



## TÍTULO

**DETERMINACIÓN Y ANÁLISIS DE LAS FUNCIONES SOCIOECOLÓGICAS DE LA MICROCUENCA DEL RÍO CHOQUEYAPU (BOLIVIA) Y LOS SERVICIOS EN LOS QUE DERIVAN**

## AUTORA

**Mariana Inés Carrasco Arandia**

**Director  
Curso**

**Esta edición electrónica ha sido realizada en 2011**

Antonio Camacho

Máster en Medio Natural, Cambio Global y Sostenibilidad Socioecológica (2009)

**ISBN**

978-84-694-5070-3

©

Mariana Inés Carrasco Arandia

©

Para esta edición, la Universidad Internacional de Andalucía



## Reconocimiento-No comercial-Sin obras derivadas

### Usted es libre de:

- Copiar, distribuir y comunicar públicamente la obra.

### Bajo las condiciones siguientes:

- **Reconocimiento.** Debe reconocer los créditos de la obra de la manera especificada por el autor o el licenciador (pero no de una manera que sugiera que tiene su apoyo o apoyan el uso que hace de su obra).
  - **No comercial.** No puede utilizar esta obra para fines comerciales.
  - **Sin obras derivadas.** No se puede alterar, transformar o generar una obra derivada a partir de esta obra.
- 
- *Al reutilizar o distribuir la obra, tiene que dejar bien claro los términos de la licencia de esta obra.*
  - *Alguna de estas condiciones puede no aplicarse si se obtiene el permiso del titular de los derechos de autor.*
  - *Nada en esta licencia menoscaba o restringe los derechos morales del autor.*



UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DE  
ANDALUCÍA

# Determinación y análisis de las funciones socioecológicas de la microcuenca del río Choqueyapu y los servicios en los que derivan

---

Ing. Mariana Inés Carrasco Arandia

**Director: Dr. Antonio Camacho**

**Septiembre 2009 – Diciembre 2010**

**Máster en Medio Natural, Cambio Global y Sostenibilidad Socioecológica**

*A mi familia, amigos y personas especiales que estuvieron conmigo durante todo este proceso y siempre me brindaron su ayuda y apoyo incondicional.*

*A mis compañeros del Máster porque sin ellos esta experiencia no hubiera sido la misma.*

*A mi tutor y docentes que compartieron con todos nosotros su conocimiento y entusiasmo.*

## TA LA DE CONTENIDO

<b>CAPITULO I.</b> ....	4
<b>Generalidades</b> .....	4
1.1. <b>Introducción</b> .....	5
1.2. <b>Antecedentes</b> .....	6
1.3. <b>Planteamiento del problema</b> .....	6
1.4. <b>Justificación</b> .....	7
1.5. <b>Objetivos</b> .....	8
1.5.1. <b>Objetivo General</b> .....	8
1.5.2. <b>Objetivos Específicos</b> .....	8
1.6. <b>etodología</b> .....	8
<b>CAPITULO II</b> .....	10
<b>Descripción del área de estudio</b> .....	10
2.1 <b>Área de estudio</b> .....	11
2.2 <b>arco biofísico y ecológico</b> .....	13
2.2.1 <b>Geología y Topografía</b> .....	13
2.2.2 <b>Clima</b> .....	17
2.2.3 <b>Cubierta vegetal</b> .....	22
<b>CAPITULO III.</b> .....	32
<b>Estructura y biología del área de estudio</b> .....	32
3.1 <b>Calidad estructural de la microcuenca</b> .....	33
3.1.1 <b>Río Choqueyapu</b> .....	38
3.1.2 <b>Río Orkojahuirá</b> .....	39
3.1.3 <b>Río Irpavi</b> .....	39
3.2 <b>Calidad biológica</b> .....	40
3.2.1 <b>Río Choqueyapu</b> .....	43
3.2.2 <b>Río Orkojahuirá</b> .....	47
3.2.3 <b>Río Irpavi</b> .....	49
<b>CAPÍTULO IV.</b> .....	53
<b>Socioeconomía del área de estudio</b> .....	53
4.1 <b>arco socioeconómico</b> .....	54
4.1.1 <b>Población de la ciudad de La Paz</b> .....	54
4.1.2 <b>Uso del suelo</b> .....	55
4.1.3 <b>Perfil económico de la ciudad de La Paz</b> .....	56
<b>CAPÍTULO V.</b> .....	58
<b>Contaminación de la microcuenca del río Choqueyapu</b> .....	58

5.1	Legislación aplicable a Medio Ambiente.....	59
5.2	Estándares de calidad de las aguas.....	61
5.3	Indicadores de contaminación del río Choqueyapu.....	62
<b>CAPÍTULO VI.....</b>		<b>67</b>
<b>Fundamentos teóricos: funciones y servicios de los ecosistemas.....</b>		<b>67</b>
6.1	Funciones socioecológicas de los ecosistemas.....	68
6.2	Servicios de los ecosistemas.....	72
6.2.1	Servicios de los ecosistemas acuáticos.....	75
<b>CAPÍTULO VII.....</b>		<b>80</b>
<b>Resultados.....</b>		<b>80</b>
7.1	Funciones socioecológicas de la microcuenca del río Choqueyapu.....	81
7.2	Servicios socioecológicos del Río Choqueyapu.....	84
<b>CAPÍTULO VIII.....</b>		<b>88</b>
<b>Conclusiones y recomendaciones.....</b>		<b>88</b>
<b>Referencias.....</b>		<b>92</b>

