

# NEGOWAT



Facilitando Negociaciones en Conflictos sobre Agua y Tierra en Cuencas Peri-Urbanas



## REPORTE DE INVESTIGACION N° 3

### Riego con Aguas Residuales en la Zona Peri-Urbana de Tiquipaya (Cochabamba, Bolivia)

Raúl G. Ampuero Alcoba  
Daan van Rooijen



Cinquième  
programme  
cadre



Affirmer le rôle  
international de la  
recherche communautaire



FAPESP



**Universidad Mayor de San Simón**  
**Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias “Martín Cárdenas”**  
**Centro Andino para la Gestión y Uso del Agua**  
**Proyecto NEGOWAT: Facilitando Negociaciones en Conflictos sobre Agua y Tierra**  
**en Cuencas Peri-urbanas**

## **REPORTE DE INVESTIGACION N° 3**

# **Riego con Aguas Residuales en la Zona Peri-urbana de Tiquipaya (Cochabamba, Bolivia)**

**Raúl G. Ampuero Alcoba**  
**Daan van Rooijen**

**FINANCIAMIENTO: INCO-DEV, CIRAD, FAPESP, DFID**

**Cochabamba, Bolivia, Mayo, 2006**

El proyecto NEGOWAT (Negociando Conflictos sobre Agua y Tierra en Zonas Peri-Urbanas) es un proyecto de investigación desarrollado en forma conjunta en Cochabamba (Bolivia) y Sao Paulo (Brasil). Está enfocado en desarrollar herramientas para entender mejor la competencia y los conflictos relacionados con el agua y la tierra, y contribuir de esta manera en facilitar negociaciones entre diferentes grupos de interés en estas zonas.

En Bolivia, el proyecto es ejecutado por el Centro Andino para la Gestión y Uso del Agua (Centro AGUA) y el Centro de Estudios de la Realidad Económica y Social (CERES). El Centro AGUA es un centro de enseñanza e investigación de la Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias (FCAyP), de la Universidad mayor de San Simón (UMSS).

Los Autores:

Raúl G. Ampuero Alcoba, es investigador del Proyecto NEGOWAT, en el Centro Andino para la Gestión y Uso del Agua (Centro AGUA).

Daan van Rooijen, es estudiante de maestría de la Universidad de Wageningen, Holanda. Realizó su tesis de maestría en el tema: Uso de aguas residuales en la agricultura en Tiquipaya.

Ampuero, R., van Rooijen, D. 2006. Riego con aguas residuales en la zona peri-urbana de Tiquipaya (Cochabamba, Bolivia). Reporte de Investigación N° 3. Cochabamba, Bolivia: Proyecto NEGOWAT.

/ agua residual / riego con aguas residuales / agricultura regada / calidad de agua /

Cualquier observación o comentario, por favor enviar a: [centroagua@centroagua.org](mailto:centroagua@centroagua.org) o [raulampueroalcoba@gmail.com](mailto:raulampueroalcoba@gmail.com)

## CONTENIDO

1. INTRODUCCION .....	1
2. CONTEXTO GENERAL.....	2
2.1 Ubicación .....	2
2.2 Fuentes de agua para riego .....	3
2.3 La evolución de la escasez del agua.....	3
2.4 La situación actual del uso de aguas residuales en Tiquipaya .....	4
2.4 Distribución de la tierra y tipo de cultivos .....	5
3. MARCO CONCEPTUAL.....	6
3.1. Enfrentando la escasez de agua.....	6
3.2. Uso de aguas residuales en la agricultura.....	6
4. METODOLOGIA .....	7
4.1 Componente técnico.....	7
4.2 Componente social.....	9
5. RESULTADOS Y DISCUSION.....	9
5.1 Variación en la disponibilidad de aguas residuales.....	10
5.2 Variación de la calidad de agua.....	11
5.3 Carga de nutrientes hacia las parcelas.....	12
5.4 Riesgos para la salud por la concentración de bacterias .....	14
5.5 Nivel de contaminación de los pozos para uso doméstico .....	14
6. ANALISIS GENERAL.....	15
7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	16
Bibliografía.....	18

## RESUMEN

Anteriormente, los agricultores de Tiquipaya se caracterizaban por disponer de suficiente agua para riego proveniente de fuentes superficiales y subterráneas. Al paso de los años la mayoría de las fuentes subterráneas han disminuido su disponibilidad, que junto con el cambio del régimen de precipitación, han mermado la disponibilidad del agua para riego. Actualmente, los agricultores se ven obligados a utilizar aguas residuales en la producción agrícola, como fuente de agua complementaria o suplementaria, en un contexto donde la subsistencia de los agricultores interactúa con la urbanización, la escasez de agua y la pobreza. El objetivo del estudio es analizar las características del uso de las aguas residuales para riego en Tiquipaya y sus posibles consecuencias sobre el medio ambiente y la salud, a partir del monitoreo de las variaciones temporales y espaciales de la cantidad y calidad de estas aguas, el conocimiento de las prácticas agrícolas actuales y la percepción de los agricultores en relación al riego con aguas residuales.

Se identificaron tres zonas de uso intensivo de aguas residuales sin tratamiento: Bruno Moqho cultivando hortalizas; Kanarancho regando pasto; y Chiquicollo en la producción de forrajes. Se monitorearon las fuentes de aguas residuales en las épocas seca y lluviosa, los resultados en ambas épocas muestran concentraciones elevadas de contaminación microbiológica, la demanda biológica de oxígeno indica que no son apropiadas para utilizar en riego, tampoco para descargar en cuerpos receptores de agua (Ley 1333). Existe la necesidad de implementar en primera instancia plantas de tratamiento de aguas residuales y luego medidas como la adecuación de las prácticas de riego, uso de ropa de protección y técnicas apropiadas para el lavado y desinfección de los productos, que deberían ser apoyadas por el municipio e instituciones.

## 1. INTRODUCCION

En las regiones áridas del mundo el uso de aguas residuales provenientes de los usos domésticos o industriales parece ser una solución obvia a las necesidades de agua para riego en la agricultura urbana y peri-urbana. Las aguas residuales en estas regiones deben ser consideradas como un recurso viable para el riego, cuando estas son utilizadas de forma segura. Actualmente, el riego con agua residual tratada y aún sin ningún tratamiento, ya está siendo practicado en áreas urbanas y peri-urbanas de muchos países en desarrollo, desconociéndose su escala de aplicación (OPS, 2002; CEPIS, 2002; Duran et al., 2003).

Hace algunas décadas, los agricultores en Tiquipaya disponían de suficiente cantidad de agua proveniente de varias fuentes superficiales y subterráneas. Al paso de los años la mayoría de las vertientes se han secado, debido a la sobre explotación de aguas subterráneas, el rápido incremento de la demanda de agua para uso doméstico y los patrones no uniformes de lluvia (PEIRAV, 1993). En consecuencia, los agricultores en Tiquipaya se ven obligados a recurrir a fuentes alternativas de agua para riego, como son las aguas residuales provenientes de la actividad antropogénica.

Actualmente se ha creado un espacio para la evolución del uso de aguas residuales, ya que mientras las fuentes de agua tradicionales disminuyen en volumen y confiabilidad, este recurso se presenta como una fuente de agua segura con un volumen en constante incremento. Estas dos características, hacen de las aguas residuales una fuente atractiva de agua para riego en el presente y en el futuro inmediato. En Tiquipaya, solo el centro urbano (Casco Viejo) tiene un sistema de alcantarillado, con una cobertura aproximada de 4000 habitantes. El agua residual doméstica generada en el resto del municipio, compuesto de 33000 habitantes (INE, 2001), es desechada de diversas formas, utilizando para ello generalmente los canales de riego.

