

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE CIENCIAS FARMACEÚTICAS Y BIOQUÍMICA
CARRERA DE BIOQUÍMICA



**COMPARACIÓN DEL GRADO DE CONTAMINACIÓN BACTERIANA
Y POR METALES PESADOS EN DIVERSOS PUNTOS DE MUESTREO
A LO LARGO DEL CAUCE DEL RÍO CHOQUEYAPU, DESDE
ACHACHICALA HASTA EL MUNICIPIO DE MECAPACA,
CONSIDERANDO DATOS OBTENIDOS POR FUENTE PROPIA Y
DATOS PROPORCIONADOS POR LA HONORABLE ALCALDÍA
MUNICIPAL EN LAS GESTIONES 2004-2006 Y 2010**

**TRABAJO DIRIGIDO O PRESENTADO PARA LA OBTENCIÓN
DEL GRADO DE LICENCIATURA EN BIOQUÍMICA**

POR: ESTHER AYALA CARRASCO
TUTORA: Ph.D. MA. TERESA ÁLVAREZ ALIAGA

LA PAZ – BOLIVIA
2011

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado a Dios por su infinito amor, quien me dio vida, salud y muchas satisfacciones a lo largo de mi vida y más aún dos hijos amorosos Claudia y Alejandro que son razón de mi existir.

También dedico a mi mamita querida por todo su amor y estar siempre a mi lado en las buenas y malas.

Por último a mis hermanos Doris, Freddy, Marlene y Shirley quienes me dieron su apoyo en todas mis decisiones.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la Dra. Teresa Álvarez por todo su apoyo y paciencia a lo largo del trabajo.

Un agradecimiento especial a la Dra. Albertina Siñani por su apoyo incondicional, amistad y consejos.

Al Dr. Walter Montaña por apoyo y predisposición para culminar esta investigación.

A mis grandes amigas Charito e Isabel que siempre estuvieron para apoyarme en los momentos más difíciles de mi vida.

A mi querida Facultad de Bioquímica que me acogió en sus aulas y forjó mi formación profesional.

Finalmente, a la Honorable Alcaldía Municipal de La Paz, por proporcionar información para el estudio.

Gracias...

TABLA DE CONTENIDOS

	PÁG.
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. ANTECEDENTES	3
II. JUSTIFICACIÓN	4
III. OBJETIVOS	7
3.1. OBJETIVO GENERAL	7
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	7
IV. MARCO TEÓRICO	9
1. CONTAMINACIÓN	9
1.1. CONTAMINACIÓN DEL AGUA.....	10
1.2. AGENTES CONTAMINANTES DEL AGUA	11
1.2.1. CONTAMINANTES FÍSICOS	11
1.2.2. CONTAMINANTES QUÍMICOS.....	12
1.2.3. CONTAMINANTES BIOLÓGICOS	12
1.3. CLASIFICACIÓN DE LOS CONTAMINANTES	16
1.3.1. CONTAMINANTES ORGÁNICOS.....	16
1.3.2. CONTAMINANTES INORGÁNICOS.....	20
2. CLASIFICACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA	23
3. CONTROL DE LA CALIDAD DEL AGUA.....	24
3.1. LEY DEL MEDIO AMBIENTE N° 1333.....	25
3.1.1. PARÁMETROS DE CONTROL DE CALIDAD DEL AGUA	27
4. EFECTOS DE LA CONTAMINACIÓN DE RÍOS Y LAGOS.....	30
5. CONTAMINACIÓN DE AGUA DE RÍOS Y LAGOS EN BOLIVIA	33
5.1. CONTAMINACIÓN DEL AGUA EN LA CIUDAD DE LA PAZ.....	36
5.2. PROBLEMAS QUE CONTRIBUYEN A DEBILITAR LA GESTIÓN AMBIENTAL	37
6. CARACTERÍSTICAS DEL RÍO CHOQUEYAPU	38

6.1.	CONTAMINACIÓN DEL RÍO CHOQUEYAPU.....	39
7.	CARACTERÍSTICAS DEL MUNICIPIO DE MECAPACA.....	43
7.1.	CONTAMINACIÓN DEL MUNICIPIO DE MECAPACA	45
8.	ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DE AGUAS CONTAMINADAS.....	46
8.1.	DETERMINACIÓN DE COLIFORMES TOTALES Y FECALES	48
8.1.1.	PROCEDIMIENTO	48
8.1.2.	PRUEBA PRESUNTIVA.....	48
9.	ANÁLISIS DE METALES PESADOS EN AGUAS CONTAMINADAS	49
9.1.	MUESTREO Y CUIDADOS ESPECIALES.....	50
9.2.	LAVADO DEL MATERIAL DE VIDRIO	50
9.3.	PRESERVACIÓN DE MUESTRAS	51
9.4.	TRATAMIENTO PRELIMINAR DE MUESTRAS	51
9.4.1.	DETERMINACIÓN DE METALES DISUELTOS.....	51
9.4.2.	DETERMINACIÓN DE METALES EN SUSPENSIÓN	52
V.	DISEÑO METODOLÓGICO.....	54
1.	LUGAR DE ESTUDIO	54
2.	TIPO DE INVESTIGACIÓN	55
3.	PERIÓDO DE ESTUDIO.....	55
4.	PUNTOS DE MUESTREO	55
4.1.	MATERIALES.....	59
4.1.1.	EQUIPOS.....	59
4.1.2.	MATERIAL DE LABORATORIO	59
4.1.3.	REACTIVOS	59
4.2.	PROCESAMIENTO DE MUESTRAS.....	60
4.2.1.	MÉTODOS	61
4.3.	MÉTODO PARA LA DETERMINACIÓN DE COLIFORMES TOTALES, COLIFORMES FECALES	61
4.4.	MÉTODO PARA LA DETERMINACIÓN DE <i>ENTEROBACTERIAS</i>	65

4.5.	MÉTODO PARA LA DETERMINACIÓN DE METALES PESADOS POR ABSORCIÓN ATÓMICA	67
4.5.1.	PREPARACIÓN DE LA MUESTRA	67
4.5.2.	LECTURA DE ABSORCIÓN ATÓMICA	68
VI.	DISCUSIÓN	68
VII.	RESULTADOS.....	70
1.	RESULTADOS GENERALES	70
1.1.	ESTABLECIMIENTO DE LA CONTAMINACIÓN BACTERIANA	70
1.2.	ESTABLECIMIENTO DE LA CONTAMINACIÓN POR METALES PESADOS.....	73
1.3.	ANÁLISIS COMPARATIVO DE MUESTRAS BACTERIOLÓGICAS	76
1.4.	ANÁLISIS COMPARATIVO DE MUESTRAS DE METALES PESADOS ..	79
VIII.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	81
1.	CONCLUSIONES	81
2.	RECOMENDACIONES.....	84
	BIBLIOGRAFÍA	84

ÍNDICE DE TABLAS

	PÁG.
Tabla N° 1 Clasificación de rango de temperatura	15
Tabla N° 2 Reglamento de la Ley del Medio Ambiente y las EPSAs	25
Tabla N° 3 Clasificación general de cuerpos de agua.....	26
Tabla N° 4 Clasificación de los cuerpos de agua según su aptitud de uso	27
Tabla N° 5 Valores máximos admisibles de parámetros en cuerpos receptores.....	29
Tabla N° 6 Alteraciones físicas en el agua	32
Tabla N° 7 Ubicación de los 16 puntos de muestreo	56
Tabla N° 8 Cálculo de las diluciones	63
Tabla N° 9 Interpretación de los resultados NMP	64
Tabla N° 10 Contaminación coliformes totales, fecales y <i>Enterobacterias</i> (2004).....	70
Tabla N° 11 Contaminación por Metales Pesados.....	73
Tabla N° 12 Análisis comparativo de muestras bacteriológicas (2004, 2005, 2006 y 2010)	76
Tabla N° 13 Comparación de muestras de metales pesados	79

ÍNDICE DE FIGURAS

	PÁG.
Figura N° 1 Industrialización y modernismo	10
Figura N° 2 Río Choqueyapu	38
Figura N° 3 Contaminación del río Choqueyapu	41
Figura N° 4 Contaminación del río Choqueyapu	43
Figura N° 5 Cultivos en la localidad de Mecapaca	45
Figura N° 6 Municipio de Mecapaca	44
Figura N° 7 Río Choqueyapu	54
Figura N° 8 Mapa del río Choqueyapu y los puntos de muestreo.....	57
Figura N° 9 Mapa del Municipio de Mecapaca	58
Figura N° 10 Toma de muestras para el análisis	60
Figura N° 11 Determinación del Número Más Probable (NMP) para Coliformes totales y fecales	62
Figura N° 12 Diagnóstico de Salmonella, Shigella	66
Figura N° 13 Diagnóstico microbiológico de otras <i>Enterobacterias</i>	67
Figura N° 14 Equipo de Absorción Atómica	68

RESUMEN

La investigación se llevó adelante en el recorrido del Río Choqueyapu, en la ciudad de La Paz, durante el último trimestre de la gestión 2004. El objetivo principal fue comparar el grado de contaminación bacteriana y por metales pesados en diferentes puntos geográficos a lo largo del curso del río Choqueyapu desde la zona de Achachicala hasta Río Abajo, en el Municipio de Mecapaca, para el análisis se consideró los datos obtenidos por fuente propia (2004) y datos proporcionados por Honorable Alcaldía Municipal (HAM) que correspondió a las gestiones 2005, 2006 y 2010.

Para cumplir este objetivo se tomó un pool de muestras bajo un sistema de muestreo que comprendió 4 grandes etapas, haciendo un total de 16 puntos de recogida de muestras: Achachicala, Avenida del Ejército, Puente Amor de Dios, Puente Aranjuez, Puente Valencia, Puente Lipari, y las localidades de Mecapaca Lipari, Taipichullo, Carreras, Valencia, Mecapaca, Avircato, Palomar, Huayhuasi y Huaricana Alto y Bajo.

La recogida de muestras fue de cada punto del muestreo para el procedimiento se siguió dos métodos el primero fue El Número Más Probable (NMP); y el método para la determinación de metales pesados fue la de Absorción Atómica (AA). Los datos fueron procesados en el Laboratorio de la Facultad de Ciencias Farmacéuticas y Bioquímica de la Universidad Mayor de San Andrés.

Los resultados de la presente investigación denotan los niveles de contaminación hídrica, que en la mayoría de los casos sobrepasaron los rangos permisibles.

Palabras claves:

Agua, río, contaminación hídrica, coliformes totales, coliformes fecales, *Enterobacterias*, metales pesados.

I. INTRODUCCIÓN

El agua es un elemento natural indispensable para el desarrollo de la vida y de las actividades humanas, resultando difícil imaginar cualquier tipo de actividad en la que no se utilice este líquido elemento, de una u otra forma.⁽¹⁾

El crecimiento de la población en Bolivia y el aumento del uso del agua para diferentes actividades han incrementado los niveles de contaminación. La misma se relaciona con los vertidos de origen doméstico (aguas servidas), industrial y basura. En el caso de los residuos de origen doméstico, la carga contaminante está representada por altos porcentajes de materia orgánica y microorganismos de origen fecal. En la actividad industrial y minera se arroja metales tóxicos y el daño producido es mayor al no ser química ni biológicamente degradables. Una vez emitidos, los metales pueden permanecer en el ambiente durante cientos de años. De hecho, la toxicidad de estos metales ha quedado documentada a lo largo de la historia: los médicos griegos y romanos ya diagnosticaban síntomas de envenenamientos agudos por plomo mucho antes de que la toxicología se convirtiera en ciencia.

En los últimos años, en la ciudad de La Paz, se ha alcanzado niveles elevados de urbanización debido a migraciones de parte de los otros departamentos que componen Bolivia en busca de mejores oportunidades de vida; las migraciones más relevantes son las de la ciudad de El Alto y Potosí. La ciudad de La Paz se ha desarrollado a lo largo del río Choqueyapu, y de sus afluentes principales Orkojahuira, Irpavi, Achumani el cual constituye el eje central del área urbana y el único cauce por el que se puede desechar aguas residuales.

Estos ríos transportan importantes cantidades de agua a lo largo de la urbe paceña, pero se puede apreciar a simple vista que el agua del río Choqueyapu no es limpia, sino al contrario se nota la contaminación excesiva, estas aguas contaminadas producen serios

daños, sobre todo a la agricultura de río abajo, puesto que el agua es utilizada para el riego de todo tipo de sembradío, debido a que las áreas de cultivo que proporcionan mayor cantidad de alimentos a la ciudad de La Paz se encuentran en las afueras del eje central lugar donde desembocan las aguas del río Choqueyapu, las mismas que se encuentran sin ningún tipo de tratamiento antes de su llegada a los sembradíos de (Río Abajo) Municipio de Mecapaca.

Si bien se realizaron trabajos anteriores con relación a este tema, no tuvieron la trascendencia esperada o no se le dio la importancia debida y es necesario actualizar datos del nivel de contaminación que están alcanzando las aguas de los sembradíos de río abajo.

Por lo tanto, el presente trabajo tiene el fin de comparar el grado de contaminación bacteriana y contaminación de metales pesados realizado durante la gestión 2004 (datos obtenidos por un estudio propio), con los estudios realizados por la Honorable Alcaldía Municipal (HAM) en las gestiones 2005, 2006, 2010 así determinar si los resultados aumentaron o disminuyeron de acuerdo a los valores máximos aceptables para la Clase “B” de aguas.

1.1. ANTECEDENTES

La contaminación de los ríos y lagos en Bolivia, es un problema que afecta la vida cotidiana de las personas. En la época de la Colonia, la contaminación minera alcanzó su máxima expresión con la explotación del Cerro Rico de Potosí, y por el crecimiento en las urbes empezaron los primeros problemas de contaminación de las aguas por desechos domésticos. En Bolivia existe pocos estudios sistematizados y difundidos sobre el nivel de contaminación de las aguas para consumo humano, no existen campañas de concientización a la población del daño que las mismas ocasionan a la salud. En el país se presenta la contaminación de aguas por desechos domésticos, industriales, mineros y el reciente uso indiscriminado de químicos en la agricultura.⁽²⁾

En Cochabamba se realizó un estudio donde se determinó que uno de los principales problemas con el que se tropieza, en relación al uso de aguas residuales domésticas, es la alta contaminación especialmente bacteriológica del río Rocha, (principal fuente de abastecimiento de aguas para riego en Cochabamba) y en las aguas tratadas en las lagunas de estabilización de la zona de Albarrancho, que a pesar de ser una planta de tratamiento de agua residual, descarga sus aguas al río Rocha o las deriva hacia parcelas, presentando elevados niveles de contaminación fecal, los mismos que se encuentran fuera de las normas para vertidos a cuerpos receptores.⁽³⁾

En 1993 se realizó un estudio en La Paz sobre el control de contaminación de aguas en los principales ríos a cargo de JICA (1993) el objetivo del estudio fue realizar una planta de tratamiento de aguas a la altura del puente Lipari, donde se tomó en cuenta los niveles de contaminación, su población urbana, población rural, topografía, mapas actualizados. Sin embargo la empresa encargada del proyecto, para esos tiempos, SAMAPA (empresa que ya no se encarga del suministro de agua en La Paz) quedó truncada porque ya no existe tal institución.⁽⁴⁾

Los estudios sobre las aguas del río Choqueyapu realizados por JICA (1993) y de los ríos Orkojahuirá, Irpavi, Achumani y Huañajahuirá reconocen que las principales fuentes de contaminación hídrica son: Residuos domésticos, Residuos públicos y comerciales y Residuos Industriales.⁽⁴⁾

El río Choqueyapu se encuentra ubicado en la ciudad de La Paz, con una orientación de Norte a Sur. Tiene una longitud aproximada de 44 Km y su nacimiento se encuentra a una altura de 5.500 metros sobre el nivel del mar en el nevado de Chacaltaya; ingresa a la urbe paceña a la altura de la zona de Achachicala; sus aguas atraviesan zonas industriales y comerciales recibiendo descargas de aguas residuales, generando a su paso problemas de mal olor, acumulación de basura y proliferación de vectores.

El río se encuentra canalizado en todo su recorrido urbano. A lo largo de su recorrido confluyen una serie de ríos entre los más importantes están: el río San Pedro, Cotahuma, Orkojahuirá, Irpavi, Achumani y Huayñajahuirá. Posteriormente, el río deja de ser canalizado para desembocar en el Valle de Aranjuez, lugar por donde sus aguas son utilizadas para el riego de cultivos.

II. JUSTIFICACIÓN

El principal problema que atraviesa el río Choqueyapu y sus afluentes es la contaminación. Esta alteración nociva se debe a que actualmente recibe descargas domésticas, tóxicas, químicas industriales, basura, aguas de alcantarillado público, sin ningún tratamiento a lo largo de su recorrido, convirtiéndose en un gran foco de infección dando mal aspecto por la acumulación de basura, proliferación de vectores y olor nauseabundo.⁽⁵⁾

Se han realizado pocas investigaciones sobre este río una de las más importantes es la investigación realizada en 1993 a cargo de JICA con el apoyo de la Alcaldía y el

Instituto Boliviano de Tecnología Nuclear Atómica que tiene su sede en Viena Austria.⁽⁵⁾ Los resultados mostraron que la mayor parte de contaminación se debe a la gran cantidad de aguas residuales domésticas e industriales que se desechan al río y obviamente no reciben ningún tratamiento.⁽⁵⁾

Considerando otras investigaciones sobre la contaminación del río Choqueyapu se presume que cada día se echa al río como 300 toneladas de desechos humanos, 600.000 litros de orina y 700.000 litros de tóxicos de las industrias, al margen de otros contaminantes.⁽⁵⁾

El problema de la contaminación es muy complejo y persistente, puesto que esta agua totalmente contaminada es utilizada por los comunarios de Río Abajo para el riego de una variedad de cultivos. Y el problema se acrecienta, porque los productos regados con el agua contaminada llegan a los diferentes mercados de la ciudad de La Paz, pudiendo influir negativamente en la salud de la población, causando enfermedades infecciosas, gastrointestinales, metabólicas, afecciones renales, malformaciones y otros. Estas enfermedades se presentan puesto que en el agua contaminada existen bacterias, microorganismos patógenos, que no se detectan a simple vista.

Desde esta perspectiva de contaminación de uno de los ríos más importantes en la ciudad de La Paz, surge la necesidad de realizar un análisis sobre el nivel de contaminación en el que se encuentra el río Choqueyapu. Con el fin principal de obtener datos sobre los niveles de contaminación, demostrando el comportamiento que tuvo la contaminación del río, en varias gestiones.

Por tal razón, la presente investigación se centró en realizar un análisis de nivel de contaminación del Río Choqueyapu, donde se hizo un estudio bacteriológico de Coliformes (totales, fecales); de *Enterobacterias*; y metales pesados (zinc, plomo y cobre), para determinar si los rangos permisibles sobrepasan la Clase “B” de la norma

legal establecida en la Ley N°1333 del Medio Ambiente con relación a la contaminación hídrica.

Para cumplir este objetivo se realizó la colecta de muestras de agua en diversos puntos del cauce del río durante la gestión 2004, (investigación propia). Se consideraron los siguientes puntos de referencia: Achachicala, Avenida del Ejército, Puente Amor de Dios, Puente Aranjuez, Puente Lipari; Puente Valencia; y las localidades del Municipio de Mecapaca: Lipari, Taipichullo, Carreras, Valencia, Mecapaca, Avircato, Palomar, Huayhuasi, Huaricana Alto y Bajo). Las muestras obtenidas se procesaron en el Instituto de Investigación de Fármaco Bioquímicas, de la Universidad Mayor de San Andrés.

Posteriormente, los datos obtenidos del estudio se compararon con los resultados obtenidos por el estudio realizado por la Honorable Alcaldía Municipal (2005, 2006 y 2010) de la ciudad de La Paz. Sin embargo, es necesario hacer notar que el estudio de la HAM se realizó durante gestiones posteriores a la presente investigación. Finalmente, la información obtenida en la presente investigación muestran los cambios que se dieron en lo que significa la contaminación que se presenta en el río Choqueyapu, porque los datos muestran cambios para cada gestión analizada.

Los resultados finales de la presente investigación serán un referente para posteriores estudios sobre contaminación, del río y de sus afluentes; además para motivar a la realización de acciones concretas que permitan el tratamiento de agua de este río.

III. OBJETIVOS

3.1. OBJETIVO GENERAL

- Comparar el grado de contaminación bacteriana y metales pesados en diferentes puntos geográficos a lo largo del curso del río Choqueyapu, desde la zona de Achachicala hasta Río Abajo (Municipio de Mecapaca), considerando los datos obtenidos por fuente propia (2004) y datos proporcionados por HAM (gestiones 2005, 2006 y 2010).

3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Establecer la contaminación bacteriana a través de la determinación de *Enterobacterias*, coliformes fecales y totales en muestras colectadas en el curso del Río Choqueyapu (Altura de zona Achachicala, Avenida del Ejército, Puente Amor de Dios, Puente Aranjuez, Puente Lipari, Puente Valencia, localidades del Municipio de Mecapaca (Lipari, Taipichullo, Carreras, Valencia, Mecapaca, Avircato, Palomar, Huayhuasi, Huaricana (Alto y bajo)).
- Establecer la contaminación por metales pesados Pb, Cu y Zn a través del análisis por Absorción atómica (AA), de las muestras colectadas en el curso del Río Choqueyapu (Altura de zona Achachicala, Avenida del Ejército, Puente Amor de Dios, Puente Aranjuez, Puente Lipari, Puente Valencia, localidades del Municipio de Mecapaca (Lipari, Taipichullo, Carreras, Valencia, Mecapaca, Avircato, Palomar, Huayhuasi, Huaricana Alto y Bajo)
- Determinar el grado de contaminación bacteriana a través de la comparación de datos de obtención propia (2004) con los obtenidos por la HAM (2005, 2006, 2010) con los parámetros permisibles de la calidad de agua Clase “B”.