# **CAPITULO I.**

## **Generalidades**

---

# Capítulo I.

## Generalidades

### 1.1. Introducción

Los ecosistemas abastecen a la humanidad de una gran cantidad de bienes de los que las personas hacen diferentes usos; a su vez, nos proveen también de una serie de servicios gratuitos, como la regulación del clima, procesado de contaminantes, depuración del agua y otros que contribuyen al desarrollo de la vida diaria y que, careciendo de precios asociados, tienen total incidencia en los componentes del bienestar humano (Gómez – Baggethun, 2007). La generación de bienes y la provisión de servicios de los ecosistemas dependen completamente de diferentes aspectos de la estructura y funcionamiento de los ecosistemas que proporcionan las condiciones adecuadas para su generación.

Una vez que los procesos que se desarrollan dentro de los ecosistemas son afectados por las actividades productivas, económicas, etc., llevadas a cabo por el hombre, se arriesga la capacidad de estos de proveer los servicios de los que la humanidad hace uso; es el caso de diferentes ecosistemas (acuáticos, terrestres y otros) que actualmente han disminuido su capacidad prestadora de servicios o éstos se ven tan afectados que, más que beneficiar a las poblaciones, arriesgan su economía y salud, al igual que la salud del ecosistema.

Los ecosistemas acuáticos, particularmente los continentales como los ríos, de los que el bienestar de diferentes poblaciones depende, son muy importantes para la economía y ecología. Al ser dañados se presentan problemas como la pérdida del control de inundaciones, disminución de la recarga de aguas subterráneas y otras. Además, la escasez de agua y la disminución al acceso al agua dulce se han convertido en un serio y creciente problema mundial, haciendo más difícil la producción de alimentos, dañando así la salud y economía de los pueblos (EM, 2005)

En el presente trabajo, se estudiará el caso de la microcuenca del río Choqueyapu en la ciudad de La Paz, Bolivia. La cuenca del Río La Paz, una subcuenca del altiplano boliviano, está compuesta, entre otros ríos, por el Río Choqueyapu y sus afluentes, que atraviesan la ciudad de La Paz, de oeste a este, con un recorrido aproximado de 44 Km desde su nacimiento. El mayor problema ecológico de este río es ser el principal receptor de todo tipo de aguas residuales de la ciudad. La sociedad y las autoridades son conscientes de la importancia de este sistema, tanto por su valor intrínseco, como por los servicios que presta para la ciudad y su población, pero se desconoce, de manera formal, los procesos, funciones y otros servicios importantes que deberían ser considerados por la población y los tomadores de decisiones al momento de determinar su gestión. El presente trabajo pretende determinar y analizar las principales funciones socioecológicas de la microcuenca del Río Choqueyapu y los servicios que brinda a la población de la ciudad de La Paz y al medio natural en general. Partirá de la descripción y análisis del marco biofísico, ecológico y socioeconómico, para terminar en las funciones y servicios del sistema, utilizando una metodología similar a la empleada por la

Evaluación de Ecosistemas del Milenio (EM): Los Ecosistemas y el Bienestar Humano: Humedales y Agua en 2005.

## 1.2. Antecedentes

En el área de estudio se llevaron y se siguen llevando a cabo diferentes estudios, a varias escalas, por diferentes instituciones (ONG's, agencias de cooperación, universidades, Gobierno Municipal, etc.), orientados principalmente a determinar únicamente el grado de contaminación y degradación del sistema; no así para determinar el efecto que la contaminación y degradación tiene y tendrá sobre los servicios socioecológicos brindados por el río Choqueyapu y sus afluentes, principalmente para las poblaciones locales tanto dentro como fuera de la ciudad de La Paz.

Actualmente, existen asociaciones civiles conformadas por personas de la comunidad, profesionales, ecologistas y otros, que llevan a cabo diferentes campañas para exigir a las autoridades el adecuado tratamiento y gestión de las aguas del río Choqueyapu, a través de la promulgación de ordenanzas municipales, decretos ministeriales y otros. Hasta la fecha, ningún esfuerzo se ha llevado a cabo por parte de las autoridades locales o nacionales para dar solución a la problemática de contaminación y degradación de este río y los servicios, cada vez más deteriorados, que brinda a la población.

Probablemente la aproximación metodológica para abordar el estudio, la determinación y el análisis de las funciones socioecológicas de sistemas de aguas continentales es la Evaluación de Ecosistemas del Milenio, particularmente la Evaluación de Humedales y Agua. En ella, de manera general, se describe la situación actual de los servicios de estos sistemas a nivel mundial y algunos criterios y análisis pueden adecuarse y aplicarse a la problemática del área de este estudio.

## 1.3. Planteamiento del problema

Desde la presentación del informe “Los límites del crecimiento” en 1972 por el Club de Roma en Estocolmo, en el que, a través de un programa informático de simulación se pudieron identificar los efectos que tendrían el crecimiento del desarrollo económico e incremento de la huella ecológica de manera exponencial sobre la capacidad del planeta de mantener la vida durante los próximos 100 años (Meadows *et. al*, 1972), se introdujo el término *Desarrollo Sostenible*<sup>1</sup> y la necesidad de incorporar a las políticas de los países un desarrollo consciente y acorde a los límites del planeta.