El objetivo del estudio es analizar las características del uso de las aguas residuales para riego en Tiquipaya y sus posibles consecuencias sobre el medio ambiente y la salud, a partir del monitoreo de las variaciones temporales y espaciales de la cantidad y calidad de estas aguas, el conocimiento de las prácticas agrícolas actuales y la percepción de los agricultores en relación al riego con aguas residuales. Este objetivo fue alcanzado respondiendo la pregunta: ¿Cómo las variaciones espaciales y temporales en cuanto a la disponibilidad y calidad del agua se ajustarían más a la gestión y uso actual del agua residual en el riego en Tiquipaya?.

Actualmente, el uso de las aguas residuales para riego es una práctica común en las áreas peri-urbanas de Tiquipaya, involucrando a un grupo considerable de agricultores. El presente artículo está basado en la tesis de maestría sobre “*El uso de aguas residuales en la agricultura del área peri-urbana de Tiquipaya*”, realizada por Van Rooijen (2004) y en la experiencia adquirida con el apoyo al desarrollo de dicha investigación.

## 2. CONTEXTO GENERAL

### 2.1 Ubicación

El municipio de Tiquipaya es la tercera sección de la provincia de Quillacollo, departamento de Cochabamba (Figura 1). Está dividido en 6 distritos municipales, de los cuales 3 (distritos 1,2 y 3) corresponden a la parte montañosa y pie de monte, y los otros 3 (distritos 4, 5 y 6) forman parte del valle central de Cochabamba. La zona de estudio comprende los distritos 4, 5 y 6, siendo en estos distritos donde se encuentra asentada la mayoría de la población del municipio de Tiquipaya.

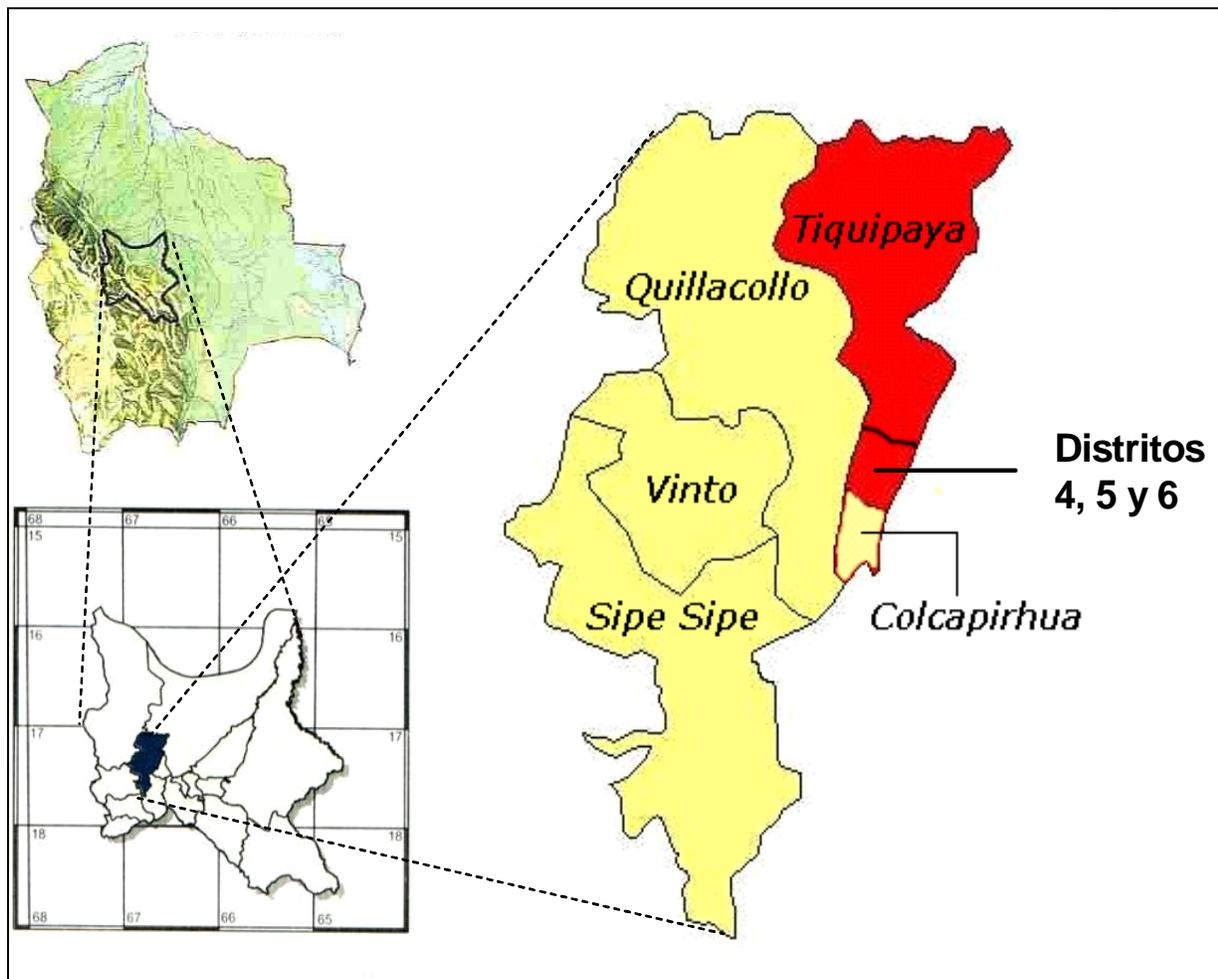


Figura1. Ubicación del municipio de Tiquipaya

## **2.2 Fuentes de agua para riego**

En Tiquipaya existe una diversidad de fuentes de agua superficiales y subterráneas, que son gestionados por los mismos agricultores. Entre las fuentes de agua que son consideradas aguas limpias y que proveen de agua para riego encontramos:

- Aguas superficiales de la cordillera, constituido principalmente por las aguas del río Khora Tiquipaya, corresponde al sistema de “La Machu M'ita”. Por otra parte los ríos Tolavi, Khora, Chuta Khawa y Taquiña, que tienen un comportamiento hídrico estacional, son también utilizados como una fuente de agua para riego en forma ocasional.
- Aguas de las lagunas Lagum Mayu, Sayt'u Kocha y Chankas, que son lagunas naturales mejoradas a través de obras hidráulicas (presas) para aumentar su volumen de almacenamiento (Saenz, 1997). Son de propiedad de los agricultores, quienes explotan el agua con fines de riego en un sistema de distribución rotativo.
- El canal Norte del Sistema Nacional de Riego N° 1 transporta agua desde la represa “La Angostura”.
- Pozos privados y comunales (siendo este último lo más común), aunque su uso gana más importancia para el suministro de agua para consumo doméstico.
- Las vertientes sirven también para riego aunque han disminuido significativamente su caudal y en algunos casos se han secado, debido a la sobre explotación de los acuíferos subterráneos.

Del contexto anterior, se puede deducir que la gestión del agua para riego en Tiquipaya es muy compleja. Además, los ríos en Tiquipaya pueden ser considerados como una amenaza muy seria para los habitantes asentados en las proximidades de los ríos luego de eventos pluviales intensos, debido al transporte de grandes caudales de agua y sedimento erosionado de las montañas.

