. 151: 179-195.
- LEY No. 1333. 2004. Ley y Reglamento del Medio Ambiente. Bolivia
- MERRITT, R & CUMMINS, K, 1996. An introduction to the aquatic insects of North America. Third Edition. Kendall/Hunt. Iowa, Estados Unidos.
- POND, K. 2005. Water Recreation and Disease. *Plausibility of Associated Infections: Acute effects, Sequelae and Mortality.* Publishing London-Seattle, Environmental Protection Agency of United States and World Health Organization. United Kingdom.
- ROLDÁN, G. 1992. Fundamentos de Limnología Neotropical. Editorial Universidad de Antioquia. Colombia.
- WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2003. Arsenic in drinking water. *Background document for development of WHO Guidelines for Drinking Water Quality.* Suiza.
- WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2006. Guidelines for drinking water quality. Vol 1. Recommendations, Third Edition. WHO Press. Suiza.
- www.who.int/entity/water_sanitation_health/bathing/srwe1-chap4.pdf Sitio web de World Health Organization para contaminación fecal y salud.

ANEXOS

ANEXO 1

Mapa de los sitios de estudio, de posibles fuentes contaminantes y de fuentes alternativas



ANEXO 2

Descripción de los parámetros fisicoquímicos evaluados.

- 1) El pH es un indicador de la acidez o basicidad del agua. El principal uso que se le da al pH es para detectar anomalías en el agua. Por ejemplo, agua para riego con pH fuera del rango normal puede causar desbalance nutricional o puede contener algún ión tóxico.
- 2) La temperatura es una medición útil para interpretar los rangos de solubilidad de los parámetros químicos.
- 3) La conductividad es un estimador de sólidos disueltos, así como de contaminantes inorgánicos ya que mide la carga eléctrica en el agua dada por iones. También indica de manera indirecta la geología del lugar y la productividad del agua. Es un parámetro para conocer la salinidad del agua, la geología del terreno, la productividad del agua y la posibilidad de contaminantes.
- 4) La dureza del agua es causada por el calcio y el magnesio. Dependiendo de la interacción con otros factores como pH y alcalinidad, una dureza por encima de 200 mg/l puede causar deposiciones en tuberías, tanques y sistemas de distribución en general. Además, un agua dura tiende a requerir mayor cantidad de detergentes, en el lavado de ropa por ejemplo, lo cual puede causar medios sin oxígeno y eutrofización de las aguas.
- 5) Los sulfatos en aguas de consumo pueden tener efectos laxantes.
- 6) Los sólidos suspendidos son causados por erosión natural o causada por perturbación humana y, por detritos orgánicos. Estos sólidos pueden traer consigo contaminantes.
- 7) La turbidez del agua es un indicador de los sólidos suspendidos y no permite una desinfección efectiva de las aguas porque las bacterias se rodean de una película de sedimento que no permite el ingreso de los desinfectantes como cloro, por ejemplo.
- 8) El sodio, calcio y magnesio ayudan a calcular la tasa de absorción de sodio SAR que indica si las aguas son salinas para riego. Un alto contenido de sodio respecto del calcio y magnesio indican aguas salinas, lo que tiene sus efectos en el rendimiento de los cultivos, particularmente los cultivos sensibles. También en un suelo con gran cantidad de magnesio respecto del calcio, se incrementa el efecto del sodio. Estos tres iones también indican posibles problemas de infiltración del agua en el suelo, por ejemplo. Las aguas y/o suelos con alto magnesio también pueden ocasionar problemas de productividad por deficiencia de calcio. El calcio reduce la toxicidad causada por el sodio y el magnesio, particularmente en las raíces de las plantas.
- 9) El oxígeno disuelto en el agua es influenciado por la temperatura y por los procesos químicos y biológicos que se dan en ésta. Es un indicador de contaminación orgánica aunque es mejor medirlo durante un periodo más largo (24 hrs. o más) porque depende de la fotosíntesis y respiración en el agua.
- 10) La demanda biológica de oxígeno es el oxígeno que las bacterias necesitan para degradar la materia orgánica, entonces mientras más demanda exista es porque existe mayor cantidad de material orgánica.
- 11) Los nitratos derivan de una fuerte contaminación orgánica. Se consideran tóxicos en grandes cantidades para el ser humano.