A partir de 1997, cuando se formaliza el término *Servicios de los ecosistemas* y se comprueba que nuestra permanencia en el planeta depende de muchos más esfuerzos y consideraciones por parte de los planificadores y tomadores de decisiones, crece la tendencia mundial de llevar

---

<sup>1</sup> Desarrollo Sostenible se entiende como “el desarrollo que busca satisfacer las necesidades de las generaciones presentes sin comprometer las posibilidades de las del futuro para atender sus propias necesidades” (Informe Brundtland, 1987). En este estudio no se discutirá este término, su evolución o efectividad como política de desarrollo. Se utiliza el término únicamente como referencia.

a cabo una planificación del desarrollo desde un enfoque ecosistémico, es decir, considerando los límites del ecosistema, su capacidad de sobreponerse a las perturbaciones a que son sometidos, su capacidad de absorber la contaminación y el carácter finito de los recursos naturales que sostienen la economía mundial (Montes, 2007).

En Bolivia, este enfoque se encuentra en una etapa muy inicial de concepción y, por diferentes situaciones sociales, políticas y económicas, no es considerado en las políticas y planes de desarrollo. Esto puede verse fácilmente en el caso de la microcuenca del río Choqueyapu, principal conjunto de cuerpos receptores de aguas residuales de la ciudad de La Paz y que además sirve de base para actividades económicas de sustento de un segmento de la población de la ciudad, donde las aguas de esta microcuenca se encuentran seriamente alteradas por las actividades humanas y el vertido de toda clase de contaminantes y residuos líquidos y que, sin ningún tratamiento o regulación, son utilizadas en la producción de productos agrícolas y pecuarios que luego son comercializados en los mercados de la ciudad y además, en planes y programas a corto y mediano plazo, las autoridades no consideran ni plantean solucionar el problema de degradación de esta microcuenca a fin de mantener las funciones de la misma ni los servicios en que estas derivan para la población de la ciudad.

A partir del marco expuesto, y teniendo en cuenta la urgencia de incorporar nuevas perspectivas de planificación en el desarrollo de la ciudad, al presente trabajo de investigación busca conocer el estado de las funciones del ecosistema y analizar los perjuicios que dicha degradación causa a la población de la ciudad de La Paz y también a las poblaciones aguas abajo, que con ello dejan de disponer de sus servicios.

#### **1.4. Justificación**

Con base en los documentos de la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio: “Los Ecosistemas y el Bienestar Humano: Síntesis” y “Los Ecosistemas y el Bienestar Humano: Humedales y Agua” (EM, 2005), que demostraron la necesidad y urgencia de cambiar la aproximación de las políticas de desarrollo, incorporando más y profundas consideraciones ecosistémicas (en cuanto a recursos hídricos para los fines de esta investigación) a fin de mantener los servicios de los ecosistemas que sirven de base para nuestro desarrollo, no solo económico, sino incluso social y cultural, es necesario demostrar, en el contexto local inicialmente, la necesidad de considerar acciones en el corto y mediano plazo que aseguren el mantenimiento de las funciones y servicios de los ecosistemas que benefician a la población.

Algunos estudios llevados a cabo en el área de estudio (Proyecto BOL 8 / 007: “Contaminación orgánica e inorgánica en la cuenca del río Choqueyapu” del Gobierno Municipal de La Paz, y el “Estudio para el control de la contaminación del agua de los ríos en la ciudad de La Paz” de la Agencia de Cooperación Internacional del Japón), ya bien han establecido que ésta se encuentra seriamente contaminada y que ésta contaminación representa serios peligros para la salud de la población de La Paz, pero es necesario demostrar también que esta situación representa amenazas no solo a la población, sino al equilibrio del medio natural y al mantenimiento de muchos servicios que benefician a la población, tanto en temas económicos

y tangibles, como en servicios intangibles y de los que mucha gente desconoce pero hace uso continuamente.

El presente trabajo podrá servir para la mejor toma de decisiones en cuanto a la problemática de esta microcuenca, teniendo un enfoque, como se dijo anteriormente, ecosistémico, que considera además beneficios no únicamente a la salud o económicos para la población que hace uso de sus servicios.

## **1.5. Objetivos**

### **1.5.1. Objetivo General**

Determinar y analizar las principales funciones socioecológicas de la microcuenca del Río Choqueyapu y los servicios en los que derivan para la población de la ciudad de La Paz y poblaciones aguas abajo.

### **1.5.2. Objetivos Específicos**

- Construir el marco socioeconómico, biofísico y ecológico de la microcuenca del río Choqueyapu.
- Describir y analizar las funciones y servicios que la microcuenca del río Choqueyapu brinda al medio natural y a la población de la ciudad de La Paz, así como los efectos que la contaminación de dicha ciudad suponen como merma a los servicios para la población de la ciudad y las poblaciones aguas abajo.