## **2.3 La evolución de la escasez del agua**

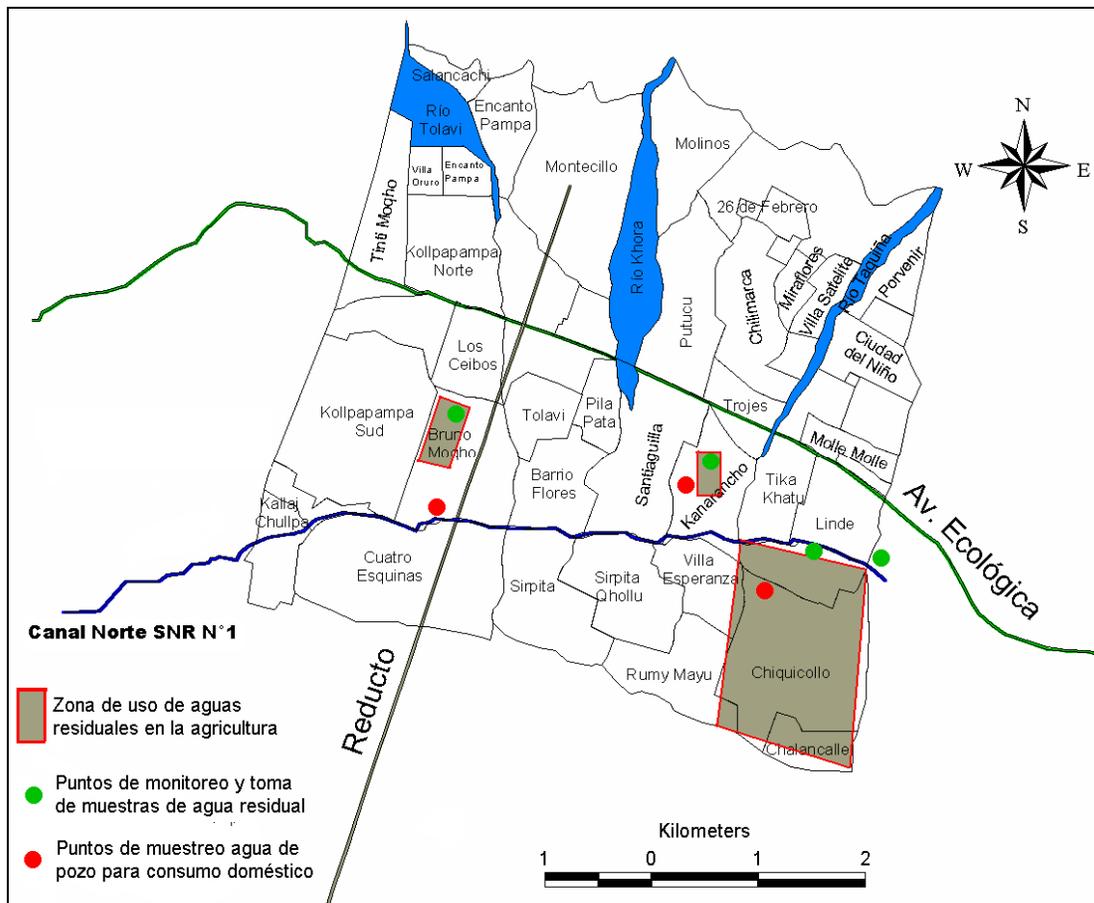
Los períodos extremos de sequía han dañado la producción agrícola y han ocasionado la migración y hambre en varias zonas agrícolas. Sin embargo, históricamente se han presentado años secos y años húmedos, que en algunos períodos han conducido a problemas serios, como es el caso de la crisis ecológica y las consecuencias de los años secos referidos a 1987 y 1992, cuando el abastecimiento de agua para riego y doméstico estuvo en peligro. Esta situación dio un impulso para la inversión en la mejora de los sistemas de riego y reservorios naturales en las montañas cercanas (Cordillera de Tunari), con le objetivo de mejorar el abastecimiento de agua proveniente de estas fuentes (PEIRAV, 1993).

A fines de los 80s y principios de los 90s, en el Valle Central y Bajo de Cochabamba se perforaron varios pozos profundos para proveer de agua potable a la creciente población de Tiquipaya y la ciudad de Cochabamba, debido a que los pozos surgentes se agotaron como resultado de la sobre explotación del agua subterránea. A pesar de las intenciones de algunas autoridades municipales y pobladores (regantes) de detener a estas perforaciones, los pozos

son perforados algunas veces sobrepasando los cien metros de profundidad. Esto ha conducido a una caída del nivel freático y seguramente conducirá a problemas severos de sequía afectando la vegetación natural.

## 2.4 La situación actual del uso de aguas residuales en Tiquipaya

En Tiquipaya existen varias zonas de descarga puntal de aguas residuales, presentando una gran variabilidad en el caudal descargado y en la intermitencia de la descarga. Se identificaron tres zonas importantes donde se utilizan aguas residuales en la agricultura: Chiquicollo, Bruno Moqho y Kanarancho (Figura 2). Cada zona tiene su propia fuente de agua residual, exceptuando Chiquicollo que tiene dos fuentes: el Canal Norte del Sistema Nacional de Riego N° 1 (SNR N° 1) y la descarga del sistema de alcantarillado de los barrios “El Carmen” y “Cruce Taquiña”.



**Figura 2. Ubicación de las zonas de uso de aguas residuales en Tiquipaya**

Algunos barrios ubicados en la zona Norte de la ciudad de Cochabamba y del mismo municipio de Tiquipaya, están descargando sus aguas residuales al canal Norte del SNR N° 1, que fue diseñado para proveer agua de riego a Tiquipaya desde la represa “La Angostura”. Asimismo, casas aledañas a dicho canal realizaron conexiones clandestinas de su sistema de alcantarillado hacia este canal.

El agua residual doméstica es mezclada con agua de riego cuando el agua de “La Angostura” fluye a través de este canal. Cuando esto no sucede, el canal sólo conduce agua residual sin ningún tratamiento y a veces ligeramente diluido con agua de lluvia, siendo al final utilizado como agua de riego en la zona de Chiquicollo para el cultivo de forraje para ganado lechero (principalmente maíz, avena y alfalfa).

En Bruno Moqho, el agua residual proveniente del sistema de alcantarillado del pueblo de Tiquipaya es utilizado para riego, después de que ésta es tratada en un tanque Imhoff que realiza el tratamiento primario. Sin embargo, la calidad del efluente todavía puede ser clasificada como no tratada, debido principalmente a la baja eficiencia de tratamiento de este tanque (menos de 35 %), el cual por falta de mantenimiento esta llena de lodos (Agencia Técnica, 2003). El agua residual es destinada para el cultivo de hortalizas (principalmente espinaca, rábano, perejil, entre otros) y en pequeña proporción para forraje (alfalfa).

En la comunidad de Kanarancho el agua residual de varias agroindustrias que elaboran chicha (bebida alcohólica en base a la fermentación del maíz) está siendo utilizada en pequeña escala para regar cultivos forrajeros (principalmente pasto).

La alcaldía de Tiquipaya admite el uso de aguas residuales en su territorio, aunque el Estado boliviano prohíbe el uso para riego de éste recurso sin tratamiento por Ley desde 1992 (Ley Del Medio Ambiente N° 1333). La alcaldía está conciente que el uso de estas aguas puede contaminar terrenos agrícolas y las aguas subterráneas, lo cual podría tener implicancias en la salud de la.

## 2.4 Distribución de la tierra y tipo de cultivos

Los agricultores entrevistados son propietarios de varios terrenos, haciendo una superficie total aproximada de 1 hectárea. Los cultivos implantados difieren por zona, tal como puede observarse en la Figura 3. En el caso de Bruno Moqho existe una gran variedad de cultivos, siendo los cultivos dominantes: espinaca, alfalfa, tomate y pastizales.

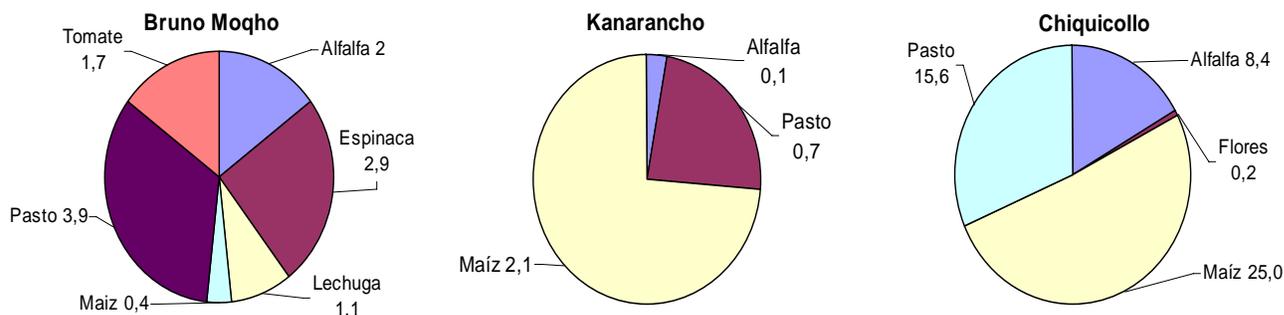


Figura 3. Distribución porcentual del uso de la tierra por tipo de cultivo

Es necesario aclarar que en Kanarancho sólo los pastizales son realmente regados con aguas residuales, por la mala calidad del agua, bajo nivel de pH (promedio 5) y el excesivo contenido de cal (promedio 114 mg/l). En Chiquicollo, el maíz, la alfalfa y los pastizales son los cultivos dominantes. Las diferencias de área total dentro de las tres zonas deben ser tomadas en consideración al momento de analizar la importancia de los porcentajes de cultivos en un contexto más amplio. De manera general, los cultivos de maíz, alfalfa y pastizales dominan en las tres zonas.