- Determinar el grado de contaminación por metales pesados a través de la comparación de datos de obtención propia (2004) con los obtenidos por la HAM (2005, 2006, 2010) con los parámetros permisibles de la calidad de agua Clase “B”.



IV. MARCO TEÓRICO

En este segundo apartado de la investigación se presenta el fundamento teórico de la investigación, es decir, se realizó un desglose de los conceptos y definiciones pertinentes al tema en curso. En este sentido, se explicó el material teórico recabado, para ampliar las interpretaciones de los resultados.

1. CONTAMINACIÓN

La importancia de la calidad del agua ha tenido un lento desarrollo. Hasta finales del siglo XIX no se reconoció que este líquido elemento sea el origen de numerosas enfermedades infecciosas. Hoy en día, la importancia, tanto de la cantidad como de la calidad del agua está fuera de toda duda.

El agua es uno de los compuestos más abundantes de la naturaleza y cubre aproximadamente las tres cuartas partes de la superficie de la tierra. Sin embargo, en contra de lo que pudiera parecer, diversos factores limitan la disponibilidad de agua para uso humano. Más del 97% del agua total del planeta se encuentra en los océanos y otras masas salinas, y no están disponibles para casi ningún propósito. Del 3% restante, un 2% se encuentra en estado sólido (hielo), resultando prácticamente inaccesible. Por tanto, se puede terminar diciendo que para el hombre y sus actividades industriales y agrícolas, sólo resta un 1% de agua, que se encuentra en lagos, ríos y desembocaduras de agua subterráneas. La cantidad de agua disponible es ciertamente escasa, aunque mayor problema es aún su distribución irregular en el planeta.

Hay que considerar también que el hombre influye directa o indirectamente sobre el ciclo del agua. Mediante el vertido a las mismas de descargas domésticas, tóxicos, químicos industriales, basura, aguas de alcantarillado público, que alteran la vegetación y la calidad de las aguas.

El planeta, por muchos años, ha sido descuidado y maltratado por los seres humanos. La industrialización y el modernismo son algunos factores que coadyuvan a la contaminación de nuestras aguas. Véase la siguiente figura 1.



Figura N° 1 Industrialización y modernismo

Fuente: <http://www.industrializacion.com>⁽³⁷⁾

1.1. CONTAMINACIÓN DEL AGUA

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS) la contaminación se produce cuando se incorpora en el agua materias extrañas, como microorganismos, productos químicos, residuos industriales, aguas residuales o de otros tipos. Estas materias deterioran la calidad del agua y la hacen inútil para los usos pretendidos.⁽⁷⁾

De acuerdo con la definición de contaminante, se considera que se genera contaminación en el agua por la adición de cualquier sustancia en cantidad suficiente para que cause efectos dañinos mensurables en la flora, la fauna (incluido el humano) o en los materiales de utilidad u ornamentales. Por otra parte, se entiende por contaminación: la presencia en el medio ambiente de uno o más contaminantes, o cualquier combinación

de ellos, que perjudiquen o molesten la vida, salud y el bienestar humanos, flora y fauna, o degraden la calidad del aire, del agua, de la tierra, de los bienes, de los recursos de la nación en general o de particulares. El problema de la contaminación es múltiple y se presenta en formas muy diversas, con asociaciones y sinergismos difíciles de prever. Pero las principales consecuencias biológicas de las contaminaciones derivan de sus efectos ecológicos. En general, se habla de cuatro tipos básicos de contaminación: contaminaciones físicas (ruidos, infrasonidos, térmica y radioisótopos), químicas (hidrocarburos, detergentes, plásticos, pesticidas, metales pesados, derivados del azufre y del nitrógeno), biológicas (bacterias, hongos, virus, parásitos mayores, introducción de animales y vegetales de otras zonas) y por elementos que dañan la estética (degradación del paisaje y la introducción de industrias).⁽⁸⁾

1.2. AGENTES CONTAMINANTES DEL AGUA

Los contaminantes más frecuentes de las aguas son: materias orgánicas y bacterias, hidrocarburos, desperdicios industriales, productos pesticidas y otros utilizados en la agricultura, productos químicos domésticos y desechos radiactivos. Lo más grave es que una parte de los derivados del petróleo son arrojados al mar por los barcos o por las industrias ribereñas y son absorbidos por la fauna y flora marinas que los retransmiten a los consumidores de peces, crustáceos, moluscos, algas, etc.⁽⁹⁾

1.2.1. CONTAMINANTES FÍSICOS

Afectan el aspecto del agua y cuando flotan o se sedimentan interfieren con la flora y fauna acuáticas. Son líquidos insolubles o sólidos de origen natural y diversos productos sintéticos que son arrojados al agua como resultado de las actividades del hombre, así como, espumas, residuos oleaginosos y el calor (contaminación térmica).

1.2.2. CONTAMINANTES QUÍMICOS

Incluyen compuestos orgánicos e inorgánicos disueltos o dispersos en el agua. Los contaminantes inorgánicos provienen de descargas domésticas, agrícolas e industriales o de la erosión del suelo. Los principales son cloruros, sulfatos, nitratos y carbonatos. También desechos ácidos, alcalinos y gases tóxicos disueltos en el agua como los óxidos de azufre, de nitrógeno, amoníaco, cloro y sulfuro de hidrógeno (ácido sulfhídrico).

1.2.3. CONTAMINANTES BIOLÓGICOS

Incluyen hongos, bacterias y virus que provocan enfermedades, algas y otras plantas acuáticas. Algunas bacterias son inofensivas y otras participan en la degradación de la materia orgánica contenida en el agua

Los residuos que ingresan al cauce de los ríos y lagos causando contaminación se vuelven agentes de contaminación no sólo a través del ser humano, sino también a través de animales y alimentos que necesitan de este elemento para su supervivencia. Entre las principales fuentes de contaminación se puede destacar: residuos domésticos, residuos industriales, eliminación de excretas y residuos de servicios públicos (sólidos y líquidos).

Estos microorganismos y desechos, sólidos, líquidos y tóxicos son causantes de enfermedades en la población. Su determinación proporciona herramientas indispensables para conocer la calidad del agua y para la toma de decisiones en relación al control de vertidos, tratamiento de aguas y conservación de ecosistemas. El control de los parámetros físico-químicos y microbiológicos es muy importante en los sistemas de tratamiento de aguas residuales.

1.2.3.1. CONTAMINACIÓN BACTERIANA

Una dificultad en la purificación del agua es la contaminación y el crecimiento bacteriano. El agua es esencial para toda forma de vida. Es necesariamente un medio ideal para el crecimiento bacteriano debido a su carga de nutrientes. Es un componente necesario de las células vivas. Su estabilidad térmica provee un ambiente controlado. El agua tendrá crecimiento bacteriano inclusive con una mínima fuente de nutrientes disponible.⁽¹⁰⁾

a) CLASIFICACIÓN DE LA FAMILIA DE *ENTEROBACTERIAS*

La familia de *Enterobacterias* se encuentra ampliamente distribuida en el medio ambiente, las especies que la integran son colonizadores normales del tracto intestinal del hombre y animales de sangre caliente, fermentan la glucosa con o sin producción de gas, reducen los nitratos a nitritos, son oxidas negativo y catalasa positivo, poseen antígenos flagelares y somáticos. Las especies patógenas poseen factores de virulencia mediados por adhesinas, toxinas, capsulas plasmidius y captación de hierro.⁽¹¹⁾

Su composición antigénica es un mosaico que interrelaciona serológicamente varios géneros, entre los que se puede citar: *Salmonella*, *Shigella*, *Klebsiella*, *Enterobacter*, *Hafnia*, *Serratia*, *Proteus*.⁽¹²⁾

- **Género *Salmonella*:** Son gérmenes patógenos para el ser humano y los animales. Son bacilos Gram negativos aerobios no esporulados móviles por flagelos peritricos, no encapsulados, pueden resistir la congelación y la desecación, mantienen su efectividad por semanas en el hielo, alimentos, tierra y agua. Una de las fuentes principales de contaminación por salmonellas son los alimentos de origen animal, aguas contaminadas y vegetales regados con estas

son causantes de enfermedades importantes tales como la fiebre tifoidea, fiebres gastroenteritis, intoxicaciones alimenticias.

Género *Shigella*: Su hábitat está limitado a las vías intestinales del hombre y los primates, en los cuales produce disentería bacilar. Después de un periodo de incubación de uno a dos días aparece de manera súbita dolor abdominal, fiebre y diarrea acuosa, pérdida de líquidos y electrolitos, debido a la acción de enterotoxinas sobre las células epiteliales intestinales.

El proceso patológico consiste en la invasión de epitelio mucoso; formación de microabscesos en la pared del intestino grueso y el íleon terminal, produce necrosis de la mucosa, ulceración superficial de la misma, y hemorragias.

- **Género *Klebsiella*:** Las especies de *Klebsiella* están ampliamente distribuidas en la naturaleza y el tubo digestivo de humanos y animales, las enfermedades más frecuentes que produce es la neumonía, infecciones respiratorias en pacientes debilitados con alcoholismo, diabetes, también puede causar una variedad de infecciones extrapulmonares entre ellas tenemos la enteritis y meningitis en lactantes infecciones urinarias y septicemia.
- **Género *Enterobacter*:** Están ampliamente distribuidas, en el agua, aguas servidas, suelos, y vegetales. Forman parte de la flora entérica comensal, se asocian con una variedad de infecciones oportunistas que afectan a las vías urinarias, las vías respiratorias y las heridas cutáneas, y en ocasiones causan septicemia y meningitis.
- **Género *Hafnia*:** Estos microorganismos se han recuperado de heces humanas. Se han aislado de heridas, abscesos, esputo, orina, sangre, es un patógeno oportunista; a menudo es difícil discernir su papel en infecciones, porque están presentes en otras especies bacterianas.
- **Género *Serratia*:** Se asocia a una variedad de infecciones humanas en particular neumonía y septicemia en pacientes con neoplasias. Actualmente se utiliza este microorganismo como un comensal para rastrear contaminación ambiental.

- **Género *Proteus*:** Se halla en el suelo, aguas y materiales contaminados con heces. Se los puede recuperar en infecciones urinarias, heridas, en huéspedes inmuno deprimidos.

Las Bacterias Heterotróficas son todos los microorganismos que tienen una temperatura óptima de crecimiento esto significa que a determinada temperatura la velocidad de duplicación o la velocidad de crecimiento poblacional de los microorganismos es mayor, están presentes en todos los cuerpos de agua y constituyen un grupo de bacterias ambientales de amplia distribución, éstas son indicadores de la eficacia de los procesos de tratamiento, principalmente de la desinfección (descontaminación). Hay que tomar en cuenta que no todos los microorganismos crecen en el mismo rango de temperatura de acuerdo a la clasificación de la tabla 1:

Tabla N° 1 Clasificación de rango de temperatura

CLASIFICACIÓN	RANGO	ÓPTIMA
<i>Termofilos</i>	25 °C – 80 °C	50 °C – 60 °C
<i>Mesofilas</i>	10 °C – 45 °C	20 °C – 40 °C
<i>Psicrofilos</i>	-5 °C – -30 °C	10 °C – 20 °C

Fuente: Koneman (1987).

Las Bacterias Coliformes Totales son un grupo grande heterogéneo de bacilos gran negativos de la familia Enterobacteriaceae. Son bacterias no esporuladas, aeróbicas y anaeróbicas facultativas se desarrollan en presencia de sales biliares, fermentan la lactosa con producción de ácido, gas y aldehído a 35 °C y 37 °C en 24 – 48 horas.⁽¹³⁾

Las Bacterias Coliformes fecales son un subgrupo de las Bacterias Coliformes totales que presentan todas las características del grupo coliforme, fermentan la lactosa y el manitol produciendo ácido y gas, se diferencian de las coliformes totales por su termo resistencia ya que se desarrollan entre 44° C y 45 °C debido a que su ocurrencia se

restringe a heces humanas y otros animales de sangre caliente, incluyen en este grupo los géneros *Escherichia*, *Klebsiella*.

1.3. CLASIFICACIÓN DE LOS CONTAMINANTES

1.3.1. CONTAMINANTES ORGÁNICOS

Son compuestos cuya estructura química está compuesta fundamentalmente por carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno. Son mayoritarios en vertidos urbanos y vertidos generados en la industria agroalimentaria. Estos pueden aparecer en las aguas residuales como en:

- **Proteínas:** Proceden fundamentalmente de excretas humanas o de desechos de productos alimentarios. Son biodegradables, bastante inestables y responsables de malos olores.
- **Carbohidratos:** Se incluye en este grupo azúcares, almidones y fibras celulósicas. Proceden, al igual que las proteínas, de excretas y desperdicios.
- **Aceites y grasas:** Altamente estables, inmiscibles con el agua, proceden de desperdicios alimentarios en su mayoría, a excepción de los aceites minerales que proceden de otras actividades.
- **Otros:** Se incluye varios tipos de compuestos, como los tensio-activos, fenoles, órgano clorados y organofosforados, etc. Su origen es muy variable y presentan elevada toxicidad.

1.3.1.1. CONTAMINANTES ORGÁNICOS PERSISTENTES

Los Contaminantes Orgánicos Persistentes (COPs), conocidos internacionalmente por sus siglas en inglés, POPs (Persistent Organic Pollutants) son sustancias químicas muy

tóxicas, y duraderas, y presentan un grave peligro para el medio ambiente y la salud humana, incluso en baja concentración, debido a sus diversas propiedades.⁽¹⁴⁾

Entre las características de los contaminantes persistentes se conoce que son muy persistentes, estables, a los distintos tipos de degradación posibles, lo que supone una larga vida de los mismos en el medio. El hexaclorobenceno persiste durante 100 años en el agua.

También se considera que son bioacumulativos, es decir, que se acumulan en los tejidos grasos de los organismos vivos y se incorporan en las cadenas alimentarias, provocando sus peores consecuencias en las especies superiores de la cadena trófica, como los seres humanos. Aun cuando el veneno se dispersa inicialmente de forma amplia y ligera, gradualmente este se comienza a concentrar a medida que los organismos consumen otros organismos en la dinámica de la cadena alimentaria. Los productos químicos alcanzan niveles magnificados, hasta de varios miles de veces más que los niveles de base, en los tejidos adiposos de las criaturas del extremo superior de la cadena alimentaria, tales como los peces, las aves depredadoras y los mamíferos, entre ellos los seres humanos. Además con frecuencia estas sustancias se trasladan a la siguiente generación durante el embarazo y la lactancia.

Por otro lado, se desplazan a largas distancias a través del agua debido a una de sus propiedades (su baja presión de vapor), se pueden mover a grandes distancias de la fuente de emisión y distribuirse ampliamente por el planeta a través del aire, el agua, o mediante especies migratorias, depositándose especialmente en las regiones más frías de la Tierra. El transporte de COP depende de la temperatura; en un proceso conocido como “efecto saltamontes”; estos productos químicos “saltan” alrededor del planeta, se evaporan en los lugares cálidos, se dejan llevar por el viento y las partículas de polvo, se asientan en la tierra en lugares templados, y luego se evaporan y siguen desplazándose. Estas características los hacen muy peligrosos y su aleatoriedad aparente se agrava por el

hecho de que el daño a menudo tarda en aparecer o es indirecta. Muchos tienen una toxicidad crónica, lo que significa que aunque la exposición a corto plazo frecuentemente no sea peligrosa, a largo plazo si lo es, por ejemplo, el benceno, es un disolvente usado en algunas pinturas, productos de desengrasado, gasolinas, y en otros contaminantes industriales y comerciales. Es cancerígeno, y afecta a los descendientes de las personas contaminadas.⁽¹⁴⁾

1.3.1.2. CONSECUENCIAS

En la actualidad existe suficiente evidencia científica que señala que los contaminantes orgánicos persistentes representan un daño para el medio ambiente y la salud humana, de esta y las futuras generaciones. Las emisiones actuales causarán trastornos en los próximos 1000 años.

A finales de la década de los 60, se empezó a manifestar interés y preocupación con respecto a los COPs cuando científicos e investigadores empezaron a recoger y compilar evidencias de los daños que causaban en peces, pájaros y mamíferos que vivían en los Grandes Lagos de Norteamérica y alrededores. En algunos de estos casos, las fuentes predominantes de COPs se encontraban relativamente cerca; en otros casos estaban a miles de kilómetros de distancia. Los daños se presentaban predominantemente en las especies superiores de la cadena trófica.⁽¹⁴⁾

En los años que siguieron y alarmados por estas conclusiones, los científicos investigaron daños semejantes en los humanos. Desde entonces, se han reunido muchas evidencias y pruebas asociando la exposición humana a los COPs con:

- Cánceres y tumores en múltiples sitios.
- Deterioro neuronal incluyendo desordenes de aprendizaje, menor rendimiento y cambios de temperamento.

- Alteraciones del sistema inmunológico.
- Desórdenes reproductivos y sexuales.
- Reducción del período de la lactancia en madres que amamantan.
- Enfermedades tales como endometriosis (desorden ginecológico, crónico y doloroso en el que los tejidos uterinos crecen fuera del útero) y aumento de la incidencia de la diabetes, entre otras.

En las personas, así como en los animales, el daño causado por los COPs se expresa a menudo no en la población adulta expuesta, sino en las nuevas generaciones. Así los COPs tienen un efecto transgeneracional, ya que contaminan los alimentos, que al ser ingeridos por el ser humano se concentran en sus tejidos, atraviesan la placenta y se transfieren al feto. Además, son transmitidos por la leche materna a los lactantes.⁽¹⁴⁾

De esta manera los seres humanos y otros mamíferos están expuestos a los niveles más elevados de estos contaminantes en el periodo en que son más vulnerables, es decir, en el útero y durante la infancia, cuando sus cuerpos, cerebros, sistemas nerviosos e inmunológicos están en el delicado proceso de construcción.

En este sentido se debe indicar que cada día millones de trabajadores y trabajadoras están expuestos a sustancias químicas en el proceso de producción (industria química) pero también en los sectores donde estas sustancias son utilizadas (agricultura, construcción, industria de la madera y carpintería, textil, etc.). Muchos trabajadores están expuestos a sustancias químicas a nivel de producción, pero también como consumidores, sufriendo envenenamiento, cáncer, problemas respiratorios y alergias cutáneas, entre otras cosas.⁽¹⁴⁾

1.3.2. CONTAMINANTES INORGÁNICOS

Los contaminantes inorgánicos son diversos productos disueltos o dispersos en el agua que provienen de descargas domésticas, agrícolas e industriales o de la erosión del suelo. Los principales son cloruros, sulfatos, nitratos y carbonatos. También desechos ácidos, alcalinos y gases tóxicos disueltos en el agua como los óxidos de azufre, de nitrógeno, amoníaco, cloro y sulfuro de hidrógeno (ácido sulfhídrico).⁽¹⁵⁾

Son de origen mineral y de naturaleza variada: sales, óxidos, ácidos y bases inorgánicas, metales, etc.

Aparecen en cualquier tipo de agua residual, aunque son más abundantes en los vertidos generados por la industria. Estos componentes estarán en función del material contaminante así como también de la propia naturaleza de la fuente contaminante.

Entre los principales contaminantes de los lagos y ríos se puede mencionar los siguientes:

1.3.2.1. AGUAS RESIDUALES URBANAS

Son los vertidos que se generan en los núcleos de población urbana como consecuencia de las actividades propias de éstos son:

- Aguas negras o fecales
- Aguas de lavado doméstico
- Aguas de limpieza de calles
- Aguas de lluvia y lixiviados

Las aguas residuales urbanas presentan una cierta homogeneidad en cuanto a composición y carga contaminante, ya que sus aportes van a ser siempre los mismos. Pero esta homogeneidad tiene unos márgenes muy amplios, ya que las características de cada vertido urbano va a depender del núcleo de población en el que se genere, influyendo parámetros tales como el número de habitantes, la existencia de industrias dentro del núcleo, tipo de industria, etc.

1.3.2.2. AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES

Son aquellas que proceden de cualquier actividad o negocio en cuyo proceso de producción, transformación o manipulación se utilice el agua. Son enormemente variables en cuanto a caudal y composición, difiriendo las características de los vertidos no sólo de una industria a otro, sino también dentro de un mismo tipo de industria.

A veces, las industrias no emiten vertidos de forma continua, sino únicamente en determinadas horas del día o incluso únicamente en determinadas épocas de año, dependiendo del tipo de producción y del proceso industrial. También son habituales las variaciones de caudal y carga a lo largo del día. Su alta carga unida a la enorme variabilidad que presentan, hace que el tratamiento de las aguas residuales industriales sea complicado, siendo preciso un estudio específico para cada caso.

Según el tipo de industria se producen distintos tipos de residuos. Normalmente en los países desarrollados muchas industrias poseen eficaces sistemas de depuración de las aguas, sobre todo las que producen contaminantes más peligrosos, como metales tóxicos. En algunos países en vías de desarrollo la contaminación del agua por residuos industriales es muy importante. Actualmente en Bolivia la contaminación por vertido de desechos alcanza niveles muy altos incluso llegando a poner en riesgo a los ecosistemas que dependen de ella. Pasan a cobrar gran importancia en este proceso de contaminación

los desechos de curtientes, fábricas de pinturas, fábricas de producción química (Wella, Vita, Alcos entre otros).

a) ZINC

Muchos alimentos contienen ciertas concentraciones de Zinc. Las fuentes industriales o los emplazamientos para residuos tóxicos pueden ser la causa del Zinc en el agua llegando a niveles que causan problemas.