## **1.6. Metodología**

Para construir el marco socioeconómico, biofísico y ecológico de la microcuenca del río Choqueyapu se utiliza como principal técnica la revisión bibliográfica existente sobre esta temática en el área de estudio. Una importante fuente de información bibliográfica se obtiene de estudios llevados a cabo por instituciones y organismos públicos y privados. Para complementar la información bibliográfica, se realiza una contrastación en campo, a través de visitas a zonas estratégicas de los principales ríos que componen la microcuenca, además de zonas consideradas clave dentro de la ciudad de La Paz, como ser el centro de la ciudad y zonas agrícolas en las afueras de la misma.

En lo referido a la descripción y análisis de las funciones y servicios de la microcuenca, la aproximación metodológica adoptada para abordar el estudio es la empleada en la Evaluación de Ecosistemas del Milenio: “Los Ecosistemas y el Bienestar Humano: Síntesis” y “Los Ecosistemas y el Bienestar Humano: Humedales y Agua”. En ambos documentos, de manera general, se describe la situación actual de los servicios de estos sistemas a nivel mundial y algunos criterios y análisis pueden adecuarse y aplicarse a la problemática del área de este estudio.

Algunos autores coinciden en que para determinar las funciones y servicios que tienen lugar en los ecosistemas es necesario llevar a cabo una valoración económica (asignación de un valor monetario) de los servicios según el uso y percepción de los actores sociales involucrados en su disfrute. Dado que los objetivos y el alcance del presente trabajo no llegan a ese nivel y en el contexto nacional no se cuenta con la información necesaria para llevar a cabo este tipo de valoraciones, únicamente se identificarán los siguientes puntos para determinar algunas funciones y servicios proporcionados por el río Choqueyapu y sus afluentes:

1. Beneficiarios
2. Función
3. Servicio
4. Tipo de disfrute realizado
5. Localización espacio-temporal de uso.

El presente trabajo no sigue la estructura clásica de Introducción, Materiales y métodos, Resultados, Discusión, y Conclusiones, sigue una estructura diferente que permite la inclusión y una amplia revisión de la información disponible, sintetizada y agrupada en diversos capítulos, que buscan el mejor análisis de la información del área de estudio, del problema analizado y del contexto económico, social y ambiental por el que actualmente atraviesa.

Los capítulos en que el presente trabajo se estructura son:

1. Generalidades
2. Descripción del área de estudio
3. Estructura y ecología
4. Socioeconomía de la zona
5. Contaminación de la microcuenca del río Choqueyapu
6. Fundamentos tóricos: funciones y servicios de los ecosistemas
7. Resultados
8. Conclusiones y recomendaciones

La forma en que la información es presentada permite una introducción al tema de servicios de los ecosistemas acuáticos y la pérdida de estos, iniciando en la construcción del marco ecológico, estructural y socioeconómico del área, para luego conocer el grado en que las actividades del hombre han afectado y casi eliminado ciertas funciones y servicios de este ecosistema. El trabajo concluye con la presentación de los resultados del estudio y las conclusiones y recomendaciones para tratar el tema.