### **3. MARCO CONCEPTUAL**

#### **3.1. Enfrentando la escasez de agua**

La escasez de agua es un problema que aqueja a la población mundial, mientras la población se incrementa, la producción de basura, el consumo de agua y la contaminación del medio ambiente aumentan rápidamente. Una forma potencial para disminuir e impedir problemas futuros de escasez de agua es el uso múltiple del agua. Un punto importante en este sentido es que el uso múltiple de agua tiene como desafío la seguridad alimentaria y la protección y conservación del medio ambiente.

#### **3.2. Uso de aguas residuales en la agricultura**

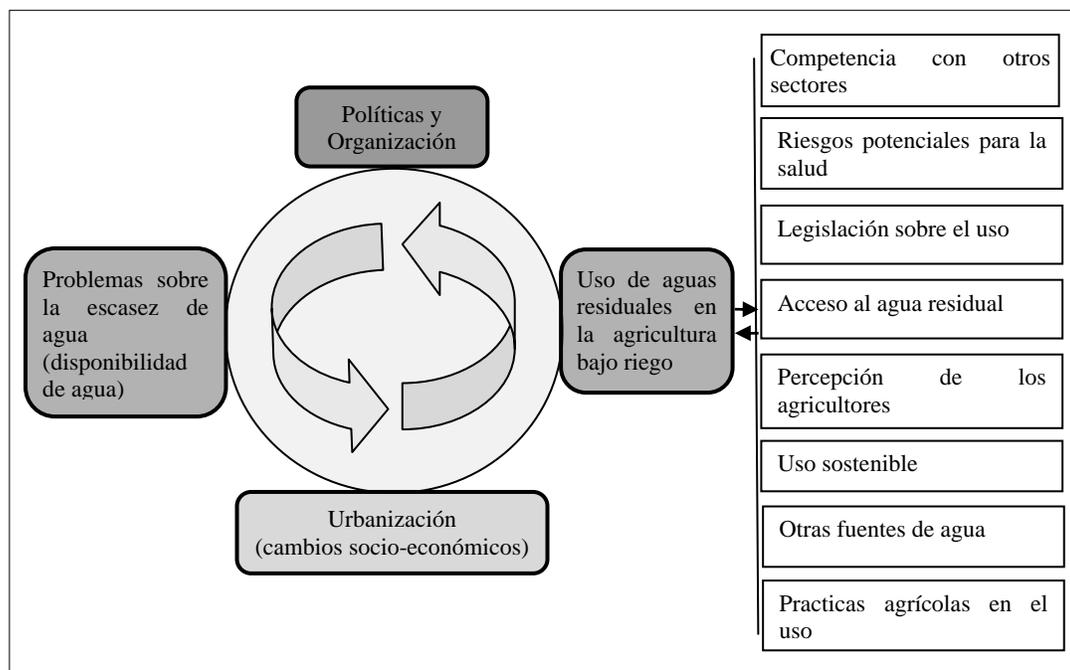
En general, el uso del agua residual en riego se realiza en forma desorganizada debido a las malas condiciones de infraestructura, y a la ausencia o la poca ejecución de reglamentos locales y nacionales, que crean dificultades para hacer frente a los rápidos cambios sociales y ambientales, debido principalmente al avance de la urbanización, escasez de agua y la contaminación del medio ambiente. Además, es evidente el incremento de la demanda de agua para otros sectores como ser el doméstico e industrial, quedando relegada en nivel de importancia la demanda de agua para riego, lo cual crea dificultades para el sector agrícola.

Comparado con agua no contaminada, el agua residual es a menudo una fuente de agua más segura para la agricultura en términos de disponibilidad, debido a que fluye continuamente todo el año y su disponibilidad se incrementa según el crecimiento de la población. Si se hace un uso apropiado del agua residual utilizando para regar determinados cultivos, se facilita la posibilidad de cambiar el problema de eliminación de agua residual en un potencial recurso para la agricultura (Huibers, 2003).

En los últimos años, ha aumentado la necesidad de resolver el problema de la eliminación del agua residual. Entre las diferentes soluciones, el uso de agua residual en la agricultura bajo riego es una de las mejores opciones desde un punto de vista ambiental y económico. Actualmente, el agua residual está siendo utilizada progresivamente, la cuestión no es si debería ser usada o no, sino cómo debería realizarse una mejor gestión y un uso más apropiado (Huibers, 2003). El uso de agua residual por consiguiente debería ser fomentado buscando oportunidades que mejoren el control de calidad del agua para reducir los riesgos de salud.

La Figura 3 presenta el enfoque socio-técnico dentro el cual se contempla el uso de las aguas residuales en la agricultura. Se basa en un enfoque más general y comprensible sobre el uso del agua residual tratada propuesto por Martijn y Huibers (2001); dentro el cuál se considera

las “prácticas agrícolas”. Esta parte, sin embargo, se discute brevemente ya que enfoca la atención solo en agua residual tratada, dejando lugar al análisis de oportunidades del uso sostenible del agua residual para riego.



**Figura 4. Representación gráfica del marco teórico sobre el uso del aguas residuales en la agricultura (Fuente: Van Rooijen, 2004)**

## 4. METODOLOGIA

La metodología aplicada en el estudio comprende dos componentes: uno técnico y otro social.

### 4.1 Componente técnico.

En la parte técnica se realizaron: monitoreos con una serie de mediciones básicas de calidad del agua y de caudales, muestreos de agua y levantamientos de cultivos.

Las mediciones básicas de calidad de agua, como ser: conductividad eléctrica (CE), pH, temperatura, salinidad y oxígeno disuelto; se realizaron con un equipo de campo electrónico que permite determinar la calidad del agua in situ. Primeramente se identificaron cuatro puntos de monitoreo en canales abiertos sin revestimiento (Figura 2):

- En Bruno Moqho, en el punto de descarga del sistema de alcantarillado de Tiquipaya al río Angela Mayu.
- En Kanarancho, aproximadamente a 100 m de la descarga de las fábricas de chicha.
- En Chiquicollo, en el punto de descarga del sistema de alcantarillado a canal abierto de los barrios “El Carmen” y “Cruce Taquiña”.

- En el canal Norte del SNR N° 1 en el canal principal de la toma N° 24, a 30 m de la toma.

El monitoreo con equipo de campo, tuvo lugar durante cuatro días en el período seco, los días 5, 7, 10 y 11 de noviembre del año 2003 en los cuatro puntos descritos, con una duración aproximada de 10 horas (entre las 8:30 y 18:30). Estos monitoreos fueron realizados para tener un conocimiento cabal de la variación diaria de los parámetros monitoreados y para establecer un cronograma de toma de muestras de agua.

Posteriormente, en los mismos puntos de monitoreo se realizó la toma de muestras de agua para el análisis de laboratorio. Para la toma de muestras se planificaron muestreos compuestos que fueron realizados el 4 y 12 de diciembre del 2003 (periodo seco), y el 22 y 27 de febrero del 2004 (período húmedo), tomando cuatro muestras de agua en un periodo de 7 horas (de 9:30 a 16:30), las cuales fueron mezcladas formando una sola muestra denominada muestra compuesta. El volumen de cada muestra (alícuota) fue determinado en función del caudal en el momento de tomar la muestra.