El Zinc es un elemento traza que es esencial para la salud humana. Cuando la gente absorbe demasiado Zinc estos pueden experimentar una pérdida del apetito, disminución de la sensibilidad, el sabor y el olor. Pequeñas llagas, y erupciones cutáneas. La acumulación del Zinc puede incluso producir defectos de nacimiento, también puede producir úlcera de estómago, irritación de la piel, vómitos, náuseas y anemia. Niveles alto de Zinc pueden dañar el páncreas y disturbar el metabolismo de las proteínas, y causar arterioesclerosis.⁽¹⁷⁾

b) PLOMO

Al ser ingeridos por el hombre en el agua y alimentos contaminados por los compuestos de plomo pueden provocar ceguera, amnesia, raquitismo, miastenia o hasta la muerte. Los signos más comunes de intoxicación por plomo son los gastrointestinales y sus síntomas comprenden anorexia, náusea, vómito, diarrea y constipación, seguida de cólicos. El plomo puede afectar la síntesis de la hemoglobina y el tiempo de vida media de los glóbulos rojos, como, al sistema nervioso central y periférico.

La contaminación por el plomo en los riñones produce cambios en las mitocondrias e inflamación de las células del epitelio del túbulo proximal y alteraciones funcionales que provocan aminoaciduria, glucosuria e hiperfosfaturia (síndrome de Fanconi).

Gran parte del plomo se obtiene por reciclado de chatarras como las placas de baterías y de las escorias industriales como soldaduras, metal para cojinetes, recubrimientos de cables, etc. La contaminación del agua por plomo no se origina directamente por el plomo, sino por sus sales solubles en agua que son generadas por las fábricas de pinturas, de acumuladores, por alfarerías con esmaltado, en fototermografía, en pirotecnia, en la coloración a vidrios o por industrias endémicas productoras de tetraetilo de plomo (se usa como antidetonante en gasolinas) y por algunas actividades mineras, etc.⁽¹⁷⁾

c) COBRE

El Cobre puede ser encontrado en el agua potable. La mayoría de los compuestos del Cobre se depositarán y se enlazarán tanto a los sedimentos del agua como a las partículas del suelo. Compuestos solubles del Cobre forman la mayor amenaza para la salud humana. Usualmente compuestos del Cobre solubles en agua ocurren en el ambiente después de liberarse a través de aplicaciones en la agricultura.

La gente que vive en casas que todavía tiene tuberías de cobre está expuesta a más altos niveles de Cobre que la mayoría de la gente, porque el Cobre es liberado en sus aguas a través de la corrosión de las tuberías.

Exposiciones de largo periodo al cobre pueden irritar la nariz, la boca y los ojos y causar dolor de cabeza, de estómago, mareos, vómitos y diarreas. Una toma grande de cobre puede causar daño al hígado y los riñones e incluso la muerte.⁽¹⁷⁾

2. CLASIFICACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA

La evaluación de la calidad de las aguas es una materia difícil, en la que se discute cuáles son los mejores indicadores para evaluar el estado del agua. El problema reside

fundamentalmente en la definición que se haga del concepto "calidad del agua". Se puede entender la calidad como la capacidad intrínseca que tiene el agua para responder a los usos que se podrían obtener de ella. O, como aquellas condiciones que deben mantenerse en el agua para que ésta posea un ecosistema equilibrado y que cumpla unos determinados Objetivos de Calidad que están fijados en las leyes ambientales.

3. CONTROL DE LA CALIDAD DEL AGUA

El control de calidad del agua consiste en un conjunto de actividades permanentes que pretenden garantizar la calidad de agua que sufre alteraciones cuando entra en contacto con aguas residuales de origen industrial o de uso doméstico, éstas determinarán el grado de contaminación, de acuerdo a la carga de sus solutos disueltos en ella. ⁽²⁹⁾

Conservar la salud de la población es una de las tareas primordiales del Estado. En Bolivia, la mayoría de la población habita en los centros urbanos de las capitales de departamento o provincias. Una gran amenaza a la población que vive en estos centros urbanos son las enfermedades relacionadas al consumo de agua de calidad no adecuada que determina la incidencia de enfermedades gastrointestinales, principalmente en niños y ancianos.

Según las normas legales referidas al control de calidad de las aguas servidas se debe seguir los siguientes lineamientos en la tabla 2:

Tabla N° 2 Reglamento de la Ley del Medio Ambiente y las EPSAs

TÍTULO	OBJETIVOS	MATERIA REGLAMENTADA	ÁMBITO DE APLICACIÓN (ACTIVIDAD)	APLICABILIDAD A LAS EPSAS
Reglamento en Materia de contaminación Hídrica (RMCH)	Prevenir la contaminación y controlar la calidad de los recursos hídricos	<ul style="list-style-type: none"> • Límites admisibles de contaminación hídrica. • Procedimientos técnicos administrativos • Descargas al alcantarillado y cuerpos de agua. • Monitoreo y evaluación de calidad hídrica. • Sistemas de tratamiento. • Reuso de aguas. • Prevención y control de la contaminación. • Conservación del recurso. 	<ul style="list-style-type: none"> • Agropecuaria. <ul style="list-style-type: none"> • Minería. • Industria. • Comercio. • Actividades domésticas y recreativas. 	<p>Es el reglamento más importante para las EPSAs. Su aplicación directa es en plantas de tratamiento de aguas residuales. Tema de uso de aguas crudas en fuentes relacionando a la clasificación de cuerpos receptores de agua.</p> <p>Este reglamento no requiere registros ni licencias, pero plantea como opción las autorizaciones en descargas de aguas residuales.</p>

Fuente: ANESAPA

3.1. LEY DEL MEDIO AMBIENTE N° 1333

En virtud a la reglamentación del Medio Ambiente en Bolivia, Ley N° 1333 y de acuerdo a su Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica en su artículo primero y segundo indican lo siguiente:

ARTÍCULO 1°: La presente disposición legal reglamenta la Ley del Medio Ambiente N° 1333 del 27 de abril de 1992 en lo referente a la prevención y control de la contaminación hídrica, en el marco del desarrollo sostenible.⁽¹⁶⁾

ARTÍCULO 2°: El presente reglamento se aplicará a toda persona natural o colectiva, pública o privada, cuyas actividades industriales, comerciales, agropecuarias,

domésticas, recreativas y otras, puedan causar contaminación de cualquier recurso hídrico.⁽¹⁶⁾

Además en su artículo cuarto explica la clasificación de la calidad de agua, que a continuación se describe:

ARTÍCULO 4º: La clasificación de los cuerpos de agua, según las clases señaladas en el Cuadro N° 1 - Anexo A del presente reglamento, basada en su aptitud de uso y de acuerdo con las políticas ambientales del país en el marco del desarrollo sostenible, será determinada por el MDSMA. (...).⁽¹⁶⁾

Esta clasificación general de cuerpos de agua; en relación con su aptitud de uso, obedece a los siguientes lineamientos expresados en la tabla 3:

Tabla N° 3 Clasificación general de cuerpos de agua

CLASE “A”	Aguas naturales de máxima calidad, que las habilita como agua potable para consumo humano sin ningún tratamiento previo, o con simple desinfección bacteriológica en los casos necesarios verificados por laboratorio.
CLASE “B”	Aguas de utilidad general, que para consumo humano requieren tratamiento físico y desinfección bacteriológica.
CLASE “C”	Aguas de utilidad general, que para ser habilitadas para consumo humano requieren tratamiento físico-químico completo y desinfección bacteriológica.
CLASE “D”	Aguas de calidad mínima, que para consumo humano, en los casos extremos de necesidad pública, requieren un proceso inicial de precedimentación, pues pueden tener una elevada turbiedad por elevado contenido de sólidos en suspensión, y luego tratamiento fisicoquímico completo y desinfección bacteriológica especial contra huevos y parásitos intestinales.

Fuente: Reglamentación de la Ley del Medio ambiente N° 1333.

Estas son las clases de cuerpo de agua que se consideran en Bolivia según la Ley 1333. A continuación en la tabla 4 se muestra el tipo de agua según el uso que se debe dar.

Tabla N° 4 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	SÍ	NO	NO	NO
	b) Tratamiento solamente físico y desinfección	No Necesario	SÍ	NO	NO
	c) Tratamiento físico - químico completo: coagulación, floculación, filtración y desinfección	No necesario	No necesario	SÍ	NO
	d) Almacenamiento prolongado o presedimentación, seguidos de tratamiento, al igual que c)	No necesario	No necesario	No necesario	SÍ
2	Para recreación de contacto primario: natación, esquí, inmersión.	SÍ	SÍ	SÍ	NO
3	Para protección de los recursos hidrobiológicos.	SÍ	SÍ	SÍ	NO
4	Para riego de hortalizas consumidas crudas y frutas de cáscara delgada, que sean ingeridas crudas sin remoción de ella.	SÍ	NO	NO	NO
5	Para abastecimiento industrial.	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ
6	Para la cría natural y/o intensiva (acuicultura) de especies destinadas a la alimentación humana.	SÍ	SÍ	sí	NO
7	Para abrevadero de animales.	NO (*)	SÍ	SÍ	NO
8	Para la navegación (***)	NO (**)	NO	SÍ	SÍ

Fuente: INFORME/DCA – UPPA N° 569/2009⁽³⁷⁾

(SI) Es aplicable, puede tener todos los usos indicados en las clases correspondientes (*) No en represas usadas para abastecimiento de agua potable. (**) No a navegación a motor. (***) No aplicable a acuíferos.

3.1.1. PARÁMETROS DE CONTROL DE CALIDAD DEL AGUA

Los parámetros de control de calidad de agua en Bolivia se rige por el Reglamento en materia de contaminación hídrica de la Ley del Medio Ambiente debiendo regirse los parámetros y sus respectivos valores límites aplicable para descargas industriales, mineras, hidrocarburíferas, detalladas a continuación.

Tabla N° 1 Límites permisibles para descargas líquidas en mg/l

NORMAS PARÁMETROS	PROPUESTA	
	DIARIO	MES
Cobre	1.0	0.5
Zinc	3.0	1.5
Plomo	0.6	0.3
Cadmio	0.3	0.15
Arsénico	1.0	0.5
Cromo+3	1.0	0.5
Cromo +6	0.1	0.05
Mercurio	0.002	0.001
Hierro	1.0	0.5
Antimonio (&)	1.0	
Estaño	2.0	1.0
Cianuro libre (a)	0.2	0.10
Cianuro libre (b)	0.5	0.3
pH	6.9	6.9
Temperatura (*)	±5° C	±5° C
Compuestos fenólicos	1.0	0.5
Sólidos Susp.Totales	60.0	
Colifecales (NMP/100 ml)	1000	
Aceite y Grasas (c)	10.0	
Aceite y Grasas (d)	20.0	
DB05	80.0	
DQ0(e)	250.0	
DQ0(f)	300.0	
Amonio como N	4.0	2.0
Sulfuros	2.0	1.0

Fuente: Ley del Medio Ambiente N° 1333.

- (*) Rango de viabilidad en relación a la Temperatura Media de cuerpo receptor
(c), (e) aplicable a descargas de procesos mineros e industriales en general
(d) y (f) Aplicable a descargas de procesos hidrocarbúricos
(&) En caso de descargas o derrames de antimonio iguales o mayores a 2500 Kg,
se deberá reportar a la autoridad ambiental.

Tabla N° 5 Valores máximos admisibles de parámetros en cuerpos receptores

N°	PARÁMETROS	UNIDAD	CANCE- RÍGENOS	CLASE "A"	CLASE "B"	CLASE "C"	CLASE "D"
1	pH		NO	6.0a8.5	6.0a9.0	6.0a9.0	6.0a9.0
2	Temperatura	° C		+/_3° C de receptor	+/_3° C de receptor	+/_3° C de receptor	+/_3° C de receptor
3	SÓLIDOS disueltos totales	mg/l		1000	1000	1500	1500
4	Aceites y Grasas	mg/l	NO	Ausentes	Ausentes	0,3	1
5	DBO	mg/l	NO	<2	<5	<20	<30
6	DQO	mg/l	NO	<5	<10	<40	<60
7	NMP colifecales NMP	N/100ml	NO	<50y<5en80%de muestras	<1000y <200en 80%de muestras	<5000y <1000en 80%de muestras	<5000y <5000en 80%de muestras
8	Parásitos	N/l		<1	<1	<1	<1
9	Color mg Pt/l	mg/l	NO	<10	<50	<100	<200
10	Oxígeno disuelto	mg/l	NO	<80%sat.	<70%sat.	<60%sat.	<50%sat.
11	Turbidez	UNT	NO	<10	<50	<100- <2000***	<200 - 10000***
12	SÓLIDOS sedimentarios	mg/l mg/l	NO	<10mg/l	30mg/l - 0.1 ml/l	<50mg/l - <1 ml/l	<100mg/l - <1 ml/l
13	Aluminio	mg/l		0.2c. Al	0.5c. Al	1.0c. Al	1.0c. Al
14	Amoniaco	mg/l	NO	0.05c. NH3	1.0c.NH3	2c. NH3	4c. NH3
15	Antimonio	mg/l	NO	0.01c. Sb	0.01c. Sb	0.01c Sb	0.01c Sb
16	Arsénico total	mg/l	SI	0.05c.As	0.05c.As	0.05c.As	0.1c.As
17	Benceno	mg/l	SI	2.0c.Benc.	6.0c.Benc.	10.0c.Benc.	10.0c.Benc.
18	Bario	mg/l	NO	1.0c. Ba	1.0c. Ba	2.0c. Ba	5.0c. Ba
19	Berilio	mg/l	SI	0.001c. Be	0.001c. Be	0.001c. Be	0.001c. Be
20	Boro	mg/l		1.0c. B	1.0c. B	1.0c. B	1.0c. B
21	Calcio	mg/l	NO	200	300	300	400
22	Cadmio	mg/l	NO	0,005	0,005	0,005	0,005
23	Cianuros	mg/l	NO	0,02	0,1	0,2	0,2
24	Cloruros	mg/l	NO	250c. Cl	300c. Cl	400c. Cl	500c. Cl
25	Cobre	mg/l	NO	0.05c. Cu	1.0c. Cu	1.0c. Cu	1.0c. Cu
26	Cobalto	mg/l		0.1c. Co	0.2c. Co	0.2c. Co	0.2c. Co
27	Cromo Hexavalente	mg/l	SI	0.05c. Cr Total	0.05c. Cr+6	0.05c. Cr+6	0.05c. Cr+6
28	Cromo Trivalente	mg/l	NO		0.6c. Cr+3	0.6c. Cr+3	1.1c. Cr+3
29	1.2 Dicloroetano	ug/l	SI	10,0	10,0	10,0	10,0
30	1.1Dicloroetileno	ug/l	SI	0,3	0,3	0,3	0,3
31	Estaño	mg/l	NO	2.0c. Sn	2.0c. Sn	2.0c. Sn	2.0c. Sn
32	Fenoles	ug/l	NO	1 c. C6 H5 OH	1 c. C6 H5 OH	5c. C6 H5 OH	10c. C6 h5 OH
33	Hierro Soluble	mg/l	NO	0.3c. Fe	0.3c. Fe	1.0c. Fe	1.0c. Fe
34	Fluoruros	mg/l	NO	0.6 - 1.7c. F	0.6 - 1.7c. F	0.6 - 1.7c. F	0.6 - 1.7c. F
35	Fosfato Total	mg/l	NO	0.4c. Ortofosfato	0.5c. Ortofosfato	1.0c. Ortofosfato	1.0c. Ortofosfato
36	Magnesio	mg/l	NO	100c. Mg	100c. Mg	150c. Mg	150c. Mg
37	Manganeso	mg/l	NO	0.5c. Mn	0.1c.Mn	0.1c.Mn	0.1c.Mn
38	Mercurio	mg/l	NO	0.001 Hg	0.001 Hg	0.001 Hg	0.001 Hg
39	Litio	mg/l		2.5c. Li	2.5c. Li	2.5c. Li	5c. Li
40	Niquel	mg/l	SI	0.05c.Ni	0.05c.Ni	0.5c. Ni	0.5c. Ni

Fuente: Ley del Medio Ambiente N° 1333.

...// Valores máximos admisibles de parámetros en cuerpos receptores							
Nº	PARÁMETROS	UNIDAD	CANCE- RÍGENOS	CLASE "A"	CLASE "B"	CLASE "C"	CLASE "D"
41	Nitrato	mg/l	NO	20.0c. NO3	50.0c. NO3	50.0c. NO3	50.0c. NO3
42	Nitrito	mg/l	NO	<1.0c. N	1.0c. N	1.0c. N	1.0c. N
43	Nitrógeno total	mg/l	NO	5c. N	12c. N	12c. N	12c. N
44	Plomo	mg/l	NO	0.05c. Pb	0.05c. Pb	0.05c. Pb	0.1c. Pb
45	Plata	mg/l	NO	0.05c. Ag	0.05c. Ag	0.05c. Ag	0.05c. Ag
46	Pentaclorofenol	mg/l	SI	5	10,0	10,0	10,0
47	Selenio	mg/l	NO	0.01c Se	0.01c Se	0.01c Se	0.05c Se
48	Sodio	mg/l	NO	200	200	200	200
49	SÓLIDOS flotantes			Ausentes	Ausentes	Ausentes	<ret.malla 1mm2
50	Sulfatos	mg/l	NO	300c SO4	400c. SO4	400c. SO4	400c. SO4
51	Sulfuros	mg/l	NO	0,1	0,1	0,5	0,1
52	S.A.A.M. (Detergentes)	mg/l		0,5	0,5	0,5	0,5
53	1.1.1.2 Tetracloroetano	mg/l	NO	10	10	10	10
54	1.1.1. Tricloroetano	mg/l	SI	30	30	30	30
55	Tetracloruro de Carbono	mg/l	SI	3	3	3	3
56	2.4.6. Triclorofenol	mg/l	SI	10	10	10	10
57	Uranio total	mg/l		0.02c. U	0.02c. U	0.02c. U	0.02c. U
58	Vanadio	mg/l	NO	0.1c. V	0.1c. V	0.1c. V	0.1c. V
59	ZincPLAGUICIDAS	mg/l	NO	0.2c. Zn	0.2c. Zn	5.0c. Zn	5.0c. Zn
60	Aldrin-Dieldrin @	ug/l	SI	0,03	0,03	0,03	0,03
61	Clordano @	ug/l	SI	0,3	0,3	0,3	0,3

Fuente: Ley del Medio Ambiente N° 1333.

4. EFECTOS DE LA CONTAMINACIÓN DE RÍOS Y LAGOS

La contaminación de los ríos y lagos deteriora los recursos bióticos, este efecto se podría atribuir al crecimiento poblacional del país, puesto que entre mayor cantidad de personas, más generación de basura.⁽¹⁸⁾

La contaminación de varios ríos y lagos se podría atribuir al crecimiento urbano de varios centros poblados, quienes contaminan a través de grasas, aceites del lavado de vehículos, aguas residuales, industriales crudas y tratadas, residuos sólidos y contaminación por agro-tóxicos vinculados con la actividad agropecuaria.⁽¹⁸⁾

En Bolivia los lagos sufren graves problemas de contaminación, debido a su escasa entrada y salida de agua. Por otro lado, los ríos, por su capacidad de arrastre y el movimiento de las aguas, son capaces de soportar mayor cantidad de contaminantes. Sin embargo, la presencia de tantos residuos domésticos, fertilizantes, pesticidas y desechos industriales, entre otros, altera la flora y fauna acuática.⁽¹⁸⁾

Los lagos son especialmente vulnerables a la contaminación. Hay un problema, la eutrofización, que se produce cuando el agua se enriquece de modo artificial con nutrientes, lo que produce un crecimiento anormal de las plantas. Los fertilizantes químicos arrastrados por el agua de los campos de cultivo pueden ser los responsables.

El proceso de eutrofización puede ocasionar problemas estéticos, como mal sabor y olor, y un acumulamiento de algas o verdín desagradable a la vista así como un crecimiento denso de las plantas con raíces, el agotamiento del oxígeno en las aguas más profundas y la acumulación de sedimentos en el fondo de los lagos.

En las aguas no contaminadas existe cierto equilibrio entre los animales y los vegetales, que se rompe por la presencia de materiales extraños. Así, algunas especies desaparecen mientras que otras se reproducen en exceso. Además, las aguas adquieren una apariencia y olor desagradables. Los ríos constituyen la principal fuente de abastecimiento de agua potable de las poblaciones humanas. Su contaminación limita la disponibilidad de este recurso imprescindible para la vida y causa alteraciones físicas en el agua mencionados en la siguiente tabla 6.

Tabla N° 6 Alteraciones físicas en el agua

ALTERACIONES FÍSICAS	CARACTERÍSTICAS Y CONTAMINACIÓN QUE INDICA
Color	El agua no contaminada suele tener ligeros colores rojizos, pardos, amarillentos o verdosos debido, principalmente, a los compuestos húmicos, férricos o los pigmentos verdes de las algas que contienen. Las aguas contaminadas pueden tener muy diversos colores pero, en general, no se pueden establecer relaciones claras entre el color y el tipo de contaminación.
Olor y sabor	Compuestos químicos presentes en el agua como los fenoles, diversos hidrocarburos, cloro, materias orgánicas en descomposición o esencias liberadas por diferentes algas u hongos pueden dar olores y sabores muy fuertes al agua, aunque estén en muy pequeñas concentraciones. Las sales o los minerales dan sabores salados o metálicos, en ocasiones sin ningún olor.
Temperatura	El aumento de temperatura disminuye la solubilidad de gases (oxígeno) y aumenta, en general, la de las sales. Aumenta la velocidad de las reacciones del metabolismo, acelerando la putrefacción. La temperatura óptima del agua para beber está entre 10 y 14°C. Las centrales nucleares, térmicas y otras industrias contribuyen a la contaminación térmica de las aguas, a veces de forma importante.
Materiales en suspensión	Partículas como arcillas, limo y otras, aunque no lleguen a estar disueltas, son arrastradas por el agua de dos maneras: en suspensión estable (disoluciones coloidales); o en suspensión que sólo dura mientras el movimiento del agua las arrastra. Las suspendidas coloidalmente sólo precipitarán después de haber sufrido coagulación o floculación (reunión de varias partículas)
Espumas	Los detergentes producen espumas y añaden fosfato al agua (eutrofización). Disminuyen mucho el poder autodepurador de los ríos al dificultar la actividad bacteriana. También interfieren en los procesos de floculación y sedimentación en las estaciones depuradoras.
Conductividad	El agua pura tiene una conductividad eléctrica muy baja. El agua natural tiene iones en disolución y su conductividad es mayor y proporcional a la cantidad y características de esos electrolitos. Por esto se usan los valores de conductividad como índice aproximado de concentración de solutos. Como la temperatura modifica la conductividad las medidas se deben hacer a 20°C.