- 12) Las bacterias coliformes fecales son las principales indicadoras de contaminación fecal humana o por ganado en las aguas.
- 13) Los metales pesados evaluados en el presente estudio (plomo, arsénico, cadmio y mercurio) son tóxicos para la salud. Sus efectos están a nivel celular, como mutaciones que provocan cáncer u otras enfermedades. Éstos efectos no se observan de inmediato porque los metales pesados se acumulan en el humano.

ANEXO 3

Indices biológicos de calidad de aguas

Indice Biótico de Familias (IBF) es un índice cuantitativo. Se calcula en base a un valor indicador asignado a cada familia que se multiplica por el número de individuos de ese taxón presentes en el sitio, luego se suman los puntajes de todas las familias y se divide entre el número total de individuos colectados en el sitio.

Se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$IBF = (\sum niTi) / N$$

ni = número de individuos de cada taxón en el sitio evaluado.

Ti = valor de ponderación asignado a cada taxón (el valor 0 es asignado a taxones menos tolerantes).

N = número total de individuos en el sitio evaluado.

Valores asignados a las familias de Macroinvertebrados según el IBF

ORDEN	FAMILIA	Valores IBF
Plecoptera	Gryopterygidae	
	Leptohyphidae	
	Baetidae	4
	Hydroptilidae	4
	Hydrobiosidae (Rhyacophilidae)	
	Limnephilidae	4
Coleoptera	Elmidae	4
	Hydrophilidae	
	Curculionidae	
	Dytiscidae	
Diptera	Chironomidae	6
	Blepharoceridae	0
	Athericidae	2
	Ceratopogonidae	6
	Tipulidae	3
	Empididae	6
	Muscidae	6
	Tabanidae	6
	Psychodidae	10
	Dolichopodidae	4
	Stratiomyidae	
Lepidoptera	Pyralidae	5
Hemiptera	Varias familias	
	Corixidae	
Acariformes	Hidracarina	4
Crustacea	Ostracoda	
	Copepoda	
	Hyalellidae	
Hirudinea	todos	
Tricladida	Planariidae	
Oligochaeta		8

Índice Biótico Global Normalizado (IBGN), se calcula en base al taxón más sensible encontrado en el sitio y al número de taxones del sitio.

VALORES DEL IBGN

Clases de variedad	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
	>50	49 a 45	44 a 41	40 a 37	36 a 33	32 a 29	28 a 25	24 a 21	20 a 17	16 a 13	12 a 10	9 a 7	6 a 3	3 a 1
Chloroperlidae	20	20	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9
Perlidae														
Perlodidae														
Taeniopterygidae														
Capniidae	20	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8
Brachycentridae														
Odontocéridae														
Philopotamidae														
Leuctridae	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7
Glossosomatidae														
Beraeidae														
Goeridae														
Leptophlebidae	19	18	17	16	15	14	13	12	10	9	8	7	6	5
Nemouridae														
Lepidostomatidae														
Sericostomatidae														
Ephemeridae	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5
Hydroptilidae														
Heptageniidae														
Polymitarcidae														
Potamanthidae	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4
Leptoceridae														
Polycentropodidae														
Psychomyiidae														
Rhyacophilidae	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3
Limnephilidae (1)														
Ephemerellidae (1)														
Hydropsychidae														
Aphelocheiridae	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2
Baetidae (1)														
Caenidae (1)														
Elmidae (1)														
Gammaridae (1)	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
Moluscos														
Chironomidae (1)														
Asellidae (1)														
Oligochaeta (1)														
Fuente Tabla:	Juan Pablo Arce													