En forma paralela a la toma de muestras compuestas, se tomaron tres muestras por día para medir valores de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y dos muestras para analizar coliformes fecales, ya que estos parámetros no pueden evaluarse en muestras compuestas. Los métodos utilizados en laboratorio fueron incubación de 5 días y membrana filtrante, respectivamente. Los parámetros analizados se encuentran detallados en el Cuadro 1.

**Cuadro 1. Parámetros para evaluar la calidad del agua**

<b>Grupo</b>	<b>Parámetros</b>	<b>Efectos</b>
Cationes	Sodio, Calcio, Magnesio, Potasio (RAS) $RAS = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{++} + Mg^{++}}{2}}}$ Cationes en meq/l	Riesgo de salinización y problemas causados por un cambio en las características físicas de los suelos
Toxicidad	Cloruro	Tóxico para los cultivos sensibles
Nutrientes	Nitrógeno total, Amonio, Fósforo total, Fosfato, Sulfato	Ventajas por ser nutrientes para el desarrollo de los cultivos
Sólidos/Materia orgánica	Demanda biológica de oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno (DQO), sólidos totales y suspendidos	Nivel de tratamiento del agua residual, contenido de componentes orgánicos
Microbiológico	Coliformes totales y Coliformes fecales	Riesgos para la salud en relación con los coliformes
Varios	Bicarbonatos (HCO <sub>3</sub> -), Carbonatos CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	Efecto sobre el desarrollo de los cultivos sensibles

Las mediciones de caudal fueron realizados con dos fines: para cuantificar el agua residual utilizada en riego, y para calcular la carga de nutrientes del agua. Se utilizaron aforadores RBC con capacidades de 4, 12 y 24 l/s.

Asimismo, se tomaron muestra de agua de tres pozos de agua para consumo doméstico, con el fin de encontrar posibles influencias del uso de aguas residuales para riego sobre el agua de pozos que son utilizados como fuente de agua para consumo doméstico. Los criterios para la elección fueron que los pozos se encuentren aguas abajo y lo más cerca posible de las áreas de

uso de aguas residuales. Las muestras de agua de pozos fueron tomadas en boca de pozo en los sistemas de agua de Kanarancho, Chiquicollo y Cuatro Esquinas (Figura 2).

Una descripción detallada del total de muestras tomadas se encuentra en el Cuadro 2. Todas las muestras fueron analizadas en el laboratorio del Centro de Aguas y Saneamiento Ambiental, perteneciente a la Universidad Mayor de San Simón (CASA-UMSS). Las muestras fueron compuestas en el mismo laboratorio.

**Cuadro 2. Distribución del número de muestras analizadas en laboratorio**

Agua muestreada	Fuentes monitoreadas	Número de muestreos	Total
Agua residual	4	4	16
Agua para consumo doméstico	3	1	3
Número total de muestras			19

En las tres zonas de uso de agua residual, se realizaron recorridos de campo para obtener un mapa del uso de la tierra, identificando las parcelas agrícolas y los cultivos establecidos en cada una de ellas. Los datos fueron procesados con el software IDRISIW (SIG paquete para mapeo), calculando las áreas agrícolas y porcentajes de cultivos establecidos. Los datos de áreas agrícolas fueron necesarios para aproximar la carga anual de los compuestos contenidos en las aguas residuales, como ser los nutrientes.

#### **4.2 Componente social.**

El componente social consistió en realizar entrevistas a los agricultores y personas encargadas de la distribución del agua de riego en las tres zonas. Por cada zona al menos dos agricultores fueron entrevistados, el criterio para elegir a los entrevistados fue que el agricultor a entrevistar necesariamente tendría que ser usuario de agua residual. Las entrevistas consideran los siguientes aspectos: prácticas de riego, organización, uso de la infraestructura de riego, percepción del uso y la calidad de las de aguas residuales, riesgos y beneficios del aprovechamiento de este recurso, y diferencias y similitudes en la situación de los agricultores y las prácticas de riego.

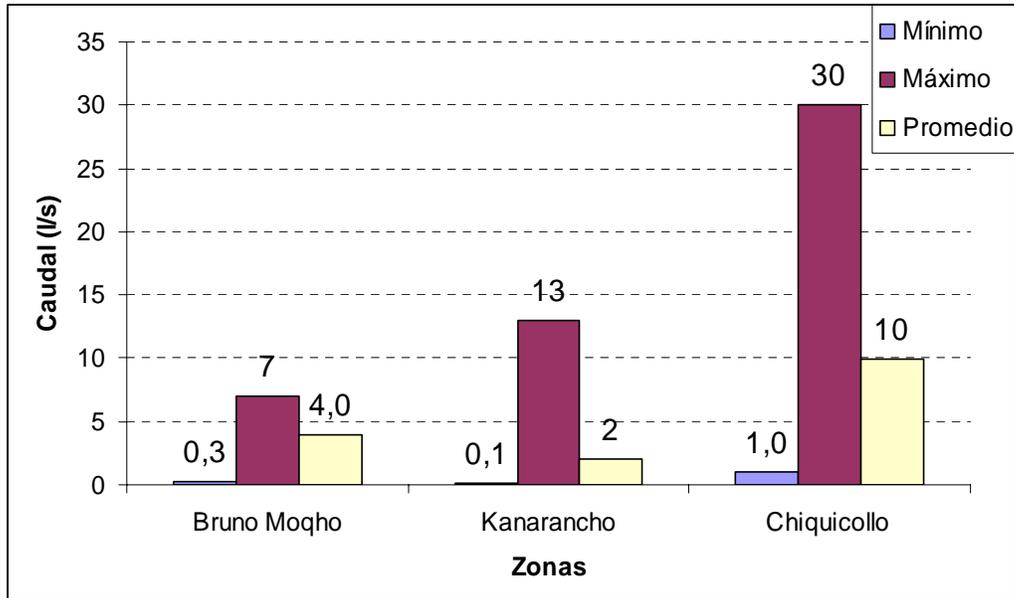
Asimismo, fueron entrevistados los responsables de la unidad de medio ambiente del municipio y del hospital central de Tiquipaya para determinar su conocimiento, experiencia y opiniones sobre el uso de aguas residuales en el municipio.

### **5. RESULTADOS Y DISCUSION**

Es importante mencionar que el uso de las aguas residuales en la agricultura es un tema sensible y pudo llevar a los agricultores algunas veces a no decir la verdad a cerca de sus prácticas de riego con este recurso. Entre otras causas para el uso de aguas residuales, se identificaron la pérdida de derechos de agua a alguna fuente, la falta de acceso físico al agua de riego de fuentes tradicionales (por la ubicación, caso de Bruno Moqho) y la falta de dinero para comprar turnos de riego.

## 5.1 Variación en la disponibilidad de aguas residuales

Las mediciones del caudal nos dieron una primera impresión de la variación diaria, se pudo observar diferencias entre las 3 zonas estudiadas. La Figura 5, presenta caudales máximos, mínimos y promedios que se midieron en Kanarancho, Bruno Moqho y Chiquicollo



**Figura 5. Caudales de agua residual medidos en las 3 zonas de estudio**

De manera general, la variación de los caudales en Bruno Moqho estuvo entre 3 y 7 l/s, habiendo registrado un descenso brusco del caudal a 0.3 l/s (10 de noviembre del 2003, como muestra la Figura 5). Este descenso se produjo solamente en el punto de monitoreo (al final de la tubería), ya que ese día (en la tarde) el turno de riego paso a un agricultor ubicado aguas arriba del punto de monitoreo (cerca del tanque Imhoff) por lo que el caudal medido fue solo la escorrentía.