## **CAPITULO II**

# **Descripción del área de estudio**

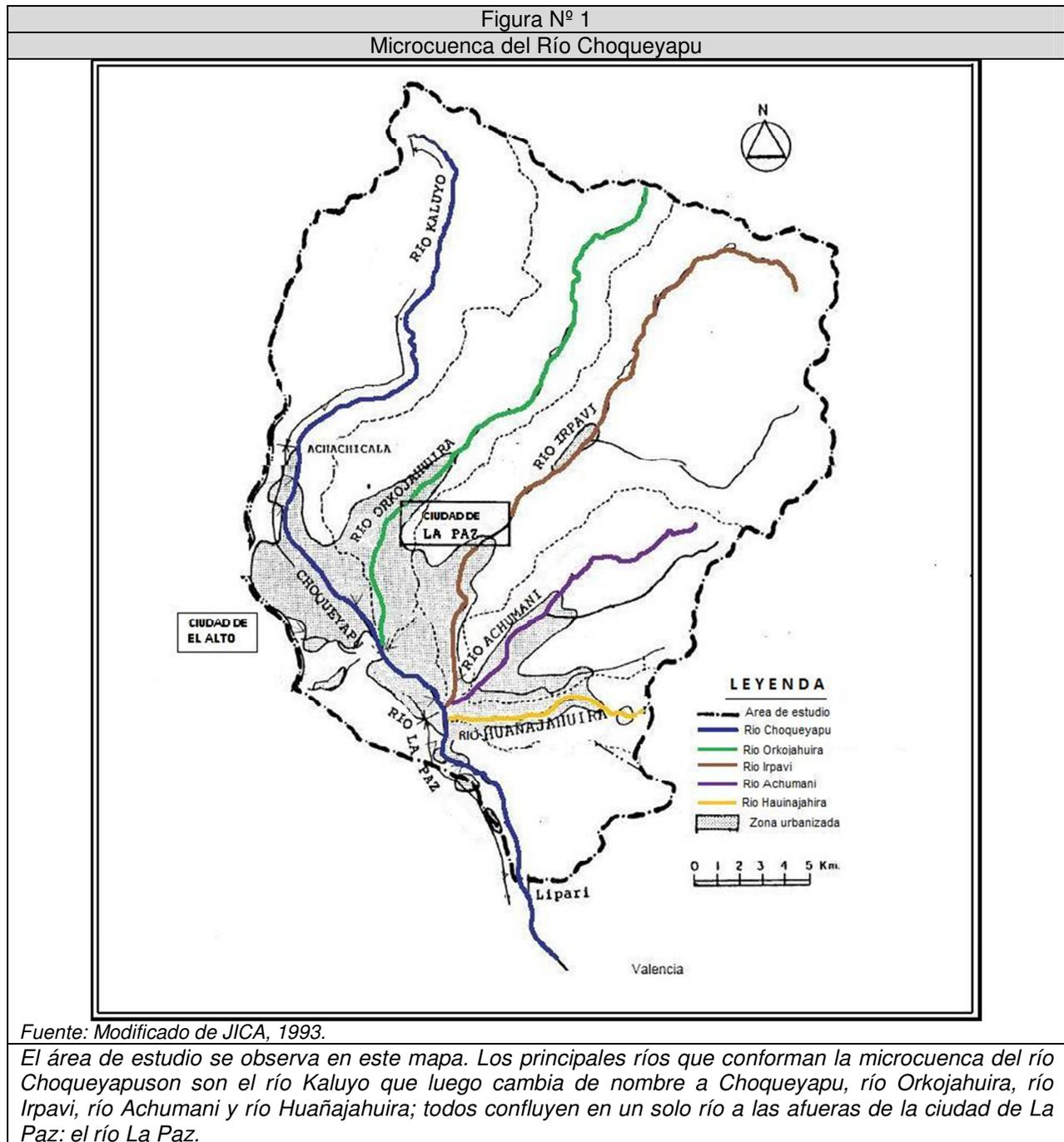
---

## Capítulo II.

### Descripción del área de estudio

#### 2.1 Área de estudio

El Río Choqueyapu pertenece a la subcuenca del río La Paz, perteneciente a su vez a la Cuenca del Altiplano, ubicada en el Altiplano boliviano, colindante con la Cordillera Oriental.



El río Choqueyapu se extiende a lo largo del valle de la ciudad de La Paz, es el principal cuerpo de agua receptor de la mayor cantidad de aguas residuales, tratadas y no tratadas, provenientes del sistema de alcantarillado y de industrias de la ciudad. Otros ríos de importancia que forman parte del sistema son los ríos Orkojahuirá e Irpavi, además de otros de menor caudal, como el Río Achumani y el Huañajahuirá, los cuales se unen al río Choqueyapu para formar el río La Paz al salir de la ciudad. Estos ríos reciben aguas residuales domésticas provenientes del sistema de alcantarillado de zonas estrictamente urbanas. (GMLP, 2007)

La microcuenca tiene una longitud aproximada de 44 Km desde su nacimiento en las faldas del nevado Chacaltaya, a una altura de 5 500 m.s.n.m., hasta la estación de Aranjuez en la zona sur de la ciudad de La Paz a 3 100 m.s.n.m. La diferencia altitudinal entre la nacimiento del río y la estación de Aranjuez es de aproximadamente 2 372 m (JICA, 1993), lo que representa una gran variación de clima, cobertura vegetal y composición del suelo. (Smith y Smith, 2001)

En su ingreso a la ciudad, a la altura de la zona de Achachicala (hacia el norte de la ciudad), las aguas del río Choqueyapu en ocasiones son captadas para su tratamiento y destinadas para el abastecimiento de agua a la zona central de la ciudad. Atraviesa zonas industriales, residenciales y comerciales, recibiendo descargas de aguas residuales sin ningún tratamiento, generando a su paso problemas estéticos, acumulación de basura, proliferación de vectores y generación de malos olores (GMLP, 2007).

Este cuerpo de agua, durante su recorrido por la ciudad, se encuentra totalmente canalizado y en el tramo central que atraviesa el casco viejo de la ciudad, es embovedado (Figura N° 2). A la altura del Valle de Aranjuez el río deja de ser canalizado y no recibe más aportes de afluentes. A partir de este punto, sus aguas, a pesar de su calidad, son utilizadas principalmente para riego y agricultura (GMLP, 2007).

Figura N° 2	
Río Choqueyapu	
Río Choqueyapu canalizado	Río Choqueyapu embovedado
	
<i>En la zona sur de la ciudad, los ríos de la microcuenca se encuentran canalizados hasta el extremo sur de la ciudad.</i>	<i>En la zona norte y central de la ciudad, los ríos de la microcuenca se encuentran embovedados hasta llegar a la zona sur.</i>