Clases de calidad del IBF

IBF	Calidad de agua
0.00-3.75	Excelente
3.76-4.25	Muy buena
4.26-5.00	Buena
5.01-5.75	Regular
5.76-6.50	Regular pobre
6.51-7.25	Pobre
7.26-10.00	Muy pobre

Clases de calidad del IBGN

IBGN	Calidad
Mayor o igual a 17	Excelente
16 a 13	Buena
12 a 9	Regular
8 a 5	Mala
Menor o igual a 4	Muy mala

ANEXO 4

Valores fisicoquímicos y microbiológicos de sitios utilizados para riego

Parámetros	Asequia de Choquecota y Amachuma Grande		Asequia Amachuma Grande		Asequias de Chullu y Oksani						Asequia de Retamani			Asequia de Catupaya			Grado de restricción según FAO			Valor máximo aceptable para agua de riego según FAO
	Río Choquecota	Seca	Transición	Seca	Transición	Seca	Transición	Seca	Seca	Final acequia de Chullu Oksani	Transición	Seca	Seca	Transición	Seca	Final de la acequia de Catupaya	Ninguno	Bajo a moderado	Severo	
Lugar de la toma de muestra	Río Choquecota		Asequia		Río Choquecota		Río Tacapaya		Unión Ríos Tacapaya y Choquecota	Final acequia de Chullu Oksani	Río Choquecota		Final de la acequia de Retamani	Ríos Choquecota y Tacapaya		Final de la acequia de Catupaya				
Época de muestreo	Transición	Seca	Transición	Seca	Transición	Seca	Transición	Seca	Seca	Seca	Transición	Seca	Seca	Transición	Seca					
Temperatura °C	11	11,2	14,2	12,8	11	6,1	13	8,6	—	16,7	5	8,3	13	7,8	12,4	14	Rango Normal: 6,5-8,4			6,5-8,4
pH	7,8	8,08	8	8,74	8	8,49	8,5	8,68	—	9,14	7,6	8,55	9,18	8,4	8,78	9,47	No se cuenta con valores de referencia			No se cuenta con valores de referencia
Turbidez UTN	—	2	—	21	5,2	5,4	130	17	16	—	6,5	52	—	492	67	—	No se cuenta con valores de referencia			No se cuenta con valores de referencia
Sólidos suspendidos mg/l	5,7	—	—	—	<5	—	157	—	—	—	5,5	—	—	1480	—	—	No se cuenta con valores de referencia			No se cuenta con valores de referencia
Dureza Total mg CaCO3/l	70	—	—	—	82	—	440	634	630	—	130	—	—	160	—	—	500			No se cuenta con valores de referencia
DBO-5 mg/l	1,3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	4,2	—	—	No se tienen valores de referencia			No se cuenta con valores de referencia
Oxígeno disuelto mg/l	8,4	6,13	8,28	5,86	8,52	7,4	8	6,9	—	6,02	10,07	7,3	7,51	9,3	6,55	7,21	No se tienen valores de referencia			No se cuenta con valores de referencia
Conductividad uS/cm	151	200	178	290	171	300	747	1060	—	730	273	610	390	513	640	430	<700	700-3000	>3000	3000
Sólidos disueltos g/l	0,089	0,1	0,09	0,14	0,08	0,15	0,37	0,53	—	0,36	0,15	0,3	0,19	0,27	0,32	0,22	<0,45	0,45-2	>2	2
Sulfatos mg/l	40	—	—	—	40	—	287	—	—	—	68	—	—	185	—	—	No se tienen valores de referencia			
Fósforo soluble mg/l	<0,070	—	—	<0,070	—	—	<0,070	—	—	<0,070	<0,070	—	0,55	0,44	—	<0,070	No se tienen valores de referencia			
Sodio mg/l	6,1	—	—	—	4,6	—	11	—	—	—	10	—	—	11	—	—	No se tienen valores de referencia			0-20
Calcio mg/l	18	—	—	—	18	—	109	—	—	—	25	—	—	58	—	—	No se tienen valores de referencia			0-40
Magnesio mg/l	6,3	—	—	—	8,9	—	41	—	—	—	17	—	—	28	—	—	No se tienen valores de referencia			0-5
Coliformes fecales NMP/100 ml	2,3*10 ²	2,3*10 ²	4,6*10 ³	1,7*10 ²	90	2,3*10 ²	1,2*10 ³	—	3,3*10 ²	—	4,9*10 ²	2,3*10 ²	—	1,3*10 ³	9,3*10 ²	—				1000
Arsénico mg/l	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	0,0033	<0,0010	0,0028	<0,0010	<0,0010	—	<0,0010	<0,0010	—	<0,0010	<0,0010	—	No se tienen valores de referencia			0,1
Cadmio mg/l	<0,001	<0,020	<0,001	<0,001	<0,001	<0,020	<0,001	<0,020	<0,020	—	<0,001	<0,001	—	<0,001	<0,001	—	No se tienen valores de referencia			0,01
Mercurio mg/l	<0,00020	<0,00020	<0,00020	<0,00020	<0,00020	<0,00020	<0,00020	<0,00020	<0,00020	—	<0,00020	<0,00020	—	<0,00020	<0,00020	—	No se tienen valores de referencia			
Ploomo mg/l	<0,0056	—	<0,0056	—	<0,0056	—	—	—	—	—	<0,0056	—	—	<0,0056	—	—	No se tienen valores de referencia			5