Como los datos corresponden a la época seca y húmeda, se puede indicar que existe una variación en el caudal disponible entre ambos periodos. Sin embargo por las observaciones realizadas, esta variación puede ser considerada como una variación en la producción de aguas residuales de Tiquipaya, debido a que no se pudo observar variaciones en las características de las aguas residuales monitoreadas, es decir, el agua de la lluvia no está siendo descargada al sistema de alcantarillado y por estar entubado no recibe aportes de otros sectores. La contribución de la precipitación pluvial para el caudal aforado por consiguiente puede ser descartada. Las conexiones clandestinas domiciliarias para el desfogue de aguas pluviales son comunes en Tiquipaya, pero por las características de las precipitaciones en Tiquipaya, se puede indicar que el agua de lluvia en las alcantarillas fluye por periodos cortos de tiempo, luego del evento pluvial. Evento que no pudo observarse durante el monitoreo.

En la zona de Kanarancho el caudal mínimo medido fue de 0.1 l/s y el máximo de 13 l/s (día martes), sin embargo es necesario aclarar que los caudales medidos durante el monitoreo generalmente estuvieron entre 0.25 y 1.5 l/s. Mediciones adicionales fueron realizadas el 11 de

noviembre sólo para comprobar si los días martes existía una descarga adicional, ya que normalmente los martes de cada semana las fábricas lavan los barriles de chicha. Los resultados fueron que en la mañana las descargas se mantuvieron constantes alrededor de los 13 l/s, fenómeno observado en las siguientes semanas. De la evaluación del período seco y período húmedo, se identifica que no existe variación convincente en el comportamiento y las características del efluente descargado. Esto puede ser explicado por la corta distancia entre las fábricas de chicha (la fuente) y las parcelas que son regadas con este efluente.

En Chiquicollo, el agua del canal Norte es catalogada como agua residual doméstica con alguna dilución indirecta debido a las precipitaciones pluviales tempranas. Sin embargo, los resultados de calidad de agua demuestran que esta agua puede ser clasificada como agua residual sin tratamiento. Los valores de caudal medidos son bastante variables en la época húmeda, ya que trabaja como un canal para evacuar la escorrentía superficial. En la época seca recibe agua de la limpieza de la planta de agua potable de Cala Cala y de algunas conexiones de alcantarillado.

Para todas las zonas debe ser mencionado que los caudales de agua residual no son suficientes para satisfacer a cabalidad los requerimientos de agua de los cultivos.

## 5.2 Variación de la calidad de agua

Sobre la base de los resultados del análisis de laboratorio, todas las aguas pueden ser clasificadas como aguas residuales crudas o sin tratamiento. Tomando en cuenta los indicadores del contenido de sales, como son la Relación de Adsorción de Sodio (RAS) y la Conductividad Eléctrica del agua (CEa), se realizó la clasificación de acuerdo al nomograma del USDA (Departamento Agrícola de los Estados Unidos, sigla en Inglés). El Cuadro 3 nos muestra los resultados obtenidos.

**Cuadro 3. Clasificación del agua residual según su RAS y CE**

Fuente	Clase	Salinidad y Sodicidad
Bruno Moqho, Kanarancho y Chiquicollo (canal Norte SNR N° 1)	C3S1	Elevado contenido de sales que puede afectar las características de los suelos. No tienen problema con el contenido de sodio
Chiquicollo (Barrios El Carmen y Cruce Taquiña)	C2S1	Agua ligeramente salina, podría afectar las características de los suelos. No tienen problema con el contenido de sodio

En las tres zonas, las aguas residuales pueden ser clasificadas como salinas hasta niveles que pueden afectar las características de los suelos. Los valores del sodio no alcanzan niveles peligrosos. En las entrevistas con los usuarios de aguas residuales no fueron reportados problemas que estuvieran relacionados con la salinidad y el drenaje. Esto puede ser explicado por las características de los suelos que presentan drenaje interno adecuado, con un nivel freático relativamente profundo.

La percepción de los agricultores sobre la calidad de agua utilizada en el riego se basa generalmente en el color y olor del agua, indicando que las aguas superficiales y subterráneas están todavía limpias por lo que son utilizadas para lavar y beber (uso doméstico), a excepción

de los ríos porque en la primera largada de las lagunas acarrea mucha basura y sedimento. En la percepción de los agricultores, buena calidad significa agua limpia (transparente) y sin olor. El agua de la represa “La Angostura” es considerada como agua con mucho sedimento y mal olor, esto se debe a la mezcla con agua residual en el trayecto del canal. Cuando este canal conduce solamente agua residual tiene un color muy oscuro y un olor desagradable, no obstante, algunos agricultores la consideran como una fuente importante de agua para riego en la época de estiaje.

### 5.3 Carga de nutrientes hacia las parcelas

Es necesario aclarar que los valores de nutrientes no dicen mucho por sí mismos. Para indicar algo acerca de la relación con los requerimientos del cultivo y poder realizar un balance de componentes, es necesario incluir el análisis de las prácticas de riego (caudal de riego, la duración del turno de riego) y la trayectoria física del flujo de agua de riego antes de alcanzar la parcela (por los procesos microbiológicos). También son necesarios: información sobre el uso de otras fuentes de agua para riego y la información climatológica para realizar un balance hídrico. Sin embargo, es interesante mostrar las variaciones en el contenido de nutrientes de las aguas residuales en las tres zonas de uso (Figura 6), el cual se determinó con datos de las entrevistas y cálculos estimativos de la cantidad anual de agua residual aplicada a los suelos en cada zona, tal como se detalla en el Cuadro 4.

**Cuadro 4. Volumen anual aplicado de agua residual a una hectárea de suelo**

Zona	Caudal promedio (l/s)	Tiempo Promedio de Riego (hora/ha)	Nº riegos por año	Volumen Anual Aplicado (m3/ha/año)
Bruno Moqho	4,6	12	12	2385
Kanarancho	1,44	24	12	1493
Chiquicollo	19,6	6	10	4234

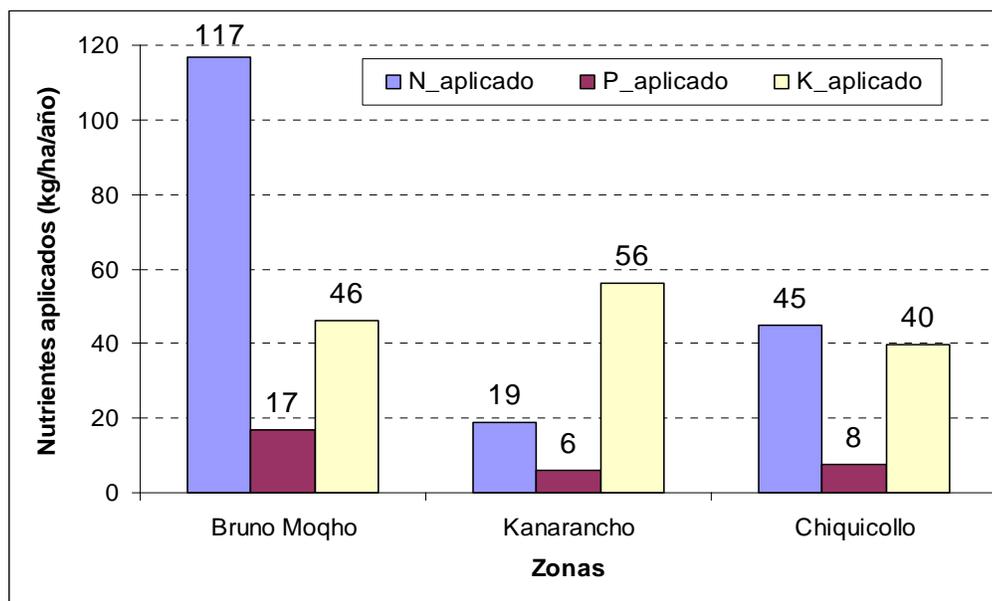
Con los resultados de laboratorio se elaboró el Cuadro 5, que indica las concentraciones promedio de los tres principales nutrientes para los cultivos. El promedio fue calculado tomando en cuenta los resultados de los cuatro muestreos.