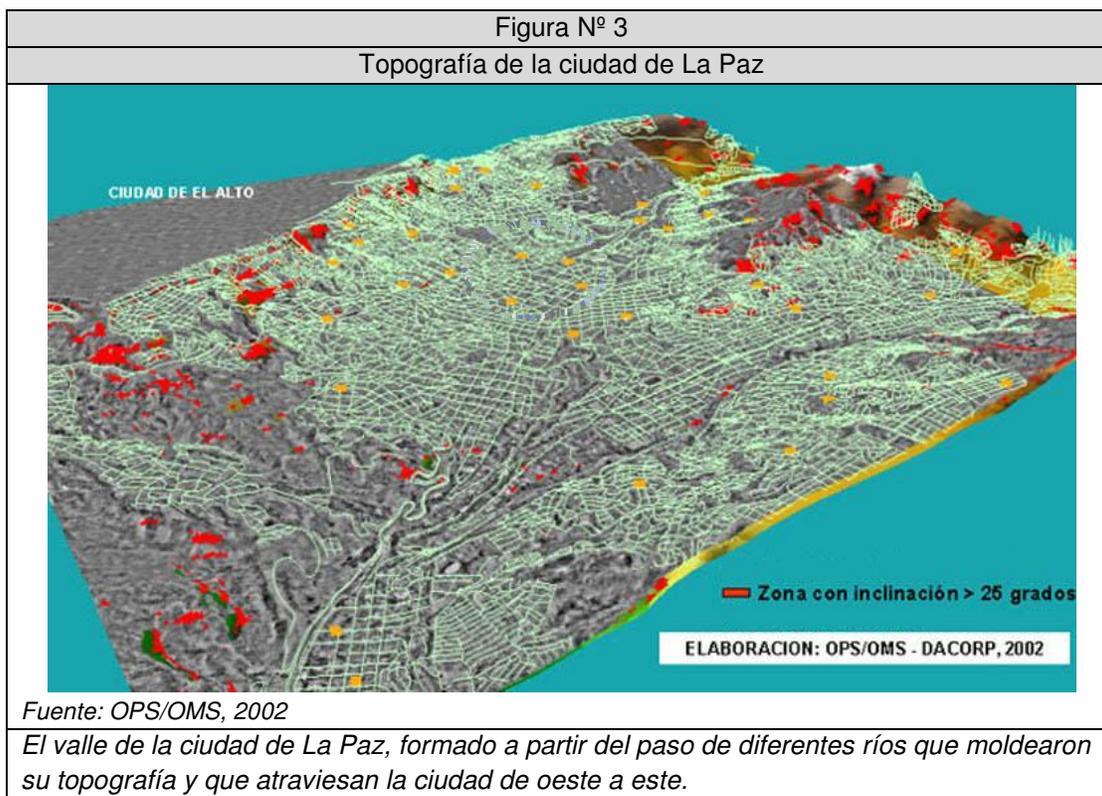
El presente trabajo de tesis se desarrolla en la Microcuenca del Río Choqueyapu y sus principales afluentes, el Río Irpavi y el Río Orkojahuirá, que atraviesan la ciudad de La Paz y representan los principales cuerpos de agua proveedores de servicios para la población de la ciudad aguas arriba y abajo.

Para describir la calidad de las aguas y determinar los servicios que la microcuenca provee a la población y a su vez se pierden por la contaminación, se ha determinado que su estudio será diferenciado en 3 zonas: (1) las aguas anteriores al ingreso a la ciudad de La Paz, donde el río recibe el nombre de Río Kaluyo hasta la zona de Achachicala, (2) las aguas que atraviesan la ciudad, que es el río Choqueyapu y sus principales afluentes y (3) las aguas abajo de la ciudad, donde el río Choqueyapu y todos sus afluentes confluyen en el río La Paz hasta la localidad de Lipari - Mecapaca.