Fuente: Ciencias de la tierra y el medio ambiente. Disponible en:
<http://www.tecnun.es/asignaturas/Ecologia/Hipertexto/11CAgu/100CoAcu.htm>

Uno de los principales problemas del agua es que es un vehículo de enfermedades, el agua de los ríos está polucionada. Hay veces que el agua que se consume no es potable o pura, por eso se encuentran bacterias y otros organismos como los colibacilos que pueden provocar perturbaciones digestivas más o menos graves, desde la simple diarrea a serias afecciones de las vías biliares y urinarias.⁽¹⁹⁾

También se presentan otros gérmenes, como las *salmonellas*, se difunden cada vez más por los ríos, ellos son los responsables de las fiebres tifoideas, paratifoideas y salmonelosis.

En realidad, los tratamientos encaminados a la esterilización del agua acaban rápidamente con estos gérmenes. No sucede lo mismo con los virus, sobre los cuales los procedimientos actuales (coloración y ozonización) tienen mucho menor efecto.

Sin embargo, los virus son muy numerosos en el agua bombeada por las estaciones depuradoras. El de la hepatitis viral (Ictericia infecciosa) es una de las más frecuentes: sus formas más benignas pueden manifestarse por algunas perturbaciones digestivas; la mortalidad permanecerá elevada en los enfermos de hígado y las personas de edad. Es un círculo fatídico: durante el periodo de incubación, el enfermo arroja gran número de virus. Se encuentran entonces en las aguas de las cloacas. Pasan enseguida a los ríos, y después, a través de las estaciones depuradoras vuelven a estar presentes en las aguas de consumo.

5. CONTAMINACIÓN DE AGUA DE RÍOS Y LAGOS EN BOLIVIA

La contaminación de las aguas ocasiona los mayores problemas de salud en la población boliviana. Se calcula que el 80% de las enfermedades en el país tienen origen en el consumo de aguas contaminadas, las diarreas infantiles son la principal causa de mortalidad.⁽²⁰⁾

El uso de aguas contaminadas, provenientes de la ciudad para regar lo cultivado, es muy común en las zonas aledañas a la ciudad de La Paz, dando lugar a enfermedades como salmonelosis, cólera, cisticercosis, amebas y otros.⁽²⁰⁾

El recurso agua, aunque es abundante en Bolivia, tiene una distribución tanto, espacial como temporal, problemática:⁽²⁰⁾

- Particularmente en el Altiplano y Valles, el uso y manejo de este recurso tiene una demanda conflictiva entre la agricultura, minería, pesca y suministro urbano.
- No se dispone de una política definida para la utilización y conservación de agua potable, alcantarillado, energía hidroeléctrica, control de inundaciones, con respecto al impacto sobre el medio ambiente.
- El sistema de eliminación de aguas servidas llega solamente al 22% de la población.

La actividad minera es predominante en la parte oeste de la cuenca, especialmente en Potosí, entre la subcuenca del río San Juan del Oro y la del río Tumusla, región en la que predominan las minas de estaño, plata, cinc, antimonio, oro, plomo y cobre.⁽²¹⁾

Los centros mineros ubicados en la cuenca del Pilcomayo son problemáticos desde una perspectiva ambiental. Las actividades mineras descargan residuos minerales, así como contaminantes derivados del tratamiento, los cuales son vertidos a los sistemas de drenaje del río. De esta manera, los metales pesados lixiviados y residuos minerales y químicos, productos del tratamiento, como el mercurio, ingresan al sistema hidrológico del río causando la contaminación del mismo.⁽²¹⁾

La movilidad limitada de metales pesados en aguas con pH casi neutro, como es el caso del Pilcomayo, previene que las concentraciones altas de metales avancen grandes distancias río abajo de las operaciones mineras. Sin embargo, la migración de estos contaminantes puede ocurrir a través de la bioconcentración y biomagnificación en organismos acuáticos.

Los desechos industriales y urbanos son dos fuentes principales de polución que

conducen a la contaminación biológica y química del río Pilcomayo. Las fuentes de éstas entradas son las ciudades (Potosí y Sucre) ubicadas en la cuenca las que contribuyen considerablemente a su contaminación por el descargue de basura y aguas servidas al río. Si bien se alivia este problema parcialmente por el tratamiento primario de desechos, no obstante, centros poblados más pequeños, todavía usan el río para evacuar la materia no tratada.

Otra de las ciudades de Bolivia que tiene serios problemas de contaminación es la ciudad de El Alto, donde el 40% de las industrias sobrepasan la norma en cuanto a temperatura, el 20% en cuanto a color, el 60% en cuanto a pH y en lo referido a los sólidos sedimentables. Sobre el porcentaje de materia orgánica o compuestos químicos, se puede establecer que el 80% de las industrias descargan compuestos químicos y un 20% materia orgánica.

Las curtiembres que se encuentran al margen del Río Seco, contribuyen materia orgánica y sales de cromo. La planta de tratamiento de Puchucollo no abastece a más del 40% del vertido de aguas residuales de la citada ciudad. Además la contaminación de Río Seco, que ha crecido a niveles alarmantes debido a la proliferación de las industrias. Esas aguas con metales cancerígenos están llegando hasta el lago Titicaca y dañando a poblaciones como Cohana. Un caso particular se dio en julio de 2003, dos jóvenes murieron con parasitosis en la bahía del Cohana, en el lago Titicaca, donde desembocan las aguas contaminadas del Río Seco, afluente que arrastra los desechos industriales y domiciliarios de El Alto.

Los pobladores de aquella comunidad están alarmados por los últimos fallecimientos, pero se sienten impotentes y resignados debido a que las aguas de ese lago son su fuente de vida. Con ellas crecen las plantaciones de totora que, a su vez, alimentan a las centenas de vacas que pastan en las orillas del Titicaca. Como ese pueblo vive del ganado vacuno no puede prescindir del líquido aunque esté contaminado.

Pero los riesgos son grandes. El Río Seco (que desemboca en ese pueblo a través de los ríos Pallina y Katari, a los que se une) arrastra grandes cantidades de metales cancerígenos como el Cromo (Cr₆) y el Plomo (Pb), según un estudio del Viceministerio de Industria.

5.1. CONTAMINACIÓN DEL AGUA EN LA CIUDAD DE LA PAZ

Los problemas de contaminación industrial manufacturera más importantes del departamento de La Paz, se producen en las ciudades de La Paz y El Alto donde se concentra la mayor parte de las industrias principalmente de los sectores alimenticio y textil. Los mayores problemas se ven reflejados en la contaminación de los cursos de aguas.⁽²²⁾

Se puede destacar que los principales problemas de contaminación hídrica se producen por que las descargas domiciliarias, industriales y hospitalarias son vertidas al Río Choqueyapu, Río Seco y sus ríos afluentes. Esto hace que exista el riesgo de deterioro de las zonas agrícolas ubicadas aguas abajo del Río Choqueyapu, así como también en la Cuenca del Lago Titicaca.⁽²²⁾

La contaminación se debe por las siguientes razones:

- Ninguna de las industrias ubicadas al Norte de La Paz cumple con los requisitos establecidos por la Ley 1333.
- El 100% de ellas tienen descargas con olores ofensivos, 58% vierten sus aguas con colores que sobrepasan la norma, 83% descargan sólidos sedimentables por encima de 1 ml/l. El 67% de las industrias descargan aguas sin oxígeno disuelto.
- El 10% sobrepasa el límite establecido para la DQO y el 83% para la DBO.

- En términos relativos, el 30% de estas industrias estaría provocando una contaminación de carácter bioquímico (materia orgánica) y el 70% restante contaminación química.

5.2. PROBLEMAS QUE CONTRIBUYEN A DEBILITAR LA GESTIÓN AMBIENTAL

Los problemas ambientales, sobre todo los que tienen que ver con la contaminación de agua, también se ven afectados por otras razones que aun cuando no son la causa u origen de la contaminación son factores que impiden que la gestión ambiental se lleve adelante para prevenir o controlar los efectos al medio ambiente de las actividades industriales. Algunos de estos problemas son:⁽²²⁾

- Falta de capacitación de recursos humanos (privados y públicos).
- Reglamentos con estándares irreales para nuestro país.
- Falta de determinar los instrumentos que permitan la aplicación de los incentivos.
- Administración Estatal. Muy burocrática, lenta, muchas autoridades, cambios frecuentes de personal, corrupción, etc.
- Falta de consultores con capacidad, conocimientos y calidad.
- No existen laboratorios acreditados.
- Falta de parques industriales.
- Falta de implementar programas para saneamiento de ríos.
- Falta de incentivos u otros mecanismos para cambiar las estructuras tradicionales de la gestión empresarial.
- Falta de transferencia de tecnología.
- Falta de recursos financieros para proyectos de reconversión industrial - ambiental.
- Inversiones altas para la implementación de tecnologías ambientales.
- Deficiencias en el medio ambiente de trabajo. Seguridad ocupacional.

- Falta de educación sobre potenciales riesgos.

6. CARACTERÍSTICAS DEL RÍO CHOQUEYAPU

La naciente del río Choqueyapu se encuentra a una altura de 5.500 metros sobre el nivel del mar y el río está formado por los deshielos del Chacaltaya y algunos nevados de La Paz, ahí nace el río Kaluyo.⁽⁵⁾

El Kaluyo ingresa a la ciudad de La Paz y en el Plan Autopista recibe el nombre de Choqueyapu hasta la zona de Lipari y de ahí cambia de nombre conocido como río La Paz después desemboca al sistema principal del Amazonas. Véase la figura 2.



Figura N° 2 Río Choqueyapu

Fuente: Periódico El Diario. <http://www.eldiario.net>⁽²³⁾

La ciudad de La Paz, cuenta con alrededor de 182 ríos subterráneos que reciben las descargas domésticas de las diferentes zona de la urbe, las que a su vez desembocan en el río Choqueyapu.⁽⁵⁾

El río Choqueyapu discurre con una orientación de norte a sur, tienen una longitud aproximada de 44 km, ingresa a la ciudad de La Paz a la altura de la zona de Achachicala, sus aguas en ocasiones son captadas para su tratamiento y destinadas para el abastecimiento de agua de zona central de la ciudad. Atraviesa zonas industriales, residenciales y comerciales, recibiendo descargas de aguas residuales sin ningún tratamiento, generando diferentes impactos ambientales y desemboca en las poblaciones de Aranjuez, Mecapama, el Palomar y Huayhuasi, donde su uso es aplicado al riego.⁽⁶⁾

El río se encuentra canalizado en todo su recorrido urbano, también existe un tramo embovedado en la zona Central o casco viejo de la urbe paceña. Asimismo, a lo largo de su recorrido, van concluyendo una serie de ríos tributarios, entre los más importantes están el San Pedro, Cotahuma, Orkojahuirá, Irpavi, Achumani y Huayñajahuirá.⁽⁶⁾

6.1. CONTAMINACIÓN DEL RÍO CHOQUEYAPU

Los principales ríos de La Paz y El Alto son los receptores de todos los desechos industriales y domiciliarios de ambas ciudades. En La Paz, el nivel de contaminación industrial del Choqueyapu ha descendido en los últimos 30 años debido a que las fábricas de la zona norte cerraron o se trasladaron a El Alto y no porque la Alcaldía haya ajustado los controles. En los tres últimos años, la comuna paceña no hizo nada para reducir la polución de las aguas que riegan los sembradíos de Río Abajo. Esas aguas con metales cancerígenos están llegando hasta el lago Titicaca y dañando a poblaciones como Cohana.⁽²⁴⁾

En los últimos 30 años, las industrias asentadas en la zona norte de La Paz cerraron o se trasladaron a El Alto. Así como en aquella ciudad las fábricas estaban asentadas en las márgenes del Choqueyapu. Los ríos atraen a las industrias como la miel a la mosca.

Los industriales prefieren instalarse cerca de estas corrientes porque les representan menores costos de operación: no necesitan instalar plantas de tratamiento de aguas ni utilizar sistemas de reciclaje de basura, sino que eliminan sus desechos arrojándolos directamente a los ríos. De esa manera contaminan los cursos de agua.⁽²⁴⁾

La Ley de Medio Ambiente establece que las industrias tienen que tratar sus aguas para reducir el grado de infestación antes de deshacerse de ellas. También indica que deben instalar rellenos sanitarios en sus plantas para retener los desechos tóxicos, mientras se construya un relleno industrial en la metrópoli.

Aproximadamente son 100 toneladas de residuos, desechos que se vierten a su cauce. De esta manera, se ha ido convirtiendo en una cloaca que recoge el agua del alcantarillado público, domiciliario, industrial, hospitalario, sin tratamiento previo. Además, diariamente escurren e infiltran líquidos tóxicos provenientes de basurales y cementerios clandestinos, los llamados lixiviados que son altamente perjudiciales para la población en general. Entre los contaminantes que ingresan al cauce del río se encuentran:

- Orina: 600.000 litros/día
- Excretas: 300 ton/día
- Gérmenes patógenos
- Metales
- Residuos y compuestos químicos
- Detergentes
- Tóxicos provenientes de las industrias: 700.000 litros

De acuerdo con los anteriores datos, los principales problemas de contaminación hídrica se producen porque las poblaciones cercanas, las industrias, los centros hospitalarios vierten sus residuos a lo largo de este río, que se ha convertido en una alcantarilla abierta que lleva los residuos aguas abajo. La raíz del problema no es solamente la falta de

cobertura de servicios si no también la educación ambiental de los ciudadanos que deja mucho que desear. Véase la figura 3.

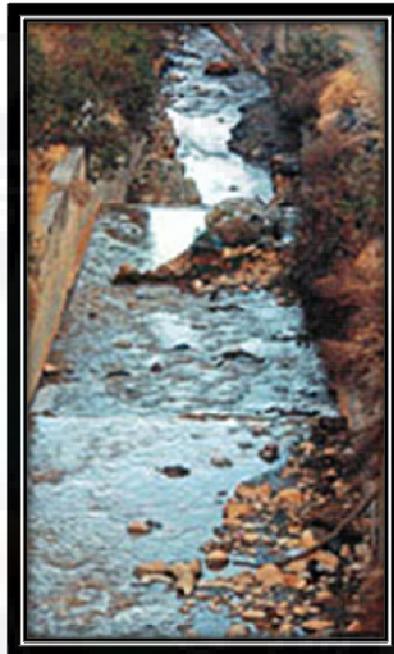


Figura N° 3 Contaminación del río Choqueyapu

Fuente: Periódico La Razón, 2010. ⁽²⁵⁾

Es preocupante y lamentable que a pesar de la importancia e incidencia de este recurso hídrico, sus aguas aún no hayan recibido ningún tipo de tratamiento a lo largo de su recorrido, ya que en río abajo se irrigan grandes extensiones de cultivos agrícolas, pudiendo influir negativamente en la salud de la población causando enfermedades, infecciones gastrointestinales, cólera, afecciones renales, malformaciones, alteraciones metabólicas, etc.

Es clara la toxicidad de las aguas ya que poco a poco se ha ido depredando las plantas de retama que solían crecer a las orillas del río. Son sólo algunos arbustos y hierbas malas

las que aprendieron a convivir y se adaptaron con la espuma, los basurales y la contaminación en general.

Los mayores contaminantes industriales del río son: Aguas del Illimani, con la expulsión de los lodos de sedimentación de su planta de Achachicala y la Cervecería Boliviana Nacional, contribuyendo a que el río sea la principal alcantarilla de la ciudad de La Paz.

Al inicio del río Choqueyapu no hay contaminación alguna, porque sus aguas nacen del nevado del Chacaltaya, aunque a medida que el cauce avanza por la urbe recibe diferentes descargas de desperdicios. En general, la ciudad de La Paz, cuenta con alrededor de 182 ríos subterráneos que reciben las descargas domésticas de las diferentes zona de la urbe, las que a su vez desembocan en el río Choqueyapu.

De acuerdo a un estudio elaborado por el Viceministerio de Industrias, se reveló que el afluente está 5 veces más contaminado que el río más sucio de las clasificaciones en el Reglamentación en Materia de Contaminación Hídrica de la Ley del Medio Ambiente, pese que la toxicidad disminuyó en los últimos años no debido a labores de prevención o mitigación, sino porque muchas industrias cerraron o se trasladaron a la ciudad de El Alto. La contaminación es evidentemente tóxica por la gran cantidad de productos químicos vertidos por las industrias y viviendas. Además de la contaminación biológica causada por bacterias y parásitos procedentes de alcantarillados. Véase a continuación la figura 4.



Figura N° 4 Contaminación del río Choqueyapu

Fuente: El Diario. <http://www.eldiario.net>.

En el marco del control de la contaminación ambiental, las industrias deben realizar un tratamiento de sus aguas antes de verterlas al río Choqueyapu, logrando un efluente poco contaminado o que se encuentre dentro de los límites permisibles, de acuerdo con lo dispuesto en la Ley de Medio Ambiente.⁽²⁶⁾

7. CARACTERÍSTICAS DEL MUNICIPIO DE MECAPACA

De acuerdo a datos oficiales del INE para el 2010 el Municipio de Mecapaca tendría aproximadamente 30.000 habitantes. La población concentrada en la localidad mayor esta alrededor del 10%. Tiene una cobertura de servicios deficientes: 20% tiene agua, 0% alcantarillado, 45% electricidad y 20% salud (siete postas de atención primaria). La incidencia de pobreza es del 90%.⁽²⁷⁾ (Ver Anexo 2).

Es la segunda sección de la Provincia Murillo del departamento de La Paz, se encuentra ubicada a 29 kilómetros de esta ciudad, al norte limita con Municipio de la Paz, al sur con las Provincias de Aroma y Loayza y al este con el Municipio de Achocalla, su topografía es montañosa con quebradas pronunciadas que se precipitan sobre el río La

Paz. Actualmente está conformada por 49 comunidades y 3 cantones. El clima tiene diferencias estacionales marcadas, con una temperatura promedio de 18°C a 22°C, respecto a su organización de la población se tiene sindicatos y juntas vecinales.



Figura N° 5 Municipio de Mecapaca

Fuente: <http://mapasdebolivia.net>.⁽²⁸⁾

Por su proximidad a la ciudad de La Paz, el conjunto de actividades económicas del Municipio está articulado a las necesidades del gran centro urbano. La producción agrícola que se practica en las riberas del río La Paz tiene cultivos de haba, arveja, tomate, zapallo, lechuga, acelga, repollo, perejil, coliflor, brócoli, cebolla, nabo, maíz, etc. La producción frutícola de manzanas, peras, ciruelos, duraznos, lujmas, tunas y de los tubérculos como la papa, oca y variedad de flores. La actividad pecuaria es limitada con crianza de ganado lechero y ovino.

La actividad agrícola se desarrolla en unas 4.000 hectáreas, los agricultores de Mecapaca no cuentan con un alto nivel tecnológico en los cultivos; producen más de 15 toneladas anuales de productos agrícolas que comercializan en el mercado de La Paz. Ver figura 6.



Figura N° 6 Cultivos en la localidad de Mecapaca

Fuente: El Diario. <http://eldiario.net>.

7.1. CONTAMINACIÓN DEL MUNICIPIO DE MECAPACA

Las localidades del Municipio de Mecapaca son el mayor centro de abastecimiento de verduras, hortalizas y frutas, sin embargo éstas utilizan para su riego las aguas provenientes del río Choqueyapu sin ser tratadas, lo cual puede incidir en la proliferación de enfermedades.

Los niveles de contaminación pueden variar en función a la época, sea húmeda o seca, lo cual se puede apreciar a simple vista, puesto que para los sistemas de riegos desvían las aguas turbias del río Choqueyapu hacia los sembradíos. Esta situación se ha convertido en un problema de contaminación hídrica.

8. ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DE AGUAS CONTAMINADAS

Las condiciones bacteriológicas del agua son fundamentales desde el punto de vista sanitario. La norma bacteriológica de calidad establece que el agua debe estar exenta de patógenos de origen entérico y parasitario intestinal que son los responsables de transmitir enfermedades como *salmonelosis*, *shigelosis*, *amebiasis*, etc.⁽³¹⁾

Los microorganismos indicadores de contaminación deben cumplir los siguientes requisitos: fáciles de aislar y crecer en el laboratorio; ser relativamente inocuos para el hombre y animales; y presencia en agua relacionada, cuali y cuantitativamente con la de otros microorganismos patógenos de aislamiento más difícil. Tres tipos de bacterias califican a tal fin:⁽³¹⁾

- Coliformes fecales: indican contaminación fecal.
- Aerobias mesófilas: determinan efectividad del tratamiento de aguas.
- Pseudomonas: señalan deterioro en la calidad del agua o una recontaminación.

Desde el punto de vista bacteriológico, para definir la potabilidad del agua, es preciso investigar bacterias aerobias mesófilas y, coliformes totales y fecales.

Las bacterias coliformes habitan el tracto intestinal de mamíferos y aves, y se caracterizan por su capacidad de fermentar lactosa a 35°C. Los géneros que componen este grupo son *Escherichia*, *Klebsiella*, *Enterobacter*, *Serratia*, *Citrobacter* y *Edwardsiella*. Todas pueden existir como saprofitas independientemente, o como microorganismos intestinales, excepto el género *Escherichia* cuyo origen es sólo fecal.⁽³¹⁾

Esto ha llevado a distinguir entre coliformes totales (grupo que incluye a todos los coliformes de cualquier origen) y coliformes fecales (término que designa a los

coliformes de origen exclusivamente intestinal) con capacidad de fermentar lactosa también a 44,5°C. La existencia de una contaminación microbiológica de origen fecal se restringe a la presencia de coliformes fecales, mientras que la presencia de coliformes totales que desarrollan a 35°C, sólo indica existencia de contaminación, sin asegurar su origen.