**Cuadro 5. Contenido promedio de nutrientes disponibles en el agua residual**

Zona	N (mg N/l)	P (mg P/l)	K (mg K/l)
Bruno Moqho	48,9	7,1	19,3
Kanarancho	7,9	2,6	37,7
Chiquicollo	18,9	3,2	9,4

La Figura 6 muestra una estimación de la cantidad de nutrientes (en Kg/ha/año) que fueron aplicados a las parcelas por el riego con agua residual en cada una de las zonas intervenidas. De acuerdo a estos datos, Bruno Moqho tiene la carga más alta de nutrientes a las parcelas, esto puede ser explicado por el uso de agua residual doméstica sin dilución y los turnos de

riego con mayor frecuencia. Aunque si comparamos con Chiquicollo, esta tiene mayor volumen de agua aplicado a las parcela pero con una menor aplicación de nutrientes, lo que nos indica que las aguas residuales del canal Norte del SNR N° 1 en Chiquicollo son más diluidas, lo que es corroborado con las observaciones de campo. Las aguas residuales de las agroindustrias de la zona de Kanarancho muestran una baja concentración de nutrientes en comparación con las otras dos zonas.



**Figura 6. Comparación de la carga anual de nutrientes a las parcelas**

El promedio de extracción de nutrientes por un cultivo esta indicado en el Cuadro 6. Realizando comparaciones se puede ver que los requerimientos nutricionales para el cultivo de la espinaca son satisfechos. Para los otros cultivos (maíz y alfalfa) se satisface en un nivel cercano al 50%.

**Cuadro 6. Remoción de nutrientes del suelo por cultivos**

Cultivo	Rendimiento ton/ha	N (kg N/ha)	P (kg P/ha)	K (kg K/ha)
Maíz (grano)	13.3	123	13	179
Alfalfa	13.3	392	45	336
Pasto (Ryegrass)	11.1	241	49	224
Espinaca	11.1	56	17	34

Fuente: Havlin et al (1999), citado por Boom (2000)

Es necesario mencionar que en las tres zonas, las parcelas reciben una cantidad adicional de nutrientes por el abonado con estiércol de vaca. Este ingreso adicional de nutrientes no fue investigado pero tiene su importancia para satisfacer el requerimiento de nutrientes de los cultivos. Ninguno de los agricultores entrevistados utiliza fertilizantes químicos, debido a su alto precio de adquisición.

## 5.4 Riesgos para la salud por la concentración de bacterias

La concentración de microorganismos patógenos en todas las muestras de agua residual se encuentra por encima de las normas estándar que los prescriben para su uso (WHO, 1996), por lo que se recomienda su tratamiento previo antes de usarse. La Figura 6 nos muestra la concentración de coliformes fecales en aguas residuales de las cuatro fuentes identificadas en las tres zonas. Los valores mostrados representan el promedio de dos muestreos por día, generalmente las concentraciones están sobre el orden de  $10E+6$  y  $10E+7$ , característica que presentan las aguas residuales sin ningún tratamiento. Cabe hacer notar que las dos primeras fechas corresponden a la época seca y las dos últimas a la época húmeda

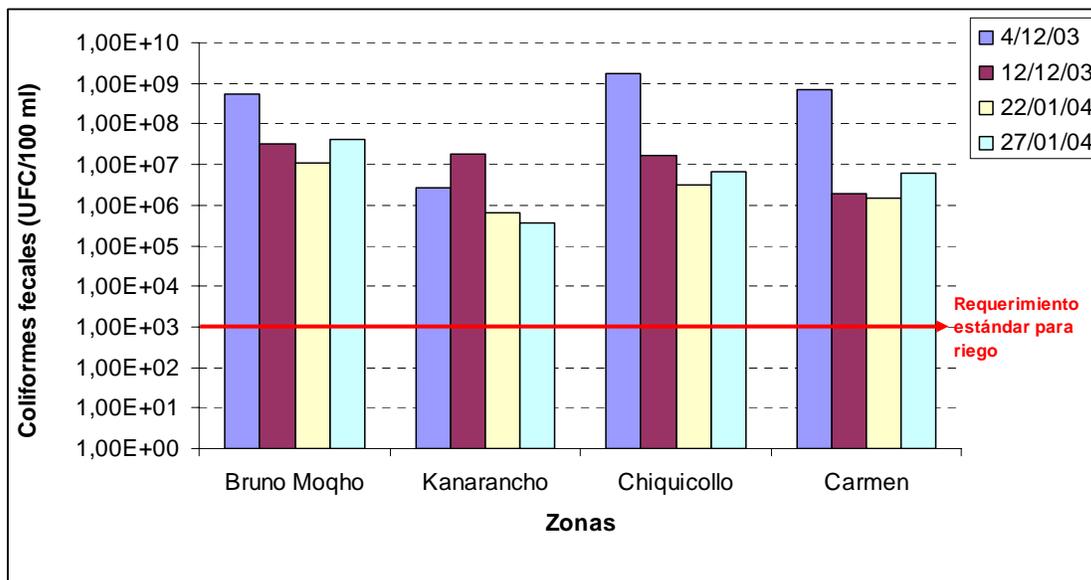


Figura 7. Concentración de coliformes fecales en las cuatro fuentes

Haciendo una relación con los cultivos producidos en Bruno Moqho (hortalizas), el riesgo para la salud de los consumidores de éstos productos es bastante elevado, ya que los agricultores venden sus productos sin un lavado previo. Sólo una pequeña parte es destinada para el consumo familiar (autoconsumo).

## 5.5 Nivel de contaminación de los pozos para uso doméstico

La norma de la OMS para agua de consumo doméstico (para beber) indica que tiene que estar libre de coliformes totales y fecales. Las concentraciones encontradas de estos parámetros se muestran en el Cuadro 7.

Cuadro 7. Resultados de coliformes totales y fecales en las muestras de agua

Zona/Pozo	Concentración de coliformes (UFC/100 ml)		
	Total	Fecal	Norma OMS
Kanarancho	0	0	0
Bruno Moqho	18	7	0
Chiquicollo	62	46	0

Desde el punto de vista microbiológico, el agua del pozo en Kanarancho es apta para beber, a diferencia del agua de los pozos en Bruno Moqho y Chiquicollo que no es apta para beber directamente. Las aguas que están siendo bombeadas de los pozos muestreados podrían estar influenciadas por el agua residual que se infiltra en el suelo llegando a contaminar el agua subterránea. Es muy probable que exista alguna relación entre las fuentes de agua residual investigadas y la calidad del agua de los pozos, debido a la ausencia de otras fuentes que puedan contaminar las aguas subterráneas en dichas áreas. Los puntos de muestreo fueron seleccionados entre 50 y 200 metros aguas abajo de las parcelas que están siendo regadas con aguas residuales.

## **6. ANALISIS GENERAL.**

El análisis tiene el objetivo de identificar oportunidades para lograr el uso sostenible de las aguas residuales para riego en Tiquipaya.

Frente a la disminución de la disponibilidad en las fuentes tradicionales de agua para riego, las aguas residuales sin tratamiento son un recurso valioso dentro la producción agrícola, especialmente en la época de estiaje. Los agricultores concientes de esta necesidad de agua no hacen notar su descontento sobre las implicancias que se relacionan con su uso ni siquiera la relacionada con la salud de ellos mismos ni de sus familias.

Por otro lado, los resultados nos muestran que no existe una variabilidad temporal en cuanto a cantidad y calidad ofrecida por las fuentes de aguas residuales identificadas, lo que permitiría realizar una planificación para un uso adecuado de este recurso, en términos por ejemplo de la superficie y variedad de cultivos a ser implementados, y el aporte de nutrientes entre otros. Además, se aprovecharía el conocimiento práctico adquirido por los agricultores sobre la sensibilidad de los cultivos a estas aguas, implementando cultivos que son capaces de desarrollarse en estas condiciones, aunque todavía no son capaces de relacionar con los riesgos para la salud.