ANEXO 4

Valores fisicoquímicos y microbiológicos de sitios utilizados para consumo

Parámetros	Primer tanque para consumo de agua de Choquecota	Tercer tanque para consumo de agua de Choquecota	Tanque para consumo de agua de Amachuma Grande		Acequias de Chullu y Oksani						
	Tanque	Tanque	Tanque		Río Choquecota		Río Tacapaya		Unión Ríos Tacapaya y Choquecota	Final acequia de Chullu Oksani	Poza que se forma de la vertiente
Época de muestreo	Transición	Seca	Transición	Seca	Transición	Seca	Transición	Seca	Seca	Seca	Seca
Temperatura °C	10,8	9,9	12	11,6	11	6,1	13	8,6	—	16,7	12
pH	7,32	7,84	7,1	7,51	8	8,49	8,5	8,68	—	9,14	9,05
Turbidez UTN	1,2	1,5	No se midió	0,6	5,2	5,4	130	17	16	—	—
Sólidos suspendidos mg/l	8,4	—	5,3	—	<5	—	157	—	—	—	—
Dureza Total mg CaCO ₃ /l	60	—	570	420	82	—	440	634	630	—	—
DBO-5 mg/l	No se midió	—	No se midió	—	—	—	—	—	—	—	—
Oxígeno disuelto mg/l	7,45	6,05	6,86	5,6	8,52	7,4	8	6,9	—	6,02	9,38
Conductividad uS/cm	164	200	880	780	171	300	747	1060	—	730	770
Sólidos disueltos g/l	0,09	0,1	0,698	0,4	0,08	0,15	0,37	0,53	—	0,36	0,39
Sulfatos mg/l	81	—	268	—	40	—	287	—	—	—	—
Calcio mg/l	—	17	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Fósforo soluble (mg/l)	—	—	No se midió	—	—	—	<0,070	—	—	<0,007	—
Coliformes fecales NMP/100 ml	<2	<2	40	4,6*10 ²	90	2,3*10 ²	1,2*10 ³	—	3,3*10 ²	—	—
Nitratos mg/l	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2,6
Arsénico mg/l	<0,0010	—	<0,0010	—	0,0033	<0,0010	0,0028	<0,0010	<0,0010	—	—
Cadmio mg/l	<0,002	—	<0,002	—	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	—	—
Mercurio mg/l	—	—	No se midió	—	—	<0,00020	<0,00020	<0,00020	<0,00020	—	—
Plomo mg/l	<0,0056	—	<0,0056	—	<0,0056	—	<0,0056	—	—	—	—

ANEXO 4

Valores fisicoquímicos y microbiológicos de sitios utilizados para consumo (continuación)