Los enterococos fecales cuyo desarrollo ocurre a 35°C se usan como indicadores complementarios de contaminación fecal. La validez de todo examen bacteriológico se apoya en una apropiada toma de muestra (recipiente estéril de boca ancha y metodología precisa), y en las adecuadas condiciones de transporte desde el lugar de la fuente de agua hacia el laboratorio (refrigeración, tiempo).⁽³¹⁾

El sistema de conservación de la muestra debe ser confiable, y la misma analizada inmediatamente o al cabo de un corto período entre extracción y análisis. El análisis cuantitativo de bacterias indicadoras de contaminación en una muestra de agua puede realizarse por dos metodologías diferentes:

- Recuento directo de microorganismos cultivables por siembra de la muestra sobre o en un medio de cultivo agarizado.
- Recuento indirecto (basado en cálculos estadísticos) después de sembrar diluciones seriadas de la muestra en medios de cultivos líquidos específicos. Se considera, al cabo de una incubación adecuada, los números de cultivos positivos y negativos. Esta metodología se denomina Técnica de los Tubos Múltiples y los resultados se expresan como número más probable (NMP) de microorganismos.
- Además de otros métodos, se puede recurrir a aquellos en los que se aplica biología molecular como por ejemplo, la técnica de hibridación in situ por fluorescencia (FISH) utilizando sondas marcadas en base a secuencia nucleotídica del gen 16S.

8.1. DETERMINACIÓN DE COLIFORMES TOTALES Y FECALES

Los Coliformes Fecales son un subgrupo de los Coliformes totales, capaz de fermentar la lactosa a 44° C en vez de 37 °C como lo hacen los totales. Aproximadamente el 95% del grupo de los Coliformes presentes en heces están formados por *Escherichia coli* y ciertas especies de *Klebsiella*. Ya que los Coliformes Fecales se encuentran casi exclusivamente en las heces de los animales de sangre caliente, se considera que reflejan mejor la presencia de contaminación fecal. Éstos últimos se denominan termotolerantes por su capacidad de soportar temperaturas más elevadas.⁽³²⁾

Esta es la característica que diferencia a Coliformes Totales y Fecales. La capacidad de los Coliformes fecales de reproducirse fuera del intestino de los animales homeotérmicos es favorecida por la existencia de condiciones adecuadas de materia orgánica, pH, humedad. Desde hace mucho tiempo se han utilizado como indicador ideal de contaminación fecal. Su presencia se interpreta como una indicación de que los organismos patógenos pueden estar presentes y su ausencia indica que el agua se halla exenta de organismos productores de enfermedades.

8.1.1. PROCEDIMIENTO

Se debe seguir el mismo método para la determinación de los dos tipos de Coliformes, lo único que variará será la temperatura de incubación de cada determinación, que para los Coliformes Totales será de 37 °C y para los fecales ha de ser de 44 °C.

8.1.2. PRUEBA PRESUNTIVA

Para determinar estos Coliformes se va a utilizar el medio de cultivo BGGB (dispuesto en tubo), que es un medio selectivo y de enriquecimiento ya que inhibe el crecimiento de microorganismos distintos de los del grupo de los Coliformes a la vez que permite que

éstos crezcan sin restricción, se distribuye el medio en nueve tubos (tres series de tres tubos) con diez mililitros cada uno de medio de cultivo y echando 10 ml de el agua a la primera serie de tubos, 1ml de agua a la segunda serie, y 0,1 ml a la tercera. Colocaremos en cada tubo una campana Durham para recoger el gas producido y al medio de cultivo se le habrá añadido un indicador ácido-base.⁽³²⁾

Estos tubos se incuban a la temperatura correspondiente según se trate de Coliformes Totales ó Fecales durante 24 horas. Los Coliformes son lactosa positiva, es decir, son capaces de fermentar lactosa con producción de ácido y gas, estos signos serán los que se buscarán.

La reacción será positiva cuando se produzca desprendimiento de gas en la campana Durham por lo menos en un 10% de su capacidad, y el medio vira a color amarillo debido a formación de ácido. Una reacción positiva por débil que sea, indicará la presencia de coliformes y habrá que hacer las pruebas confirmativas. Se aplicará la técnica del Número Más Probable (NMP).

9. ANÁLISIS DE METALES PESADOS EN AGUAS CONTAMINADAS

La presencia de metales en aguas potables, aguas servidas, efluentes industriales y aguas receptoras es materia de gran importancia debido a las propiedades de estos elementos. Los metales pueden afectar adversamente a los consumidores de agua, a los sistemas de tratamiento y a los sistemas biológicos de los cuerpos de agua.

Los metales pueden determinarse satisfactoriamente por absorción atómica y colorimetría, este último es de menor precisión y sensibilidad. La medición mediante absorción es preferible por su rapidez y porque evita el empleo de técnicas tediosas de separación para la eliminación de interferencias de otros metales. Cuando hay presencia

de materia orgánica en algunos casos es necesario un tratamiento preliminar para eliminar las interferencias del caso.⁽³³⁾

9.1. MUESTREO Y CUIDADOS ESPECIALES

Para la cuantificación de metales se debe tener especial cuidado en la toma de muestra, en el almacenamiento de las muestras, en la limpieza del material de vidrio y en la preparación de reactivos, con la finalidad de reducir al mínimo los errores.⁽³³⁾

9.2. LAVADO DEL MATERIAL DE VIDRIO

Los frascos utilizados para el almacenamiento de las muestras pueden ser de vidrio (cuarzo o borosilicato) o de polietileno, y deben ser lavados y enjuagados de la siguiente manera:

- Lavar con solución de detergente especial, para limpieza de material de vidrio.
- Enjuagar con abundante agua para remover los residuos de detergente.
- Colocar los frascos en una solución de ácido nítrico 1+1. Es aconsejable dejar los frascos en el baño de ácido durante 24 horas.
- Enjuagar con agua desmineralizada o redestilada libre de metales.
- Dejar secar naturalmente en el medio ambiente o en estufa destinada para este fin.

En general la vidriería utilizada en el análisis de trazas de metales tales como frascos para almacenar los reactivos, Erlenmeyer, pipetas, probetas y otros debe seguir el mismo procedimiento de limpieza y se aconseja que este material sólo se use en los análisis de metales por espectrofotometría de absorción atómica.

El uso de mezcla sulfocrónica puede ser útil sólo cuando los frascos tienen residuos de material orgánico difícil de eliminar, y en este caso, se debe hacer especial cuidado en la remoción total del cromo enjuagando con abundante agua.

9.3. PRESERVACIÓN DE MUESTRAS

Las muestras en las cuales se va a analizar metales totales deben ser acidificadas a pH inmediatamente después de tomada la muestra por adición de ácido nítrico de alta pureza para minimizar la absorción de metales en las paredes del envase. Normalmente un volumen de 1,5ml de ácido nítrico concentrado o 3ml de ácido nítrico 1 + 1 por litro de muestra es suficiente para alcanzar el pH deseado. En las muestras con elevada alcalinidad o con capacidad de tampón se debe agregar una mayor cantidad de ácido (+/- 5ml/l) después de la acidificación, la muestra debe mantenerse a 4°C para prevenir la pérdida de volumen por evaporación. Bajo estas condiciones las muestras que poseen algunos microorganismos de metales pueden ser estables hasta 6 meses con excepción del mercurio que debe ser analizado en un plazo de 14 a 28 días. Las muestras con muy bajos niveles de metales deben analizarse inmediatamente después de colectarse.

9.4. TRATAMIENTO PRELIMINAR DE MUESTRAS

Considerando que la espectrofotometría de absorción atómica o de emisión se usa para el análisis de metales en solución, muchas veces es necesario un tratamiento preliminar de las muestras que varía de acuerdo a la naturaleza de la muestra y la forma en que se encuentra el analito (metal total, disuelto, en suspensión o extractable en ácido).

9.4.1. DETERMINACIÓN DE METALES DISUELTOS

Para el análisis de metales disueltos, es necesaria una filtración previa de la muestra colectada, y no acidificada, se procede como sigue:

- Tomar un tubo de membrana con porosidad de 0,45 μm . y colocando en el equipo de filtración al vacío que puede ser de vidrio o de plástico previamente lavado como se indicó anteriormente. El filtro de membrana debe ser embebido con solución de ácido nítrico 1+1 o ácido clorhídrico y lavado con agua desmineralizadas antes de su uso. Esto se recomienda especialmente en los análisis electrotermodinámicos.
- Filtrar un volumen de 500ml a 1000 ml de la muestra no acidificada o a través del filtro de membrana, evitar los primeros 50 a 100 ml del filtrado para enjuagar el frasco de la muestra.
- Acidificar la muestra filtrada a pH de 2 por adición de ácido nítrico concentrado; cuando el filtrado se presenta limpio, analizar directamente. Digestar con ácido antes de analizar si la muestra está turbia, toma precipitados después de la acidificación.

9.4.2. DETERMINACIÓN DE METALES EN SUSPENSIÓN

Los metales en suspensión o no filtrables lo constituyen los elementos muestra no acidificada que no son retenidos por el filtro de membrana de 0,45 μm .

Proceder como sigue:

- Filtrar después de coleccionar una porción conveniente de muestra (100 ml a 500ml) no acidificada, utilizando un filtro de membrana de 0,45 μm , de fácil destrucción por la digestión ácida.
- Lavar el filtro con 100ml de agua desmineralizada.
- Digerir en medio ácido el filtro de membrana con el material retenido hasta obtener un residuo transparente.
- Si hay compuestos insolubles, filtrar nuevamente.

- Llevar la solución filtrada al volumen inicial agregando 100 a 500 ml de agua desmineralizada.
- Llevar una muestra en blanco a través de todo el procedimiento para detectar posibles interferencias presentes en el filtro de membrana usado.



V. DISEÑO METODOLÓGICO

En este apartado del estudio se explicó con detalle la manera en la cual se elaboró la investigación, es decir, se especificó el proceso de investigación y la metodología que se siguió para alcanzar los objetivos y responder a la problemática planteada.

1. LUGAR DE ESTUDIO

El lugar de estudio fue el Río Choqueyapu, ubicado en la ciudad de La Paz, tiene una longitud de 44 Km aproximadamente, su nacimiento está a una altura de 5.500 m.s.n.m., ingresa a la ciudad de La Paz por Achachicala, desemboca en las poblaciones de Aranjuez, Mecapaca, el Palomar y Huayhuasi, donde se usa el agua para el riego de cultivos.⁽⁶⁾

Para la toma de muestra se consideraron los siguientes puntos: Achachicala, Avenida del Ejército, Puente Amor de Dios, Puente Aranjuez, Puente Valencia, Puente Lipari, y las localidades de Mecapaca Lipari, Taipichullo, Carreras, Valencia, Mecapaca, Avircato, Palomar, Huayhuasi, Huaricana Alto y Bajo. Véase figura 7.



Figura N° 7 Río Choqueyapu

Fuente: El diario. Disponible en: <http://www.eldiario.net>

2. TIPO DE INVESTIGACIÓN

El tipo de estudio que se realizó fue en primera instancia un trabajo de campo, a partir del cual se hizo un análisis de laboratorio, experimental, con los datos obtenidos se hizo un análisis comparativo retrospectivo.

3. PERÍODO DE ESTUDIO

- **El trabajo de campo:** La presente investigación se llevó adelante durante la época húmeda, en un lapso de tres meses, se inició el 26 de octubre y se concluyó el 3 de diciembre de la gestión 2004, a través de la colecta de muestras de agua.
- **La parte experimental:** El análisis de los datos obtenidos se los procesó en el Laboratorio de la Facultad de Ciencias Farmacéuticas y Bioquímica de la Universidad Mayor de San Andrés. Finalmente, se realizó la comparación de los datos de las gestiones 2004 (elaboración propia) y 2005, 2006 y 2010 (Honorable Alcaldía de La Paz).

4. PUNTOS DE MUESTREO

Para la toma de muestras se desarrolló un sistema de muestreo compuesto por cuatro grandes etapas, para cada punto se tomó un pool de muestras, como se explica a continuación:

- **Primera etapa:** Se consideró la parte inicial de la investigación porque fue el ingreso del río Choqueyapu (Achachicala).
- **Segunda etapa:** Se definió la segunda etapa al casco urbano de la ciudad de La Paz. (Av. del Ejército).

- **Tercera etapa:** La tercera etapa fueron lugares de la zona sur, por ser las últimas zonas pobladas de la ciudad de La Paz, donde se consideró 4 puntos de recogida de muestra (Puente Amor de Dios, Puente Aranjuez, Puente Lipari y Puente de Valencia).
- **Cuarta etapa:** Fue el desemboque del río Choqueyapu, en las localidades del Municipio de Mecapaca, donde se encontraban las zonas de producción agrícola. En esta etapa se tomó 10 puntos (Lipari; Taipichullo; Carreras; Valencia; Mecapaca; Avircato; Palomar; Huayhuasi; Huaricana alto y bajo).

De esta forma, se tomaron 16 puntos. Los cuales fueron codificados para un mejor manejo de la información. Véase la siguiente tabla 7.

Tabla N° 7 Ubicación de los 16 puntos de muestreo

CÓDIGO	UBICACIÓN DEL PUNTO
ACHACHICALA-1	Achachicala. (A la altura de la planta de tratamiento de agua EPSAS).
AV. DEL EJÉRCITO-2	Av. Del Ejército (A la altura del Campo ferial).
P. AMOR DE DIOS-3	Puente Amor de Dios (Zona Sur - Florida).
P. ARANJUEZ-4	Puente Aranjuez (Zona Sur - Aranjuez)
P. LIPARI-5	Puente Lipari (Ingreso a Lipari)
P. DE VALENCIA-6	Puente Valencia (Zona Sur - Valencia)
LIPARI-7	Lipari (Localidad de Lipari)
TAIPICHULLO-8	Taipichullo (Municipio de Mecapaca)
CARRERA-9	Carreras (Municipio de Mecapaca)
VALENCIA-10	Valencia (Municipio de Mecapaca)
MECAPACA-11	Mecapaca (Municipio de Mecapaca)
AVIRCATO-12	Avircato (Municipio de Mecapaca)
PALOMAR-13	Palomar (Municipio de Mecapaca)
HUAYHUASI-14	Huayhuasi (Municipio de Mecapaca)
HUARICANA-ALTO-15	Huaricana (Alto) (Municipio de Mecapaca)
HUARICANA-BAJO-16	Huaricana (Bajo) (Municipio de Mecapaca)

Fuente: Elaboración propia, en base a la recogida de datos.

Véase a continuación el mapa donde se encontraron cada uno de estos puntos de toma de muestra en la figura 8:

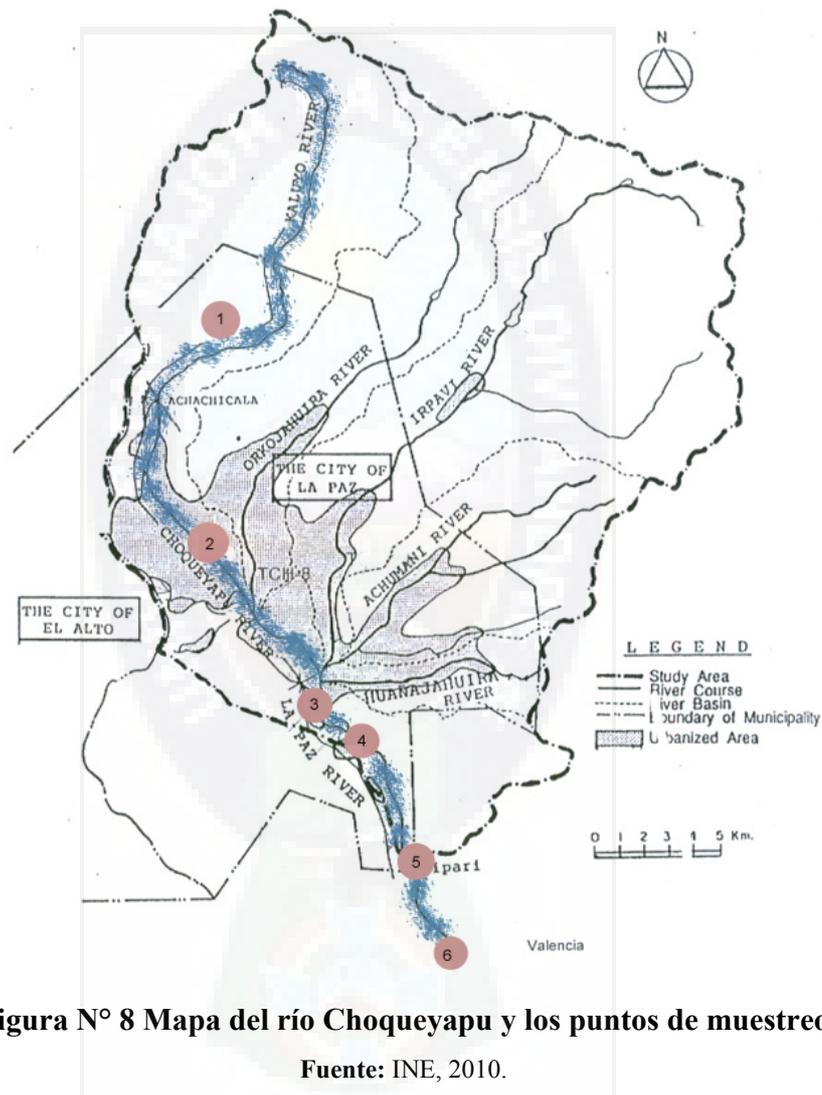


Figura N° 8 Mapa del río Choqueyapu y los puntos de muestreo

Fuente: INE, 2010.

En el mapa del río Choqueyapu, figura 8, se puede observar los primeros 6 puntos de toma de muestra. Que están dentro de la ciudad de La Paz. Los siguientes puntos corresponden a las localidades del Municipio de Mecapaca, véase la figura 9.

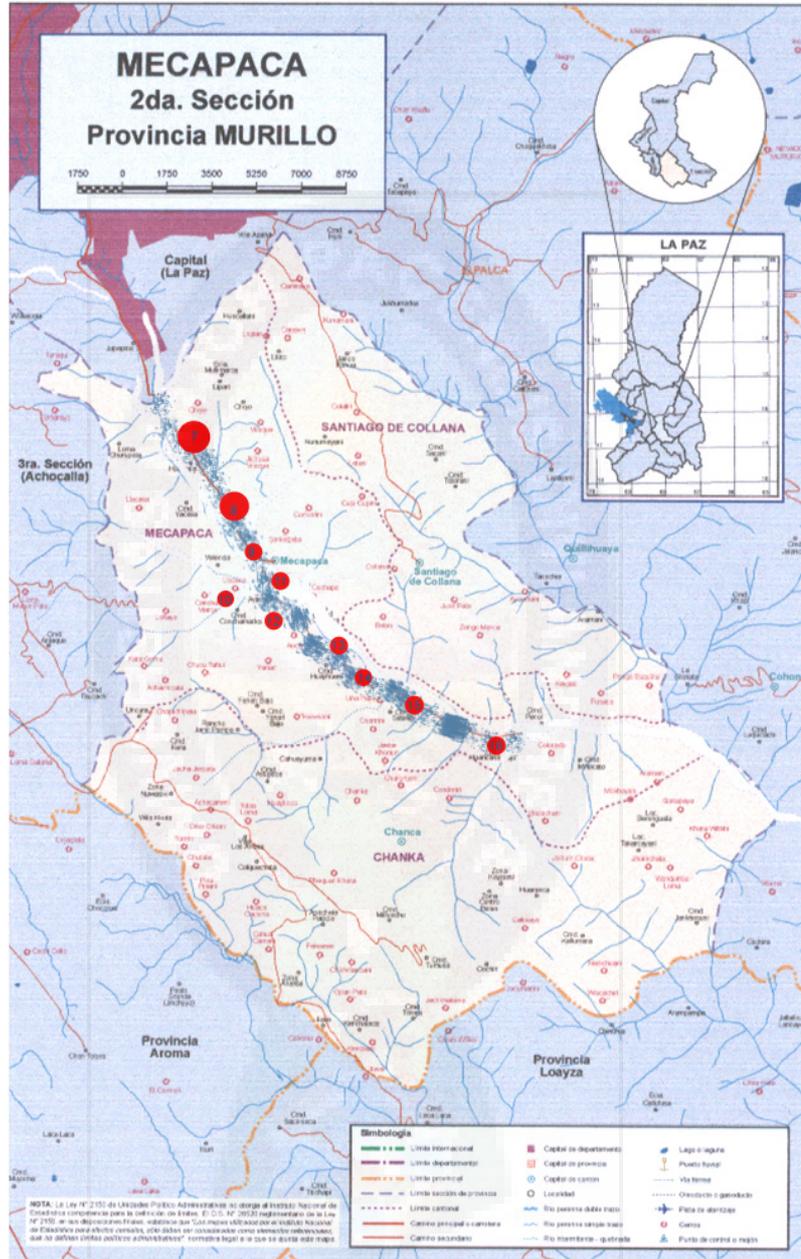


Figura N° 9 Mapa del Municipio de Mecapaca

Fuente: INE, 2010.

En el mapa del Municipio de Mecapaca, figura 9, se muestran los 10 puntos de recogida de datos.

4.1. MATERIALES

4.1.1. EQUIPOS

- Estufas
- Fotómetro de Absorción Atómica
- Autoclave
- Balanza

4.1.2. MATERIAL DE LABORATORIO

- Probetas
- Frascos de vidrio estériles
- Erlen – Meyer
- Tubos de ensayo
- Asas bacteriológicas
- Cajas Petri

4.1.3. REACTIVOS

- Caldo lactosado
- Agua peptona
- Calto tetratetonato
- Agar *Salmonella Shigella SS*
- *TSI*
- *LIA*
- *SIM*
- *Rvo. Kovac*
- *CS*
- *UREA.*

4.2. PROCESAMIENTO DE MUESTRAS

El pool de muestras que se tomó para el análisis fue representativo para poder determinar así la calidad microbiológica. Para su recogida se utilizó frascos estériles y se recolectó cantidades comprendidas entre 500 ml y 1000 ml de cada uno de los puntos mencionados de muestreo.