En Tiquipaya no existe un monitoreo o regulación del uso de aguas residuales en riego, teniendo este un carácter informal que es aceptado por la alcaldía. Hasta el momento, no hay quien asuma la responsabilidad de tomar medidas sobre el re-uso de aguas residuales en la agricultura o brindar un apoyo técnico para un aprovechamiento con el menor riesgo posible, aunque por Ley los municipios deberían hacerse cargo.

En Tiquipaya es necesaria la construcción de plantas de tratamiento de aguas residuales, si bien es casi imposible pensar en un sistema centralizado, es necesario pensar en sistemas descentralizados donde se puedan utilizar las diferentes alternativas de tratamiento que nos ofertan las nuevas tecnologías de tratamiento.

Actualmente con la producción de hortalizas en Bruno Moqho, está en riesgo la salud de productores, comerciantes y consumidores de los productos agrícolas de esta zona. Las autoridades e instituciones conectoras de este actividad deberían capacitar a los agricultores sobre los riesgos que representan para la salud, promoviendo el uso de ropa adecuada en las faenas de riego y cosecha, e instalando infraestructura para el lavado y desinfección de éstos productos antes de ser comercializados; ya que la concentración de coliformes fecales en el

agua, incluso en el período húmedo, exceden la norma estándar. La mitigación de los riesgos en la salud de los consumidores utilizando técnicas apropiadas para el lavado de productos y el cambio de cultivos en Bruno Moqho, pueden ser medidas adecuadas que tienen que ser apoyadas por la administración local y las organizaciones no gubernamentales, ya que no se puede poner en riesgo la salud de los consumidores.

Referente a la percepción del uso de aguas residuales en Tiquipaya, los agricultores no comparten los mismos puntos de vista. Algunos agricultores se muestran negativos y dan la impresión de pasividad hacia el desarrollo del riego con agua residual y de su organización. Otros argumentan que no saben que pasará e indican haber colocado su destino en manos de Dios; su opinión también depende si el agricultor tiene a los hijos que están dispuestos a dedicarse a las labores agrícolas.

Los agricultores conocedores de que es una práctica que conlleva mucho riesgo, están concientes que es un recurso que estará disponible en el mediano plazo, ya que existe una demanda que toma fuerza sobre la necesidad de saneamiento básico en éstas zonas. En el futuro si el recurso estaría disponible y lo utilizarían, llegarían a tener problemas con los vecinos no agricultores, que aumentan en número al pasar el tiempo. En este contexto donde la urbanización tiene un crecimiento acelerado y caótico, hace que se incremente con el pasar del tiempo la disponibilidad de éste recurso, asimismo, causa el descontento de los pobladores aledaños o en cercanía a las zonas de re-uso.

## **7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

El uso no regulado de aguas residuales en la agricultura en Tiquipaya es el resultado de la interrelación de diferentes factores, aparentemente autónomos, como son la falta de agua, pobreza, urbanización y una débil atención y acción institucional. Todos con una clara diferencia en cuanto a fuente, escala de uso, organización, gestión, selección de cultivo y calidad de agua, pero con la escasez de agua como el factor común y decisivo que determina su uso como una fuente segura e importante en la época seca, ya que puede ser la única alternativa de agua disponible para un grupo significativo de agricultores. Aunque esta represente riesgos de enfermedades para la salud de los productores y consumidores, y un riesgos de contaminación para los acuíferos subterráneos que son fuentes de abastecimiento de agua para consumo doméstico.

La carga de nutrientes (fósforo, nitrógeno y potasio) aplicada a los terrenos con el agua residual, es una potencialidad de este recurso que es muy bien conocida y explotada por los agricultores, ahorrándose recursos económicos al no adquirir fertilizantes químicos. Existe una variabilidad en la concentración de estos nutrientes si relacionamos las tres zonas, presentando las mayores concentraciones en las aguas residuales de origen doméstico sin dilución.

Los usuarios en Tiquipaya conocen las ventajas y desventajas de regar con agua residual, pero no siempre actúan de acuerdo a este conocimiento, ya sea evitando contacto con el agua residual por medio del uso de ropa de protección, esto es muy bien reconocido por ellos, pero generalmente no es aplicado. Así mismo, los agricultores no experimentan cambios en sus prácticas agrícolas en relación con la calidad del agua, pese a la necesidad de adecuación de sus prácticas de riego para el aprovechamiento de este recurso.

Tiquipaya es y será por mucho tiempo una zona agrícola, por lo tanto es responsabilidad del gobierno municipal identificar y monitorear las zonas donde los agricultores utilizan aguas residuales en la producción agrícola, por lo menos hasta que se construyan plantas de tratamiento de aguas residuales o se instalen sistemas de alcantarillado para evacuarlas. Por lo tanto, las aguas residuales sin tratamiento continuarán siendo utilizadas para riego de cultivos agrícolas, mientras la disponibilidad del agua de las fuentes de agua tradicionales sean inseguras. Por otra parte, la disponibilidad de las aguas residuales tiene un incremento progresivo, haciéndola más atractiva para su aprovechamiento en la agricultura.

En consecuencia, un uso más sostenible del agua residual en riego, sería a través de la mezcla con aguas más limpias, por medio de la adaptación de la infraestructura física de riego donde esta pueda ser posible.

## **Bibliografía**

Agencia Técnica. 2003. Mancomunidad de municipios Tiquipaya-Colcapirhua, Mejoramiento de los sistemas de agua potable y ampliación de la red de alcantarillado sanitario de la mancomunidad. Volumen II, Tomo IV, Cochabamba.

Agencia Técnica. 2003. Mancomunidad de municipios Tiquipaya-Colcapirhua Diagnostico de la red existente de Alcantarillado Sanitario en el Casco Viejo de Tiquipaya. Cochabamba.

Boom, S. 2000. Treated wastewater reuse in irrigation. Wastewater as a crop nutrient source in Seil-Zarqa and Middle Jordan Valley regions in Jordan. Master of Science Thesis. Tropical land use Departament. Wageningen University. The Netherlands.

Durán, A., Moscoso, O., Romero, A., Huibers, F., Agodzo, S., Chenini, F., van Lier, J.B. 2003. Use of waste water in irrigated agriculture. Country studies from Bolivia, Ghana and Tunisia. Volume 1: Bolivia, WUR, Wageningen, The Netherlands.

Instituto Nacional de Estadística (INE). 2001. Censo Nacional de Población y Vivienda 2001.

Maartijn, E. J., Huibers, F. P. 2001. Use of treated wastewater in irrigated agriculture. A design framework. WP4-3. Irrigation and water engineering group; WU. Wageningen. The Netherlands.

Maartijn, E. J., Huibers, F. P. 2001. Use of treated wastewater in irrigated agriculture. Treated wastewater – characteristics and implications. Irrigation and water engineering group; WU. Wageningen. The Netherlands. CORETECH.

Organización Panamericana de la Salud (OPS) y Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria (CEPIS). 2002. Sistemas integrados de tratamiento y uso de aguas residuales en América Latina: Realidad y Potencial. Estudio de viabilidad Cochabamba, Bolivia. Lima.

Programa de Enseñanza e Investigación en Riego Andino y Valles (PEIRAV). 1993. Gestión de Riego en Tiquipaya, Desarrollo histórico y descripción analítica de los Sistemas de Riego. Cochabamba, Bolivia

Programa de Enseñanza e Investigación en Riego Andino y Valles (PEIRAV). 1993. Agricultura campesina y gestión social del agua en Tiquipaya, Estudio de un sistema de riego tradicional en el Valle Central de Cochabamba. Cochabamba, Bolivia

Saenz, M. 1997. Caracterización de la gestión de riego y producción familiar en la zona norte y central de Tiquipaya. PEIRAV, Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias, UMSS, Cochabamba

Van Rooijen, D. 2004. Waste water irrigation in the peri-urban area of Tiquipaya, Cochabamba, Bolivia. MSc. Thesis. Wageningen University, The Netherlands.

World Health Organization (WHO). 1996. Analysis of waste water for use in agriculture, A Laboratory manual of Parasitological and Bacteriological Techniques. Geneva