## 2.2 arco biofísico y ecológico

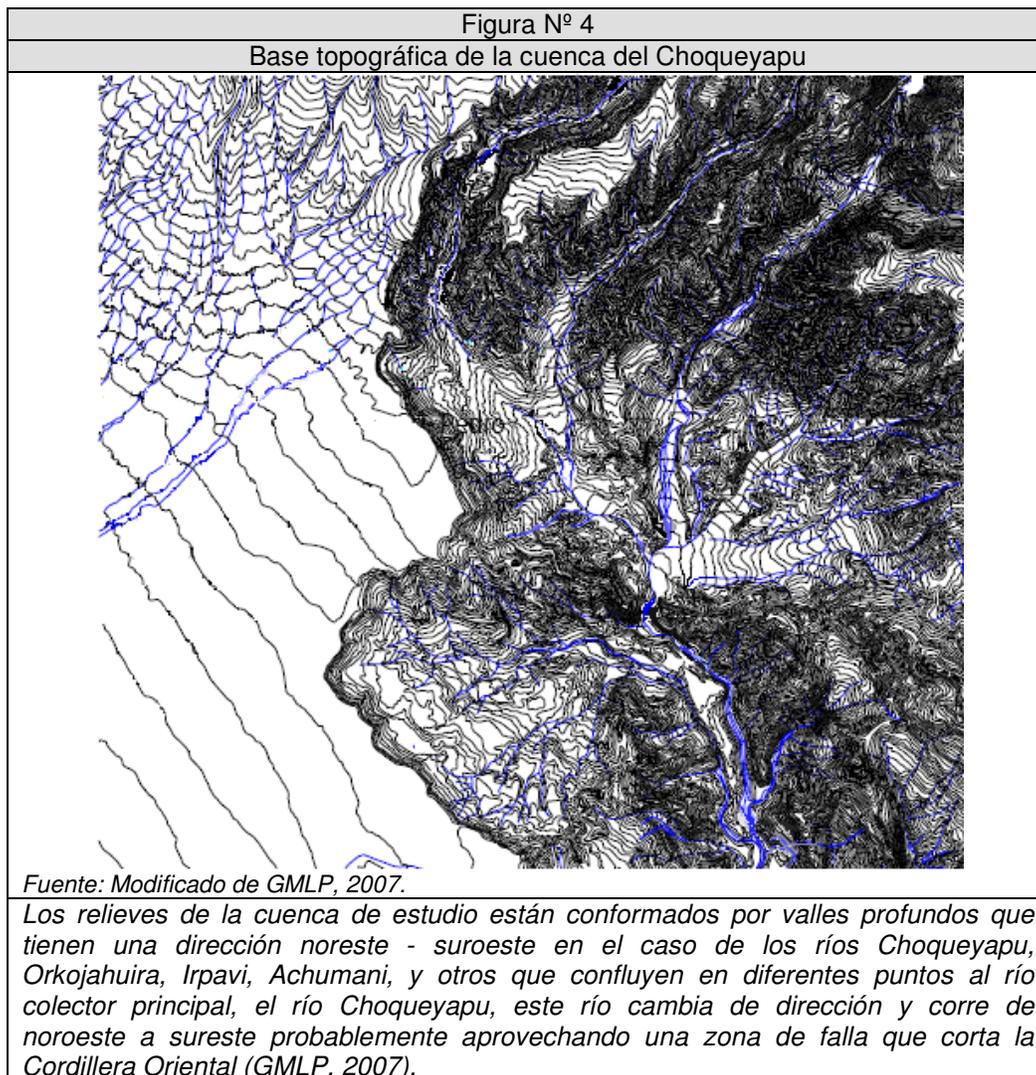
### 2.2.1 Geología y Topografía

La ciudad de La Paz se encuentra localizada en valles incididos cerca de las estribaciones del Altiplano. El río Choqueyapu, nace en el nevado Chacaltaya de la Cordillera Central, formando una depresión natural a partir de procesos erosivos pasados (Figura N° 3), constituyendo valles relativamente jóvenes, para luego atravesar la ciudad de La Paz de oeste a este (JICA, 1993).



Los relieves del valle de La Paz son el producto de la acción de varios procesos geomorfológicos exógenos y endógenos (Figura N° 4) como ser: el proceso fluvial, el proceso

glaciar debido a las variaciones climáticas que han ocurrido en esta región, así como la actividad tectónica, que han originado la modificación de los paisajes de la zona desde el Cuaternario hasta el actual. Los valles profundos de La Paz fueron producto de estos fenómenos internos y externos, exponen la secuencia estratigráfica completa del plioceno y pleistoceno, constituyendo uno de los sitios de referencia para el estudio de este periodo geológico (GMLP, 2007). En la evolución de los diferentes valles, también actuaron procesos gravitacionales o de ladera que produjeron distintos tipos de remoción en masa, como la reptación, deslizamientos, derrumbes y hundimientos, fenómenos que son constantes en la época de lluvias en muchos lugares de la ciudad de La Paz. La erosión intensa de estos depósitos poco consolidados y la posterior ocupación de los terrenos por los habitantes de la ciudad de La Paz, hacen de ella un paisaje excepcional y único de gran atractivo (Lieberman, 1985). Las características litológicas, estructurales y climáticas, han controlado la evolución de cada uno de estos valles en condiciones naturales, situación que ha sido provocada por obras de canalización en la parte urbana, o sea la zona central del Valle de La Paz (Dobrovlny, 1962).



La cuenca del Río Choqueyapu se encuentra limitada al norte por las montañas de la Cordillera Central (mismo lugar donde se encuentra su nacimiento). Hacia el sur, se hallan pequeñas zonas pobladas que aprovechan sus aguas para fines agrícolas y productivos. La ciudad de La Paz se extiende a lo largo de todo al canal principal del río y sus tributarios más importantes (Orkojahuirá e Irpavi), con variaciones altitudinales entre los 3 900 y 3 200 m.s.n.m. El límite oeste está constituido por el mismo Altiplano, que casi coincide con el límite administrativo del Municipio de La Paz. El límite este corresponde a las Montañas Murillo. Se calcula que la cuenca ocupa un área total de 535 Km<sup>2</sup> (JICA, 1993).

Estudios geológicos llevados a cabo en el área de estudio por la Agencia Japonesa de Cooperación Internacional (JICA) en 1993, indican que la cuenca del Río Choqueyapu está constituida en un 30% por una secuencia Paleozoica y Silúrica, donde las rocas Paleozoicas están compuestas de areniscas intercaladas con micas, quartzitas y esquistos de origen marino. El restante 70% de la cuenca está conformada por arcillas, limos y gravas ligeramente consolidadas de la Formación La Paz; está constituida además por una gran cantidad de depósitos fluvio-glaciales, distribuidos en morenas, formando la superficie de escurrimiento del río, la terraza de Miraflores y la parte central de la Ciudad de La Paz.

Forno y Baudoin (1991), en su estudio sobre la geología del valle de La Paz, sostienen que en la zona donde se encuentra ubicada la ciudad de La Paz, tuvo lugar una amplia disección durante el Cuaternario reciente, en relación con una erosión regresiva desarrollada desde la cuenca amazónica, donde un efluente del río Beni cortó la Cordillera Oriental y capturó parte de la red hidrográfica del altiplano.