El pool de muestras obtenidas fue procesado inmediatamente con el fin de determinar el Número Más Probable (NMP) de coliformes totales, fecales y *Enterobacterias*; además del diagnóstico de metales pesados de acuerdo con los métodos estandarizados, antes que hayan transcurrido 6 horas, desde el momento de la toma de muestras. Véase la figura 10 donde se muestra gráficamente el procedimiento que se siguió.

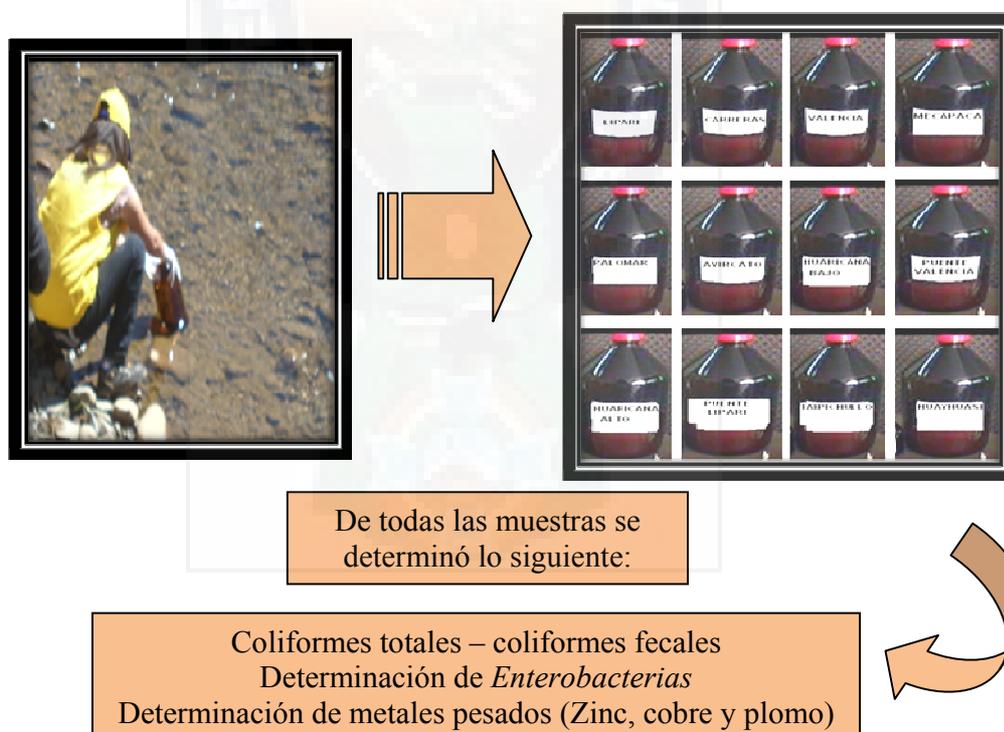


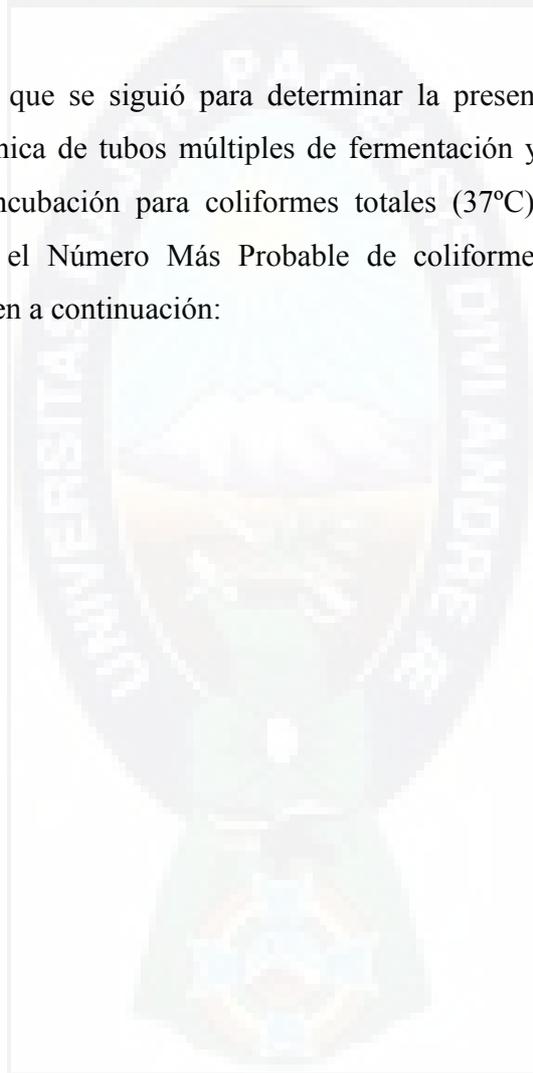
Figura N° 10 Toma de muestras para el análisis

Fuente: Elaboración propia, en base a la toma de muestras.

4.2.1. MÉTODOS

4.3. MÉTODO PARA LA DETERMINACIÓN DE COLIFORMES TOTALES, COLIFORMES FECALES

El procedimiento que se siguió para determinar la presencia de coliformes totales y fecales fue la técnica de tubos múltiples de fermentación y gas, solamente se varió la temperatura de incubación para coliformes totales (37°C) y Fecales (42°C), lo cual permitió obtener el Número Más Probable de coliformes, como se muestra en la figura 11 que siguen a continuación:



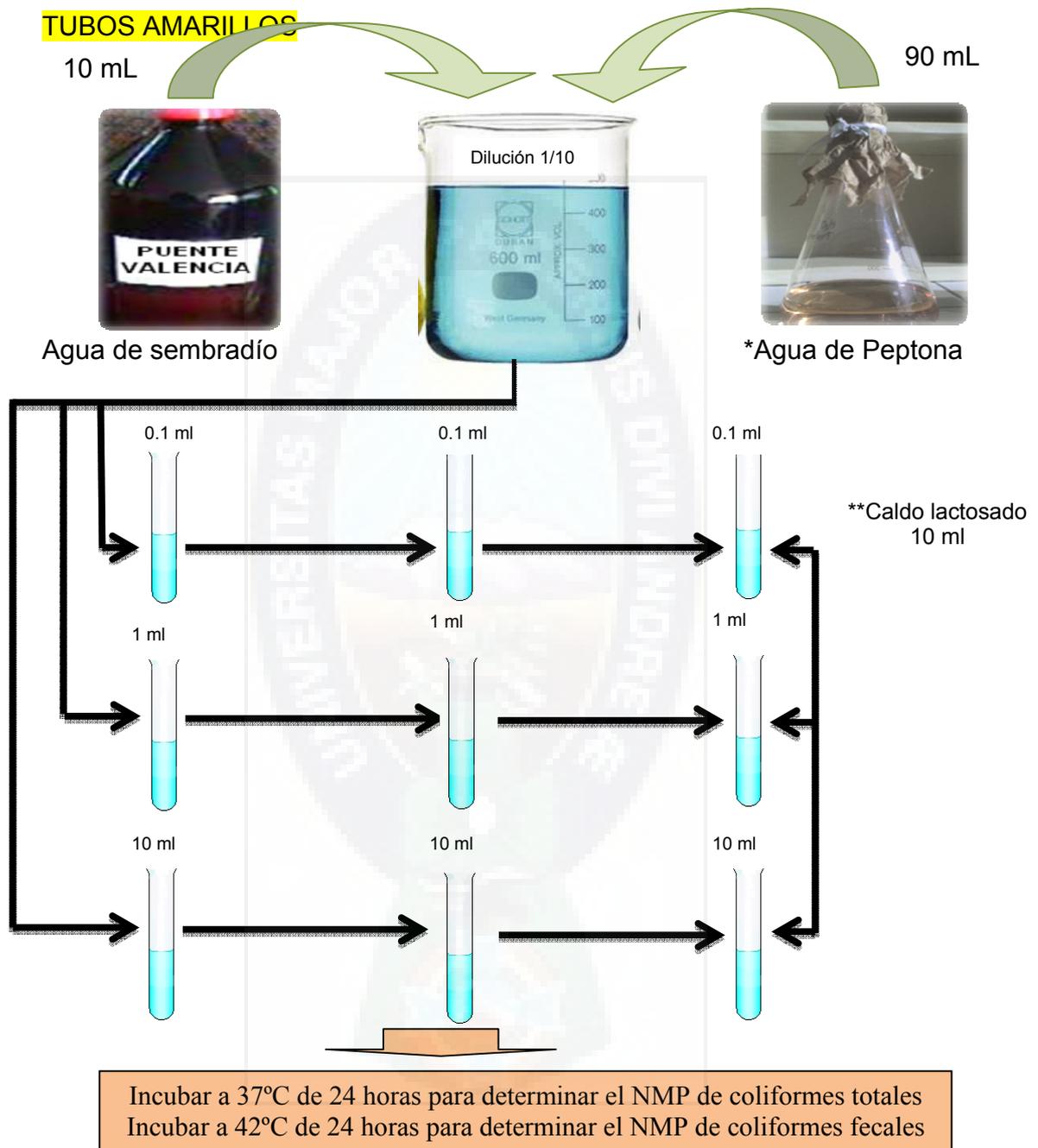


Figura N° 11 Determinación del Número Más Probable (NMP) para Coliformes totales y fecales

*Para realizar la dilución

**Medio de cultivo de los tubos múltiples para la determinación de NMP para coliformes totales y fecales

Fuente: Elaboración propia en base al procedimiento del NMP.

Para determinar los coliformes totales se hizo una dilución 1/10, con 90ml de agua peptonada y 10ml de agua recolectada de los puntos de muestreo; además en los nueve tubos (serie de tres tubos) se colocó 10ml de caldo lactosado. A la primera serie de 3 tubos se colocó 0,1ml de la dilución, a la segunda serie de tres tubos se colocó 1ml de la dilución y a la tercera serie se colocó 10ml de la dilución madre.

Posteriormente, se llevó a incubación a 37°C para determinar coliformes totales y a 42°C para coliformes fecales para obtener los resultados finales, estos resultados fueron llevados a la Tabla de cálculo de las diluciones (Véase tabla 12). Finalmente, al obtener los datos de la tabla de cálculo se llevó a la Tabla de Interpretación de resultados NMP. (Véase tabla 8).

Tabla N° 8 Cálculo de las diluciones

Concentración de tubos	Tubo 1	Tubo 2	Tubo 3	NMP
0,1 ml	+	+	-	2
1 ml	+		+	2
10 ml	+	+	+	3

Tabla N° 9 Interpretación de los resultados NMP

<p>El agua es considera potable si los valores obtenidos en los ensayos están dentro de los límites establecidos por la Ley. Las normas legales exigen: Aerobios totales: No existe límite legal pero los valores máximos recomendados son: Aerobios a 37°C: 10/ml. Aerobios a 22°C: 100 por ml. Coliformes: Coliformes totales: <1/100ml. Coliformes fecales: <1/100ml. Estreptococos fecales: <1/100ml. Clostridios sulfito reductores: <1/20ml.</p>					
<p>NMP (Número más probable) Con los intervalos de confianza del 95 por 100, entre los cuales pueden variar para diversas combinaciones de resultados positivos y negativos</p>					
Número de tubos que dan reacción positiva entre			Índice NMP/100ml	Límite de confianza del 95 por 100	
3 tubos de 10 ml	3 tubos de 1 ml	3 tubos de 0,1 ml		Límite inferior	Límite superior
0	0	1	3	<0,5	9
0	1	0	3	<0,5	13
1	0	0	4	<0,5	20
1	0	1	7	1	21
1	1	0	7	1	23
1	1	1	11	3	36
1	2	0	11	3	36
2	0	0	9	1	36
2	0	1	14	3	37
2	1	0	15	3	44
2	1	1	20	7	89
2	2	0	21	4	47
2	2	1	28	10	149
3	0	0	23	4	120
3	0	1	39	7	130
3	0	2	64	15	379
3	1	0	43	7	210
3	1	1	75	14	230
3	1	2	120	30	380
3	2	0	93	15	380
3	2	1	150	30	440
3	2	2	210	35	470
3	3	0	240	36	1300
3	3	1	460	71	2400
3	3	2	1100	150	4800

Fuente: Universidad de Salamanca. Departamento de microbiología y genética. (2009).⁽³⁴⁾

4.4. MÉTODO PARA LA DETERMINACIÓN DE *ENTEROBACTERIAS*

Para el diagnóstico microbiológico de *Enterobacterias* de los géneros *Salmonella* y *Shigella* se procedió de la siguiente manera:

- Se inició con la toma de una muestra líquida (que contiene 90 ml de agua peptonada al 0,1% y 10 ml del agua recolectada).
- De esta muestra líquida se tomó 1ml y se inoculó a 5ml de caldo tetrionato, el cual se incubó a 37°C- 24 horas.
- Se resembró en placas doble de agar *Salmonella* y *Shigella* y se incubó nuevamente 18 a 24 horas.

Una vez obtenido el desarrollo de colonias aisladas se realizaron las pruebas bioquímicas en Kliguer, LIA, Citrato de Simons, SIM, para determinar el género y la especie de estos microorganismos.

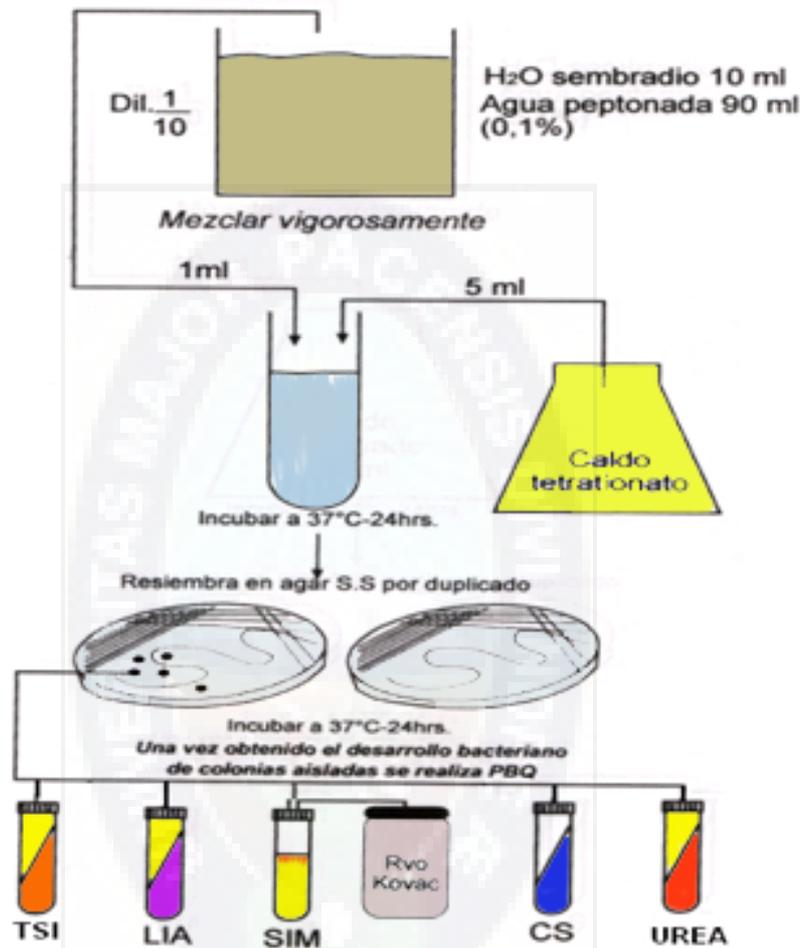


Figura N° 12 Diagnóstico de *Salmonella*, *Shigella*

Fuente: Elaboración propia.

Este es el procedimiento para la obtención de *Salmonella*, *Shigella*. Y la figura 13 muestra el procedimiento para la obtención de *Enterobacterias*.

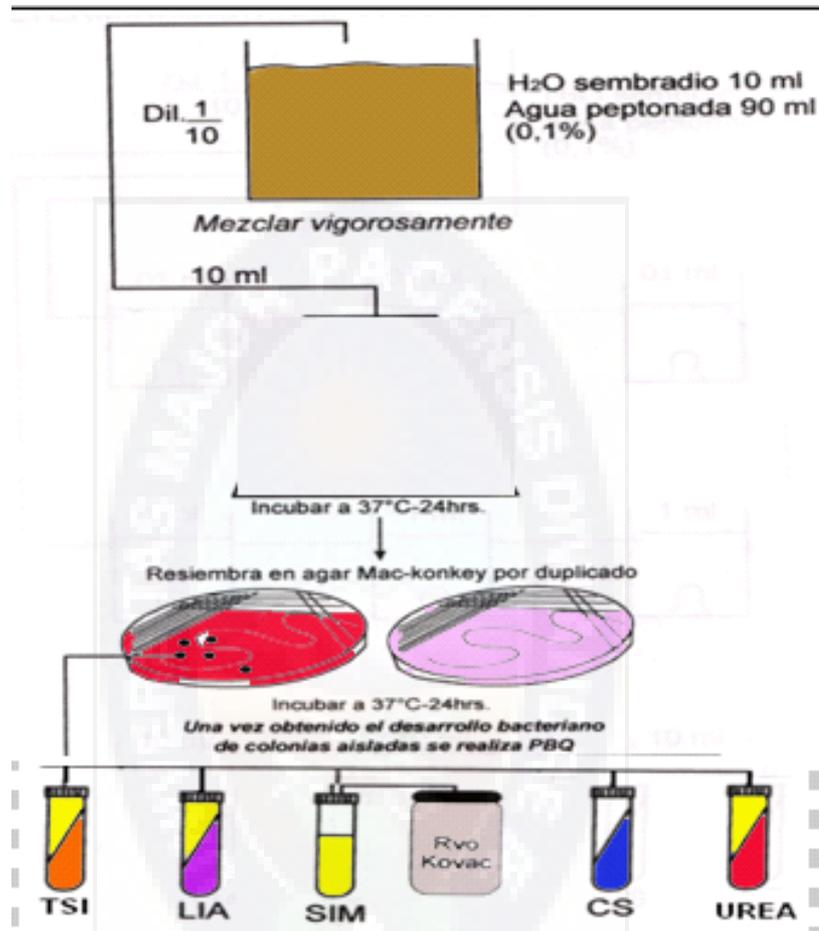


Figura N° 13 Diagnóstico microbiológico de otras *Enterobacterias*

Fuente: Elaboración propia.

ARREGLAR LA FIGURA PONER UN MATRAZ CON CALDO LACTOSADO

4.5. MÉTODO PARA LA DETERMINACIÓN DE METALES PESADOS POR ABSORCIÓN ATÓMICA

Para la determinación de metales pesados se procedió como se explica a continuación.

4.5.1. PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

El pool de muestras de agua se filtró para que no haya restos de sólidos, también se acidificó con ácido nítrico, para llegar al pH deseado.

4.5.2. LECTURA DE ABSORCIÓN ATÓMICA (ESPECTROFOTOMETRÍA DE LLAMA)

- Una vez acidificadas las muestras se realizaron las respectivas lecturas en el equipo de Absorción Atómica para medir el nivel de zinc, cobre y plomo.



Figura N° 14 Equipo de Absorción Atómica

Fuente: Laboratorio de la Facultad de Ciencias Farmacéuticas y Bioquímicas de la UMSA.⁽³⁵⁾

VI. DISCUSIÓN

La investigación realizó un análisis de los datos obtenidos por el presente estudio (2004) y los estudios que realizaron en la Honorable Alcaldía Municipal (2005, 2006 Y 2010), porque el agua del río es usada para el riego debe cumplir con la Norma Clase “B”. Por lo tanto, el análisis que se realizó en el presente Estudio, fueron en base a estos parámetros.

Los resultados demostraron que el agua está contaminada, puesto que sobrepasaron los rangos permisibles, tanto en coliformes totales, fecales y *Enterobacterias*; asimismo se

identificó que existían niveles elevados de concentración de metales como zinc, plomo y cobre.



VII. RESULTADOS

Terminada la investigación, después de analizar los resultados se tuvo los siguientes datos:

1. RESULTADOS GENERALES

1.1. ESTABLECIMIENTO DE LA CONTAMINACIÓN BACTERIANA

A continuación, se presentan los datos obtenidos del análisis del agua durante un periodo de tres meses, con tomas en 16 puntos de recogida, en diferentes horarios. Véase la tabla 10.

Tabla N° 10 Contaminación coliformes totales, fecales y *Enterobacterias* (2004)

MUESTRA	COLIFORMES TOTALES NMP/100 ml	COLIFORMES FECALES NMP/100ml	Valores permisibles Clase "B" <1000 y <200 en 80% de muestras	CONTAMINACIÓN ENTEROBACTERIAS
Achachicala-1	2,10E+02	2,10E+02	<200	<i>Pseudomonas</i> <i>Escherichia coli</i>
Av. del Ejercito-2	4,60E+02	2,40E+02	<200	<i>Escherichia coli</i> <i>Salmonella typhi</i>
P. Amor de Dios-3	2,40E+02	2,40E+02	<200	<i>Proteus morganii</i> <i>Klebsiella sp</i> <i>Shigella sp</i>
P. Aranjuez-4	2,40E+02	2,40E+02	<200	<i>E. aerógenes</i> <i>E. coli</i> , <i>Serratia marcences</i> , <i>Proteus morganii</i> , <i>Providencia</i> <i>Salmonella typhi</i> , <i>Pseudomona auriginosa</i>
P. Valencia-5	4,60E+02	2,40E+02	<200	<i>Salmonella sp</i> , <i>Citrobacter freundii</i> , <i>Proteus vulgaris</i> <i>Shigella sp</i> , <i>E. coli</i> , <i>E. aerógenes</i>
P. Lipari-6	4,60E+02	2,40E+02	<200	<i>Pseudomona auriginosa</i> <i>E. coli</i> , <i>Serratia marcences</i> , <i>Klebsiella osenae</i> .
Lipari-7	4,60E+02	2,40E+02	<200	<i>E.coli</i> , <i>Enterobacter sp</i> , <i>Shigella sp</i> , <i>Serratia marcences</i> , <i>Proteus morganii</i> , <i>Citrobacter freundii</i> .