Parámetros	Asequia de Retamani					Asequia de Catupaya			Vertiente y tanque de Palca		
	Río Choquecota		Final de la acequia de Retamani	Río Choquecota (lugar entubado)		Ríos Choquecota y Tacapaya		Final de la acequia de Catupaya	Vertiente	Transición	Seca
Lugar de la toma de muestra											
Época de muestreo	Transición	Seca	Seca	Transición	Seca	Transición	Seca	Seca	8,8	9,3	11,3
Temperatura °C	5	8,3	13	12	7,5	7,8	12,4	14	8,6	8,3	8,63
pH	7,6	8,55	9,18	7,6	8,57	8,4	8,78	9,47	—	5,1	—
Turbidez UTN	6,5	52	—	42	56	492	67	—	—	7,5	—
Sólidos suspendidos mg/l	5,5	—	—	96	—	1480	—	—	—	205	—
Dureza Total mg CaCO ₃ /l	130	—	—	110	—	160	—	—	—	No se midió	—
DBO-5 mg/l	—	—	—	2,5	—	4,2	—	—	—	—	—
Oxígeno disuelto mg/l	10,07	7,3	7,51	9,12	7,16	9,3	6,55	7,21	9,09	8,96	6,16
Conductividad uS/cm	273	610	390	228	420	513	640	430	380	400	420
Sólidos disueltos g/l	0,15	0,3	0,19	0,12	0,21	0,27	0,32	0,22	0,19	0,2	0,21
Sulfatos mg/l	68	—	—	60	—	185	—	—	No se midió	40	—
Fósforo soluble mg/l	<0,070	—	0,55	<0,070	—	0,44	—	<0,070	—	—	—
Calcio mg/l	25	—	—	22	—	58	—	—	—	—	—
Coliformes fecales NMP/100 ml	4,9*10 ²	2,3*10 ²	—	4,6*10 ²	1,7*10 ³	1,3*10 ³	9,3*10 ²	—	1,7*10 ²	—	4,6*10 ²
Arsénico mg/l	<0,0010	<0,0010	—	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	—	—	<0,0010	—
Cadmio mg/l	<0,02	<0,02	—	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	—	—	<0,001	—
Mercurio mg/l	<0,00020	<0,00020	—	—	<0,00020	<0,00020	<0,00020	—	—	—	—
Plomo mg/l	<0,0056	—	—	<0,0056	<0,0056	<0,0056	—	—	—	<0,0056	—

ANEXO 4

Valores fisicoquímicos y microbiológicos de sitios considerados fuente potencial de contaminación

Parámetros	Debajo de mina San Francisco		Debajo de Palca		Mina en el pueblo de Palca
	Río Soa	Seca	Río Choquecota	Río Chumaqueri	Río Choquecota
Lugar de la toma de muestra	Río Soa		Río Choquecota	Río Chumaqueri	Río Choquecota
Época de muestreo	Transición	Seca	Seca	Seca	Seca
Temperatura °C	8,5	6,3	16	—	15
pH	7,3	7,8	8,82	—	8,36
Turbidez UTN	—	0,31	220	400	—
Sólidos suspendidos mg/l	<5	—	—	—	—
Dureza Total mg CaCO ₃ /l	43	—	490	422	—
Oxígeno disuelto mg/l	8,67	6,35	5,65	—	5,91
Conductividad uS/cm	96	170	970	—	470
Sólidos disueltos g/l	0,16	0,09	0,48	—	0,23
Sulfatos mg/l	27	—	309	—	—
Sodio mg/l	3,3	—	39	—	—
Sodio meq/l	0,14	—	1,70	—	—
Calcio mg/l	15	—	84	—	—
Calcio meq/l	0,75	—	4,2	—	—
Magnesio mg/l	1,3	—	69	—	—
Magnesio meq/l	0,11	—	5,75	—	—
Coliformes fecales NMP/100 ml	<2	80	3,4*10 ⁴	—	—
Arsénico mg/l	0,0079	<0,0010	<0,0010	—	—
Cadmio mg/l	<0,001	<0,020	<0,001	—	—
Mercurio mg/l	—	—	<0,00020	—	<0,00020
Plomo mg/l	<0,0056	—	—	—	—
Estaño mg/l	—	<0,01	—	—	—