...//Contaminación coliformes totales, fecales y <i>Enterobacterias</i> (2004)				
MUESTRA	COLIFORMES TOTALES NMP/100 ml	COLIFORMES FECALES NMP/100ml	Valores permisibles Clase "B" <1000 y <200 en 80% de muestras	CONTAMINACIÓN ENTEROBACTERIAS
Taipichullo-8	2,40E+02	2,40E+02	<200	<i>Salmonella typhi, Serratia marcescens, Klebsiella ozaenae, E. cloacae</i>
Carreras-9	2,40E+02	2,10E+02	<200	<i>Salmonella sp, Proteus Vulgaris, Enterobacter aerógenes</i>
Valencia-10	4,60E+02	2,40E+02	<200	<i>Salmonella typhimurim, Hafnia, Escherichia coli. Klebsiella oxicotoca</i>
Mecapaca-11	2,10E+02	2,10E+02	<200	<i>Pseudomona sp, E. coli, Salmonella sp Proteus vulgaris,</i>
Avircato-12	2,40E+02	2,10E+02	<200	<i>E.coli, Klebsiella oxytoca Shigella sp, E. aerógenes Enterobactercloacae.</i>
Palomar-13	2,40E+02	2,10E+02	<200	<i>Enterobacter, klebsiella Oxytoca, Proteus vulgaris, Providencia,</i>
Huayhuasi-14	4,60E+02	2,40E+02	<200	<i>Salmonella typhi, Citrobacter freundii, Proteus morganii, E. alcaligenes dispar.</i>
Huaricana Alto-15	2,10E+02	2,40E+02	<200	<i>S. paratyphi A, Proteus vulgaris, Klebsiella sp E. coli, E. aerógenes.</i>
Huaricana Bajo-16	2,40E+02	2,40E+02	<200	<i>E. coli, Serratia marcescens, Proteus morganii, Providencia</i>

Fuente: Elaboración propia en base a los datos obtenidos (2004).

Como se observa en la tabla 10 los coliformes totales y fecales, sobrepasan los parámetros permisibles para la Clase "B" de agua, que debería ser utilizada para el riego de sembradíos, pese a que el periodo de recolección de datos fue en época húmeda.

Estos resultados llaman la atención por la presencia de nivel elevado de contaminación bacteriana en el trayecto del río Choqueyapu, puesto que estas aguas contaminadas son utilizadas, por parte de los comunarios del Municipio de Mecapaca, para el riego de grandes extensiones de sembradíos de verduras y hortalizas, como lechugas, zanahorias, nabos, coliflores, brócolis, repollos, sin ningún tipo de tratamiento físico-químico y no

hay forma de revertir esta situación porque el río Choqueyapu se ha convertido en el desemboque de las aguas residuales, industriales, domésticas, hospitalarias, desechos de residuos sólidos, desechos tóxicos de la urbe paceña.

Es clara la toxicidad de las aguas del Choqueyapu a lo largo de su cauce ya que poco a poco se han perdido las plantas de retama que solían crecer a orillas del río. En la actualidad simplemente se puede observar hierba que se adaptó a convivir con la espuma, los residuos sólidos, líquidos y la contaminación en general.

Otra de las consecuencias de esta contaminación del río son las enfermedades gastrointestinales como la *Salmonelosis*, *Shigelosis*, entre otras, que pueden ocasionar el consumo de verduras y hortalizas contaminadas; incluso se podría desencadenar epidemias, porque gran parte de la población paceña se abastece de estos productos.

Otro factor que coadyuva a la proliferación de bacterias son los cambios de temperatura, que se presentan en la ciudad, puesto que existen días en los que la temperatura puede elevarse hasta 23°. Convirtiendo al Choqueyapu en un foco de infección permanente y en crecimiento, debido al incremento de la población, es decir, mayor eliminación de desechos contaminantes.

Esta situación se ha convertido en un problema que nunca acabará, puesto que se tienen proyectos y estudios, realizados por instituciones sin terminar y los que fueron terminados no fueron suficientes para que las autoridades logren que la población, las industrias, los hospitales, etc. cumplan con las normas vigentes.

Esta situación denota que no existen políticas gubernamentales para la no contaminación de las aguas de ríos y lagos, se nota la falta de programas de sensibilización para conocer los cuidados del medio ambiente, fundamentados en la Ley del Medio ambiente actual.

Por lo tanto, se hace necesario la construcción de plantas de tratamiento a lo largo del río Choqueyapu, con el fin de minimizar la contaminación.

1.2. ESTABLECIMIENTO DE LA CONTAMINACIÓN POR METALES PESADOS

Tabla N° 11 Contaminación por Metales Pesados

MUESTRA	ZINC mg/L	COBRE mg/L	PLOMO mg/L
Valores permisibles Clase "B"	0,2 mg/L	1 mg/L	0,05 mg/L
Achachicala-1	0,267	*Nd	Nd
Av. del Ejercito-2	0,354	0,253	0,461
P. Amor de Dios-3	0,610	0,190	0,210
P. Aranjuez-4	0,750	0,250	0,370
P. Valencia-5	0,318	0,240	0,327
P. Lipari-6	0,314	0,178	0,227
Lipari-7	0,984	0,248	0,227
Taipichullo-8	0,305	0,183	0,058
Carreras-9	0,206	0,223	0,448
Valencia-10	0,166	0,191	0,339
Mecapaca-11	0,096	0,205	0,301
Avircato-12	0,162	0,226	0,304
Palomar-13	0,218	0,196	0,448
Huayhuasi-14	0,533	0,177	0,326
Huaricana Alto-15	0,483	0,188	0,522
Huaricana Bajo-16	0,107	0,202	0,452

Fuente: Elaboración propia en base a los datos obtenidos (2004). *No detectado

Como se observa en la tabla 11, se muestran los resultados obtenidos sobre los niveles de metales pesados en el trayecto del río Choqueyapu. Los resultados muestran concentración de Zinc, Cobre y Plomo. Con relación a los datos de dichos metales se conoció que sobrepasan los rangos permisibles para la Clase "B" de agua, en la mayoría de los puntos de toma de muestras.

En algunos puntos se observan niveles bastante elevados, lo cual puede influir negativamente en la salud de la población paceña. La Agencia para la Protección Ambiental de los Estados Unidos (E.P.A.)⁽³⁶⁾ ha definido que estos metales pesados son posibles elementos peligrosos, lo cual significa que su peligrosidad es potencial y que deben mantenerse bajo control.

Las aguas del Choqueyapu reciben aportes de origen artificial de metales pesados como consecuencia de la actividad humana, la mayoría procedentes de procesos desarrollados en la minería y en la industria. Por ejemplo el plomo es procedente de la fabricación y desecho de insecticidas, pinturas, vidrios y gasolinas que contienen aditivos de plomo. En el caso del cobre se conoce que proviene del cableado eléctrico, componentes de muchas piezas de máquinas, utensilios de cocina, fabricación de insecticidas, pinturas, fertilizantes, aditivos alimentarios, colorantes. Y el zinc que se presenta en las aguas residuales no procede de una fuente específica, sino puede ser resultado de los neumáticos de coches, aceites de motores, fungicidas, insecticidas.

El principal problema y preocupación radica en que los metales pesados poseen una gran capacidad para adherirse a diversos tipos de cuerpos. Los procesos de absorción hacen que las verduras y hortalizas sufran retenciones. El proceso se agrava porque una vez incorporados en las verduras y hortalizas, los metales son capaces de reaccionar con una gran variedad de sustancias. Sus efectos tóxicos ocasionan un efecto genotóxico que puede ser catalogado en las siguientes categorías: (a) mutaciones genéticas; (b) aberraciones cromosómicas; (c) alteraciones en la síntesis y reparación de ácidos nucleicos; y (d) transformaciones celulares. Asimismo existen cambios teratogénicos y carcinogénicos.⁽³⁹⁾

Se conoce que existen una serie de vegetales, como las espinacas, remolachas, zanahorias, entre otros, que tienen la capacidad de captar estos metales pesados,

pudiendo convertirse en un peligro para la salud si son incorporados en la dieta alimentaria.

Los principales afectados de la ingesta de metales pesados son los niños y las personas de la tercera edad afectando su sistema inmunológico. Por tal razón, para minimizar este problema se tendría que tener en cuenta proyectos de control y tratamiento de aguas.



1.3. ANÁLISIS COMPARATIVO DE MUESTRAS BACTERIOLÓGICAS
Tabla N° 12 Análisis comparativo de muestras bacteriológicas (2004, 2005, 2006 y 2010)

MUESTRAS	Datos de obtención propia Gestión 2004		HAM Gestión 2005		HAM Gestión 2006		HAM Gestión 2010	Valores permisibles Clase "B" <1000 y <200 en 80% de muestras
	Coliformes Totales 100/ml	Coliformes Fecales 100/ml	Coliformes Totales 100/ml	Coliformes Fecales 100/ml	Coliformes Totales 100/ml	Coliformes Fecales 100/ml		
							Coliformes Totales 100/ml	
Alto Achachicala	2,1*10 ²	2,1*10 ²	2,0*10 ²	5,0*10 ¹	0	0	1,1*10 ⁴	<200
Ingreso Planta AISA			2,4*10 ³	2,0*10 ²	4,9*10 ⁴	3,5*10 ⁴	2,4*10 ⁴	<200
Descarga Matadero			2,4*10 ³	2,0*10 ²	1*10 ⁶	3*10 ⁵	2,4*10 ⁴	<200
Descarga Industrias Venado			9,0*10 ³	8,0*10 ³	3,7*10 ⁶	1,2*10 ⁶	2,4*10 ⁴	<200
Av. del Ejército	4,6*10 ²	2,4*10 ²	1,2*10 ⁸	1,7*10 ⁷	1,2*10 ⁵	7*10 ⁵	2,4*10 ⁴	<200
Río San Pedro			1,1*10 ⁸	1,4*10 ⁷	3*10 ⁶	1*10 ⁶	2,4*10 ⁴	<200
Río Cotahuma			4,6*10 ⁶	1,6*10 ⁷	5,5*10 ⁸	5*10 ⁶	2,4*10 ⁴	<200
Río Orkojahuirá			1,1*10 ⁸	1,7*10 ⁷	1,2*10 ⁸	1,1*10 ⁷	2,4*10 ⁴	<200
Surtidor Costanera			1,2*10 ⁸	1,4*10 ⁷	1,3*10 ⁸	1*10 ⁸	2,4*10 ⁴	<200
Río Irpavi			6,2*10 ⁷	5,8*10 ⁶	1,1*10 ⁸	4*10 ⁶	2,4*10 ⁴	<200
Río Huayñajahuira			4,7*10 ⁷	9,7*10 ⁷	7*10 ⁷	9*10 ⁶	2,4*10 ⁴	<200
Florida. Puente Amor de Dios	2,4*10 ²	2,4*10 ²	1,2*10 ⁸	1,8*10 ⁷	4*10 ⁷	1,6*10 ⁷	2,4*10 ⁴	<200
Puente de Aranjuez	2,4*10 ²	4,6*10 ²	1,3*10 ⁸	2,0*10 ⁷	1*10 ⁸	1,6*10 ⁷	2,4*10 ⁴	<200
Puente de Lipari	4,6*10 ²	2,4*10 ²	5,3*10 ⁷	9,4*10 ⁸	3*10 ⁷	1,3*10 ⁷	2,4*10 ⁴	<200
Puente de Valencia	2,4*10 ²	2,4*10 ²	4,0*10 ⁷	5,1*10 ⁸	2*10 ⁷	4*10 ⁸	2,4*10 ⁴	<200
Taipichullo	2,4*10 ²	2,4*10 ²						<200
Carreras	2,4*10 ²	2,1*10 ²						<200
Mecapaca	2,1*10 ²	2,1*10 ²						<200
Palomar	2,4*10 ²	2,1*10 ²						<200
Huayhuasi Alto	4,6*10 ²	2,4*10 ²						<200
Huayhuasi Bajo	2,4*10 ²	2,4*10 ²						<200

Fuente: Elaboración propia en base a los datos obtenidos (2004) y datos de la Honorable Alcaldía Municipal (2005, 2006 y 2010).

Muestra los coliformes totales
 Muestra los coliformes fecales

Como se observa en la tabla 12, existe datos de la gestión 2004 obtención propia; y datos del 2005, 2006 y 2010, proporcionados por el estudio que realizó la Honorable Alcaldía Municipal de La Paz. A partir de los cuales se hizo un análisis comparativo y así se determinó la historia ambiental de la contaminación por metales pesados.

Los datos denotan que durante el 2004, los resultados sobrepasaron los rangos permisibles para la Clase “B” de agua, y en las siguientes gestiones los resultados continuaron sobrepasando estos rangos, es decir, que después de 6 años los resultados no cambiaron, el agua del río Choqueyapu continúa contaminada, dato que llama la atención, puesto que a pesar de la existencia de la Ley 1333 del Medio ambiente, la contaminación no disminuyó, más al contrario en algunos puntos de recogida se observa el incremento de los niveles de contaminación.

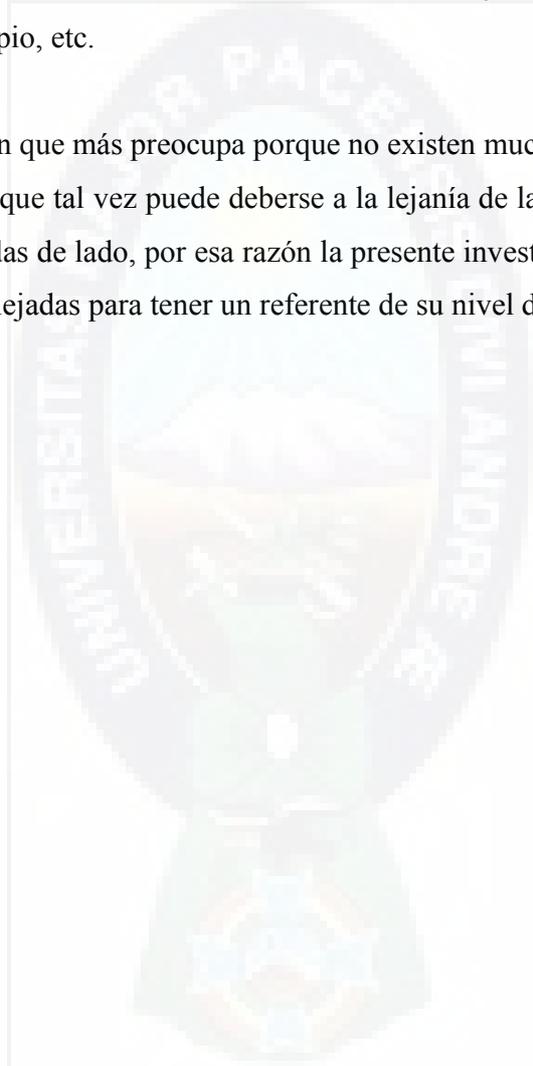
Esta situación se debe al hecho de que los ríos por su capacidad de arrastre y movimiento constante soportan mayor cantidad de contaminantes; el río Choqueyapu soporta los residuos de la ciudad de La Paz, alterando además la flora que bordea el río.

Lo cual demuestra que el tratamiento de agua para el riego de sembradíos ha recibido poca o casi ninguna atención, a pesar de ser un tema de vital importancia para el cuidado de la salud. Además las personas que viven en Río Abajo, también son afectadas porque tienen que soportar el hedor que emana el Choqueyapu.

Por otro lado, es necesario hacer notar que el estudio realizado por la Alcaldía de La Paz (2005, 2006 y 2010) sólo consideró como puntos de recogida de datos hasta el Puente a Valencia, dejando de lado las poblaciones de más abajo, que corresponden al Municipio de Mecapaca, donde el agua es usada para grandes extensiones de riego de los cultivos agrícolas.

En estos siguientes 6 puntos de recogida de muestras llevados adelante en el 2004, los resultados demostraron que también se sobrepasaron los rangos permisibles para clase “B” establecidos por la norma. Esta es la zona donde el agua es usada para el riego de cultivos de árboles, frutales, verduras de tallo corto y de consumo en crudo como lechuga, perejil, apio, etc.

Esta es la situación que más preocupa porque no existen muchos estudios que consideren estas localidades, que tal vez puede deberse a la lejanía de las mismas y que por lo tanto están siendo dejadas de lado, por esa razón la presente investigación registró datos de las localidades más alejadas para tener un referente de su nivel de contaminación.



1.4. ANÁLISIS COMPARATIVO DE MUESTRAS DE METALES PESADOS

Tabla N° 13 Comparación de muestras de metales pesados

MUESTRAS	Datos de obtención propia Gestión 2004			HAM Gestión 2005			HAM Gestión 2006			HAM Gestión 2010		
	Zn	Cu	Pb	Zn	Cu	Pb	Cd	Fe	Cr	Zn	Cu	Pb
Valores permisibles Clase "B"	0,2 mg/L	1 mg/L	0,05 mg/L	0,2 mg/L	1 mg/L	0,05 mg/L	0,05 mg/L	0,3 mg/L	0,2 mg/L	0,2 mg/L	1 mg/L	0,05 mg/L
Achachicala	0,267	*Nd	Nd	0,630	<0,073	41,604	120,00	112,00	<200,00	0,494	0,062	**Na
Ingreso Planta AISA				0,620	<0,073	41,204	110,00	140,00	<200,00	0,251	0,015	Na
Descarga Matadero				2,781	<0,073	41,712	150,00	31,50	280,00	0,494	0,840	Na
Descarga Industrias Venado				10,32	4,712	39,789	440,00	50,00	460,00	5,081	3,903	Na
Av. del Ejército	0,354	0,253	0,461	10,46	0,746	41,204	150,00	22,00	680,00		0,025	
Río San Pedro				0,289	<0,073	38,584	110,00	16,60	330,00		0,012	
Río Cotahuma				0,366	<0,073	40,121	<50,00	376,00	380,00	Nd	0,050	Na
Río Orkojahuirá				0,290	<0,073	34,622	<50,00	26,60	260,00	Nd	0,010	Na
Surtidor Costanera				8,719	0,098	40,298	80,00	41,00	360,00	0,508	0,060	Na
Río Irpavi				0,528	<0,073	44,392	<50,00	86,00	210,00	Nd	0,108	Na
Río Huayñajhuira				0,247	<0,073	37,577	<50,00	8,00	280,00	Nd	0,042	Na
Florida. P. Amor de Dios	0,610	0,190	0,210	20,120	0,277	41,207	70,00	41,40	<200,00	0,114	0,073	Na
Puente de Aranjuez	0,750	0,250	0,370	22,350	0,208	41,312	50,00	35,90	360,00	0,169	0,084	Na
Población de Valencia	0,318	0,240	0,327	25,770	0,264	40,824	50,00	42,60	410,00	0,388	0,036	Na
Puente de Lipari	0,314	0,178	0,227	25,950	0,260	42,631	60,00	60,00	310,00	1,043	0,020	Na
Lipari	0,984	0,248	0,227									
Taipichullo	0,305	0,183	0,058									
Carreras	0,206	0,223	0,448									
Valencia	0,166	0,191	0,339									
Mecapaca	0,096	0,205	0,301									
Avircato	0,162	0,226	0,304									
Palomar	0,218	0,196	0,448				0,005	1	0,1			
Huayhuasi	0,533	0,177	0,326									
Huarcana Alto	0,483	0,188	0,522									
Huarcana Bajo	0,107	0,202	0,452									

Fuente: Elaboración propia en base a los datos obtenidos (2004) y datos de la Honorable Alcaldía Municipal (2005, 2006 y 2010).

*No detectado

**No analizado

En la tabla 13 se muestran los resultados de las gestiones 2004 (elaboración propia) y 2005 y 2010 proporcionados por la Alcaldía de La Paz, al respecto se puede afirmar que en todas las gestiones los resultados sobrepasaron los rangos permisibles para la Clase “B” de agua. Ante estos resultados se debe buscar proyectos para disminuir los niveles de metales pesados en el agua.

Sobre todo sorprende que los niveles de zinc y plomo durante la gestión 2005 se elevaron considerablemente en algunos puntos de recogida de datos, pero en niveles alarmantes, estas cantidades de metales pesados ocasionan problemas de salud sobre todo en niños y adultos mayores.

Por otro lado, es necesario hacer notar que en el estudio de la Alcaldía de La Paz, no se realizó la detección de cobre y plomo para la gestión 2006, pero si se obtuvieron resultados de Hierro, Cromo y Cadmio, las razones son desconocidas, pero si se realizó el análisis de otros metales pesados pero que no fueron considerados para el presente análisis puesto que la investigación se centró en conocer el nivel de zinc, cobre y plomo como metales pesados.

VIII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. CONCLUSIONES

Después de realizar el trabajo de campo, y el análisis se concluye en lo siguiente:

- Según los datos de la presente investigación (2004), la contaminación bacteriológica sobrepasó los rangos permisibles, en la mayoría de los puntos de recolección de muestra, especialmente en los puntos que corresponden a las localidades del Municipio de Mecapaca para coliformes totales y fecales. Como se explica a continuación:

Los resultados del análisis de coliformes totales en el trayecto del río Choqueyapu (octubre-diciembre) Achachicala se presentó $2,10E+02$ de coliformes totales; en las cercanías a la Av. del Ejército se presentó $2,10E+02$; en el Punte Amor de Dios se presentó $4,60E+02$; en el Puente de Aranjuez se presentó $2,40E+02$; en el Puente de Valencia se presentó $4,60E+02$; en el Puente de Lipari se presentó $4,60E+02$; en el Lipari se presentó $4,60E+02$; en Taipichullo se presentó $2,40E+02$; en Carreras se presentó $2,40E+02$; en Valencia se presentó $4,60E+02$; en Mecapaca se presentó $2,10E+02$; en Avircato se presentó $2,40E+02$; en Palomar se presentó $2,40E+02$; en Huayhuasi se presentó $4,60E+02$; en Huaricana Alto se presentó $2,10E+02$; en Huaricana Bajo se presentó $2,40E+02$.

- El punto de recogida de muestra que mostró mayor nivel de contaminación fue la Avenida del Ejército, esto puede ser debido a que en este lugar se concentran las mayores descargas de contaminación que pueden ser domiciliaria, industrial, hospitalaria entre otros.

Respecto a las *Enterobacterias* se observó la presencia de *Pseudomonas*; *Escherichia coli*; *Proteus morgani*; *Klebsiella sp*; *Salmonella tify*; *E. aerógenes*; *E. coli*, *Serratia marcences*; *Citrobacter freundi*; *Proteus vulgaris*; *Pseudomona auriginosa*; *E. cloacae*, a lo largo de la trayectoria del río Choquyapu.

- En el caso de los resultados del análisis de los metales pesados en la presente investigación (2004), se conoció que los puntos donde tuvieron mayor concentración el zinc fueron Lipari 0,984mg/L, seguido por el Puente de Aranjuez con 0,750mg/L y el Puente Amor de Dios con 0,610mg/L. en el caso del cobre los resultados muestran que están dentro de los rangos permisibles para clase “B”. finalmente, la mayor concentración de plomo se encontró en Huaricana Alto con 0,522mg/L, Huaricana Bajo con 0,452mg/L y Carreras con 0,448mg/L.

Respecto al punto donde hubo menor concentración de zinc fue Mecapaca con 0,096 mg/L. Para el caso del cobre fue Huaricana Alto con 0,188mg/l. Para el plomo se encontró la menor concentración en Taipichullo con 0,058mg/L.

- Por otro lado, se conoció que según los resultados obtenidos por la Honorable Alcaldía Municipal que realizaron al Río Choqueyapu, durante el 2005, el nivel más altos de concentración de zinc se ubicó en el Puente Lipari con 25,925mg/L. respecto al cobre se encontró en Industria Venado con 4,712mg/L. En el Río Irpavi 44,392mg/L de concentración de plomo.

Durante la gestión 2006 no se analizó el zinc, cobre ni plomo, sin embargo se analizó el cadmio con un nivel elevado en Industrias Venado con 440,00mg/L. Respecto al hierro con 376,00mg/L. Finalmente, el cromo con 680,00 en la Av. del Ejército.

Para la gestión 2010 los resultados mostraron la concentración de zinc con 5,081mg/L en Industrias Venado. El cobre con 3,903 en Industrias Venado. El Plomo no fue analizado.

Es así que en la mayoría de los puntos de recogida de muestras los resultados sobrepasaron los rangos permisibles de la norma para la clase “B” de agua. Poniendo en riesgo la salud de la población paceña, puesto que esta agua contaminada es utilizada para el riego de cultivos agrícolas de las localidades del Municipio de Mecapaca. La población más vulnerable de la contaminación son los niños y las personas mayores, y no debe dejarse de lado el mal aspecto y el hedor que presenta el río durante su trayectoria, que también se convierte en una situación negativa para la ciudad de La Paz.

Esta situación demuestra que no hubo tratamiento de aguas desde el 2004, donde los datos mostraban ya niveles de contaminación, las autoridades no pudieron cambiar mucho la situación, las aguas del río Choqueyapu continúan contaminadas, incluso en niveles más elevados a los del 2004. Los datos que más se elevaron son los que muestran la concentración de metales pesados como el plomo y el cobre. Entonces resultado de la investigación se determinó que debido a la gran cantidad de aguas residuales domésticas e industriales sin tratamiento que se desechan al río, hacen que el agua del río Choqueyapu esté contaminada por coliformes totales, fecales, *Enterobacterias* además de la concentración de metales pesados como zinc, plomo y cobre.

Esta realidad no es de extrañar puesto que es sabido que los problemas de tratamiento y control de agua para riego, tradicionalmente no han recibido atención y por lo visto se continúa sin prestarle la atención necesaria; situación lamentable, porque los directos perjudicados de esta contaminación es la población de la ciudad de La Paz.

Por lo tanto se considera que debería iniciarse proyectos de monitoreo de la calidad y tratamiento de agua para riego; consistente en la preparación de estudios de consultoría más específicos, que identifiquen los problemas más relevantes en los cultivos y las alternativas posibles de solución.

- Finalmente, se concluye que en la ciudad de La Paz hace falta el diseño de proyectos para la construcción de plantas de tratamiento y control de aguas contaminadas de ríos y lagos, por representar un peligro a la salud de las personas.

2. RECOMENDACIONES

Se realizan las siguientes recomendaciones:

- Se recomienda continuar con estudios sobre la contaminación del río Choqueyapu, que se inicien con la valoración desde la cabecera del río hasta las localidades de Mecapaca, que es la parte final del río; además extender los estudios a los demás ríos de la ciudad, puesto que en la actualidad se han convertido en aguas contaminadas peligrosas para la salud de la población.
- Se recomienda diseñar proyectos para la descontaminación del Choqueyapu, puesto que hoy en día es un foco de infección.
- Se recomienda la construcción de plantas de tratamiento para agua residual en la ciudad de La Paz.
- El hombre debe respetar la naturaleza, vivir en armonía, satisfacer sus necesidades sin descuidar las de las generaciones futuras.

BIBLIOGRAFÍA

- (1) MARTÍNEZ, Damary. Ecología, seres vivos, contaminación, agua, contaminantes, biológicos, desechos orgánicos, químicos y físicos. (2009). Disponible en: <http://www.contaminacionagua.htm>. Recuperado el: 18-10-11.
- (2) MATTOS R. Información Nacional sobre la gestión del Agua en Bolivia. (2000).
- (3) CORONADO, MOSCOSO, RUÍZ. Proyecto regional sistemas integrados de tratamiento y uso de aguas residuales en América Latina: realidad y potencial Convenio IDRC – OPS/HEP/CEPIS 2000-2002. Cochabamba Bolivia.
- (4) JICA. (1993). Análisis de calidad de aguas a lo largo de los más de 40 Kilómetros de río. (Desde Alto Achachicala hasta el Puente Lipari). Disponible en: URL: http://www.members.es.tripod.de/mediamb/contaminacion_informa_agua.html#CONTAMINACION.
- (5) GAIA Noticias. (2011). Río Choqueyapu requiere de tratamiento de aguas urgente, ante incremento de contaminación. Disponible en: <http://gaianoticias.com>. Recuperado el: 18-10-11.
- (6) GOBIERNO MUNICIPAL DE LA PAZ. Contaminación orgánica e inorgánica en la cuenca del río Choqueyapu. (2008).
- (7) OMS. Organización Mundial de la Salud. (2009).
- (8) s/a. Contaminación del agua. Disponible en: <http://ecologiayp.galeon.com/contagua.html>. Recuperado el: 18-10-11.
- (9) LÓPEZ, Ana. Contaminación del agua. Disponible en: <http://www.contamiagua.com>. Recuperado el: 177-10-11.

- (10) Tecno ingeniería HAVC S.A. Contaminación bacteriana. (s/f). Disponible en: http://www.tecnoingenieria.com.ar/proyectos-farmaceuticos/es/Informacion/Agua/247/Contaminaci%C3%B3n_bacteriana.htm. Recuperado en: 20-10-11.
- (11) MANUAL DE TÉCNICAS MICROBIOLÓGICAS PARA ALIMENTOS Y AGUAS. (1998). Instituto de Salud Pública de Chile.
- (12) KONEMAN. (1987). Diagnóstico de microbiología.
- (13) JAWETZ Melnick y Adelberg. (1992). Microbiología médica. Editorial MM. México DF.
- (14) Centro de recursos sindical sobre COPS. (2007). Los contaminantes orgánicos persistentes. Disponible en: <http://mi-estrella-de-mar.com>. Recuperado el: 18-10-11.
- (15) Contaminación química del agua. Disponible en: http://www.sagan-gea.org/hojared_AGUA/paginas/12agua.html. Recuperado el: 18-10-11.
- (16) Reglamentación de la Ley del Medio ambiente N°1333. Disponible en: http://www.oas.org/dsd/fida/laws/legislation/bolivia/bolivia_1333.pdf. Recuperado el: 20-10-11.
- (17) Water Treatment Solutions. Lenntech. Zinc. Disponible en: <http://www.lenntech.es/periodica/elementos/zn.htm#ixzz1diUWtJDR>. Recuperado el: 18-10-11.
- (18) ALVARADO, Edwin. (2009). Liga de Defensa Medioambiental (LIDEMA).

- (19) Ciencias de la tierra y el medio ambiente. Disponible en: <http://www.tecnun.es/asignaturas/Ecologia/Hipertexto/11CAgu/100CoAcu.htm>. Recuperado el: 20-10-11.
- (20) MONTES De OCA, Ismael. Recursos medio ambiente y desarrollo sostenible. (2006). Municipio de Mecapaca. Disponible en: <http://mapasdebolivia.net>. Recuperado el: 20-10-11.
- (21) REDES CHACO. Bolivia: La contaminación de los ríos. (s/f). Disponible en: http://www.redeschaco.org/index.php?option=com_content&view=article&id=130&Itemid=133. Recuperado el: 18-10-11.
- (22) s/a La Paz: Principales problemas de contaminación industrial en el departamento de La Paz, Bolivia. (2010). Disponible en: <http://www.bolivia-industry.com/sia/bolivia/datoscon/LaPaz.html>. Recuperado el: 18-10-11.
- (23) Periódico El Diario. Disponible en: <http://www.eldiario.net>. Recuperado el: 18-10-11.
- (24) CASTELLÓN, Juan René. Choqueyapu contaminación crónica. Organización Panamericana de la Salud. OPS. Disponible en: <http://www.ops.org.bo>. Recuperado el: 18-10-11.
- (25) Periódico La Razón, 2010.
- (26) Valdez J. BOL 39 - El Choqueyapu agoniza. (2010).
- (27) INE. Instituto Nacional de Estadística. (2010). Datos del Municipio de Mecapaca. Disponible en: <http://www.ine.gob.bo>. Recuperado el: 21-10-11.

- (28) <http://mapasdebolivia.net>.
- (29) ENESAPA. Asociación Nacional de Empresas e Instituciones de Servicio de Agua Potable y Alcantarillado. GTZ. Cooperación Técnica Alemana. (s/f). Control de calidad de aguas servidas industriales. Disponible en: <http://www.proopac.org/publicaciones/sm/Mod21.pdf>. Recuperado el: 20-10-11.
- (30) Ley del Medio Ambiente N° 1333.
- (31) APELLA, María y ARAUJO, Paula. (s/f). Microbiología de agua: conceptos básicos. Argentina. Disponible en: http://www.psa.es/webesp/projects/solarsafewater/documents/libro/02_Capitulo_02.pdf. Recuperado en: 20-10-11.
- (32) Análisis microbiológico del agua. Disponible en: www.unanleon.edu.ni/universitas/pdf. Recuperado el: 20-10-11.
- (33) Programa de Control de Calidad y Desarrollo de Laboratorios. (1995). Análisis de metales en agua potable y residual por espectrofotometría de absorción atómica. Perú Lima.
- (34) Universidad de Salamanca. Departamento de microbiología y genética. (2009).
- (35) Laboratorio de la Facultad de Ciencias Farmacéuticas y Bioquímicas de la UMSA.
- (36) EPA. Agencia para la Protección Ambiental de los Estados Unidos. Metales pesados en el agua. Disponible en: http://water.epa.gov/drink/contaminants/basicinformation/upload/Cromo-VI-enelaguapotable_QAs.pdf. Recuperado el: 22-10-11.

- (37) s/a. La industrialización en el planeta. Disponible en:
<http://www.industrializacion.com>. Recuperado el: 18-10-11.
- (38) INFORME/DCA – UPPA N° 569/2009
- (39) CODINA Escobar, Juan Carlos y PÉREZ García, Alejandro. Los metales pesados como polucionantes tóxicos. Disponible en:
<http://www.encuentros.uma.es/encuentros45/metales.html>. Recuperado el: 24-10-11.
- (40) APHA, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, American Public Health

GLOSARIO

AGUAS RESIDUALES CRUDAS:	Aguas procedentes de usos domésticos, comerciales, agropecuarios y de procesos industriales, o una combinación de ellas, sin tratamiento posterior a su uso.
AGUAS RESIDUALES TRATADAS:	Aguas procesadas en plantas de tratamiento para satisfacer los requisitos de calidad en relación a la clase de Cuerpo receptor a que serán descargadas.
CLASIFICACIÓN:	Establecimiento del nivel de calidad existente o el nivel a ser alcanzado y/o mantenido en un cuerpo de agua.
CONTAMINACIÓN DE AGUAS:	Alteración de las propiedades físico-químicas y/o biológicas del agua por sustancias ajenas, por encima o debajo de los límites máximos o mínimos permisibles, según corresponda, de modo que produzcan daños a la salud del hombre deteriorando su bienestar o su medio ambiente.
CUERPO RECEPTOR:	Medio donde se descargan aguas residuales crudas o tratadas. DBO5: Demanda Bioquímica de Oxígeno (en mg/l). Es la cantidad de oxígeno necesaria para descomponer biológicamente la materia orgánica carbonácea. Se determina en laboratorio a una temperatura de 20° C y en 5 días.
DESCARGA:	Vertido de aguas residuales crudas o tratadas en un cuerpo receptor. DQO: Demanda Química de Oxígeno (en mg/l). Cantidad de oxígeno necesario para descomponer químicamente la materia orgánica e inorgánica. Se determina en laboratorio por un proceso de digestión en un lapso de 3 horas.
EFLUENTE CONTAMINADO:	Toda descarga líquida que contenga cualquier forma de materia inorgánica y/u orgánica o energía, que no cumpla

	los límites establecidos en el presente reglamento.
EFLUENTE INDUSTRIAL:	Aguas residuales crudas o tratadas provenientes de procesos industriales.
EFLUENTES HOSPITALARIOS:	Descargas de aguas residuales crudas o tratadas procedentes de hospitales, clínicas o morgues.
EFLUENTE SANITARIO:	Aguas residuales crudas o tratadas provenientes del uso doméstico.
LÍMITE PERMISIBLE:	Concentración máxima o mínima permitida, según corresponda, de un elemento, compuesto o microorganismo en el agua, para preservar la salud y el bienestar humanos y el equilibrio ecológico, en concordancia con las clases establecidas.
RECURSO HÍDRICO:	Cuerpo de agua que cumple con los límites establecidos para cualesquiera de las clases A, B, C o D.
TRATAMIENTO:	Proceso físico, químico y/o biológico que modifica alguna propiedad física, química y/o biológica del agua residual cruda.

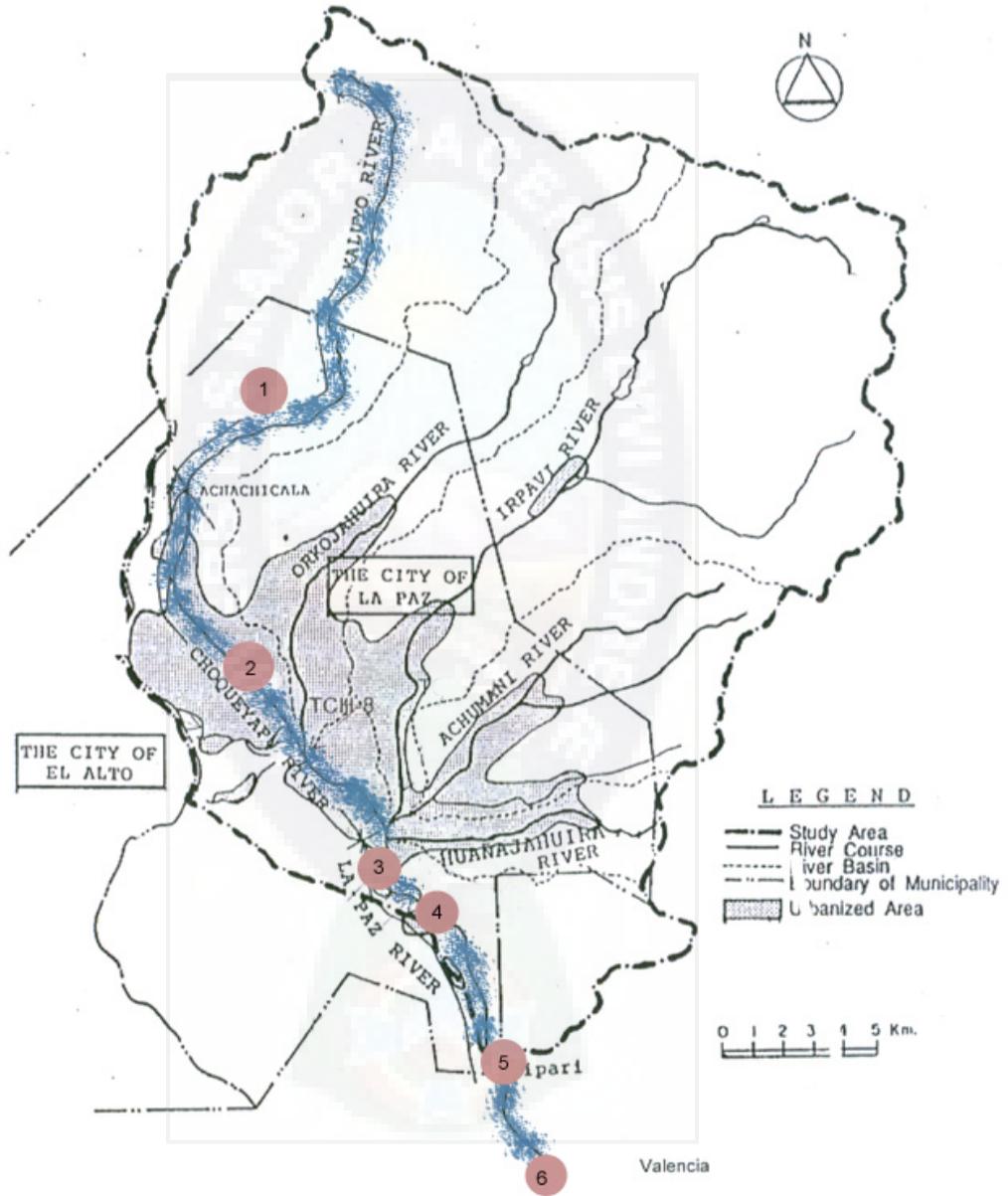


ANEXOS

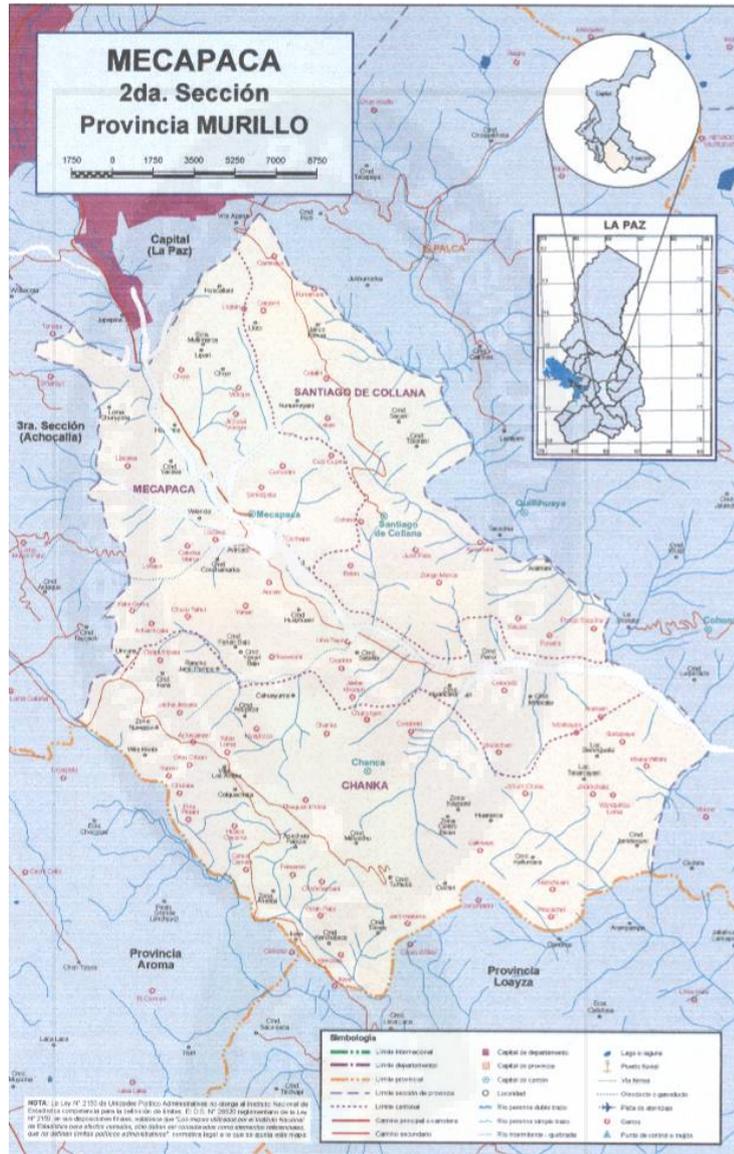
ANEXO 1
INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE MUESTRAS

Nº	LUGAR (LOCALIDAD)	HORA	CANTIDAD DE AGUA	PROCESAMIENTO DE LA MUESTRA
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				

ANEXO 2
MAPA DEL RÍO CHOQUEYAPU



ANEXO 3 MAPA DE MECAPACA



ANEXO 4
FOTOGRAFÍAS DEL RÍO CHOQUEYAPU



Fuente: Obtención propia



Fuente: Obtención propia



Sembradíos de las localidades del Municipio de Mecapaca regados con agua contaminada del río Choqueyapu



Sistemas de riego elaborado por los mismos comunarios, para usar el agua del río.