ANEXO 4

Valores fisicoquímicos y microbiológicos de sitios alternativos para uso

Parámetros	Vertiente alternativa para Amachuma Grande		Vertiente alternativa para Chullu	Vertiente alternativa para Oxani
	Vertiente	Vertiente	Vertiente en un cañadón	Poza que se forma de la vertiente
Lugar de la toma de muestra	Vertiente	Vertiente	Vertiente en un cañadón	Poza que se forma de la vertiente
Época de muestreo	Transición	Seca	Seca	Seca
pH	7,36	7,12	8,48	7,28
Turbidez UTN	5,1	—	25	—
Dureza Total mg CaCO ₃ /l	197	—	86	611
Oxígeno disuelto mg/l	6,7	4,14	7,07	3,02
Conductividad uS/cm	387	440	400	950
Sólidos disueltos g/l	—	0,22	0,2	0,47
Coliformes fecales NMP/100 ml	—	80	—	—
Nitratos mg/l	—	—	—	2,8

ANEXO 5

Relación rendimiento de cultivos y salinidad expresada en conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$)

	Rendimiento del cultivo				
	100%	90%	75%	50%	0%
Maíz (<i>Zea mays</i>)	1100	1700	2500	3900	6700
Haba (<i>Vicia faba</i>)	1100	1800	2000	4500	8000
Tomate (<i>Lycopersicon esculentum</i>)	1700	2300	3400	5000	8400
Papa (<i>Solanum tuberosum</i>)	1100	1700	2500	3900	6700
Lechuga (<i>Lactuca sativa</i>)	900	1400	2100	3400	6000
Cebolla (<i>Allium cepa</i>)	800	1200	1800	2900	5000
Alfaalfa (<i>Medicago sativa</i>)	1300	2200	3600	5900	10000
Rábano (<i>Raphanus sativus</i>)	800	1300	2100	3400	5900
Durazno (<i>Prunus persica</i>)	1100	1500	1900	2700	4300

Fuente: Ayers & Westcot, 1985

Se puede observar que la conductividad encontrada en el agua en casi todos los casos no sobrepasa las cifras sugeridas por la FAO.

ANEXO 6

Clasificación de los cuerpos de agua según su aptitud de uso

ORDEN	USOS	CLASE "A"	CLASE "B"	CLASE "C"	CLASE "D"
1	Para abastecimiento doméstico de agua potable después de: a) Sólo una desinfección y ningún tratamiento b) Tratamiento físico y desinfección c) Tratamiento físico y químico completo: coagulación, floculación, filtración y desinfección d) Almacenamiento prolongado o presedimentación, seguidos de tratamiento como en c)	SI	NO	NO	NO
		No necesario	SI	NO	NO
		No necesario	No necesario	SI	NO
		No necesario	No necesario	No necesario	SI
2	Para recreación de contacto primario: natación, esquí, inmersión	SI	SI	SI	NO
3	Para protección de los recursos hidrobiológicos	SI	SI	SI	NO
4	Para riego de hortalizas consumidas crudas y frutas de cáscara delgada, que sean ingeridas crudas sin remisión de ella	SI	SI	NO	NO
5	Para abastecimiento industrial	SI	SI	SI	SI
6	Para la cría natural y/o intensiva (acuicultura) de especies destinadas a la alimentación humana	SI	SI	SI	NO
7	Para abrevadero de animales	NO(*)	SI	SI	NO
8	Para la navegación (**)	NO (**)	NO (**)	SI	SI

(*) No en represas usadas para abastecimiento de agua potable

(**) No en navegación a motor

(***) No aplicable a acuíferos

Fuente: Reglamento de Medio Ambiente, Ley 1333.