Se clasificaron a los terrenos que afloran en la ciudad de La Paz y sus alrededores en tres grandes categorías:

- Terrenos más o menos superficiales correspondientes a depósitos contemporáneos de la erosión de la Cuenca de La Paz o de cuencas cercanas.
- Terrenos pertenecientes a formaciones sedimentarias, cuya deposición constituyó la meseta altiplánica.
- Terrenos antiguos y más tectonizados, que constituyen el zócalo de las áreas precedentes del Paleozoico, Cretácico y Terciario inferior.

### **Depósitos de las cuencas**

La erosión de la cuenca de La Paz pudo comenzar cuando un afluente del río Beni cortó por erosión regresiva un paso en la Cordillera Real, permitiendo que el Río Choqueyapu produzca una erosión intensa hacia la cuenca amazónica. La captura de la depresión, que luego constituyó el valle de La Paz, se produjo a través de la cordillera, entre el nevado Illimani y la Cordillera Tres Cruces, haciendo retroceder sus cabeceras hacia el noroeste, siguiendo líneas de menor resistencia, hennicianas marcadas por los valles orientados en conformidad a las estructuras hercínicas. El nivel de base de la cuenca del mismo nombre, correspondió al río que profundizó su valle progresivamente. Los valles se individualizaron, al mismo tiempo que dos glaciaciones bien marcadas invadieron la Cordillera Real. Estas abastecieron los glaciares

que bajaban en los tres valles del norte y noreste, hasta inmediaciones de la ciudad (Lieberman, 1991).

Los materiales que componen estos depósitos son una mezcla de limo, arcilla, arenas y gravas, con paquetes de la formación La Paz y fragmentos esporádicos de la Cinerita Chijini. El espesor máximo del flujo alcanza a 100 m, la parte inferior está drenada por quebradas angostas y profundas y la erosión interna y externa se manifiesta con cárcavas, túneles y sifones, conformando una topografía de tipo “tierras malas” o *badlands* (Lieberman, 1991).

### **Formaciones del Altiplano**

La formación del Altiplano resulta del relleno de una o varias cuencas endorreicas, situadas al pie de la Cordillera Real. Se distinguen dos períodos de sedimentos: Plioceno y Pleistoceno.

El *Plioceno o Formación La Paz*, está localizada en la cuenca del valle de La Paz, valles adyacentes y en la cuenca de Achocalla.

Estudios afirman que la Formación La Paz se ha depositado en un lago de gran extensión y poca profundidad, donde arcillas de tipo lacustre alternan con capas de gravas y arenas, que demuestran la existencia de corrientes más fuertes, que arrastraron material más grueso, provenientes de zonas emergidas como la Cordillera (Forno y Baudoin, 1991).

La parte de la formación con mayor presencia de arcillas, limos y arenas, presenta una intensa erosión con frecuente desarrollo de cárcavas y cañadones limitados por paredes semi verticales, que dan un aspecto de formación tipo “tierras malas” (*badlands*) (Lieberman, 1992). La formación en la región norte de la ciudad de La Paz, cercana a la cordillera, presenta un corte por un nivel de erosión, donde encima del primer nivel se encuentran depósitos glaciales, fluviales y fluvioglaciales, que constituyen la formación Calvario (Dobrovolny, 1962)

El *Pleistoceno* está conformado por cuatro diferentes formaciones en el valle de La Paz: la Formación Calvario, Formación Purapurani, Formación Kaluyo y Formación Chacaltaya.

La *Formación Calvario*, corresponde a la primera glaciación del Cuaternario Antiguo (Pleistoceno). Aflora en los valles de los ríos Achachicala - Kaluyo y Orkojahuiria -Chuquiaguillo. Sus sedimentos alcanzan espesores máximos de 80 m a 100 m. En la zona del río Achachicala comprende bloques y clastos, con una matriz muy arcillosa, de color gris oscuro. Esta formación es generalmente correspondiente a gravas y pedrones dispersos en una matriz limo-arenosa.

La *Formación Purapurani*, surge posteriormente a la formación glacial de Calvario. Se deposita encima del nivel segundo de erosión. Esta formación de carácter lacustre-fluvial es producto de un período interglaciar y se hace presente en todos los sectores de la ciudad de La Paz sobre la Formación Calvario, o en la ausencia de esta, encima de la formación La Paz. Las dos capas que la conforman presentan las siguientes características: la capa inferior está conformada por arcillas, limos, arenas y gravas muy parecidas a las de la Formación La Paz; la capa superior

presenta bancos de gravas, cuya estratificación está definida por pequeñas intercalaciones de capas de limo ocre. La superficie de la formación Purapurani presenta una expresión morfológica muy fuerte, con desarrollo de arroyos y quebradas muy profundas, con paredes verticales y formas asociadas al paisaje de “Tierras malas” (Lieberman, 1991).

La *Formación Kaluyo* se extiende por encima de la Formación Purapurani y es de carácter glacial. Según Dobrovolny (1962), se distinguen dos épocas glaciales, separadas por un cuarto nivel de erosión y alteración correspondientes al “Pedimento III”. Esta formación se extiende por las laderas norte y noreste de la cuenca de La Paz (Choqueyapu para los fines del presente estudio). Los afloramientos corresponden a depósitos glaciales de clastos y bloques muy estriados y mal redondeados de granitos y cuarcitas, dispersos en una matriz limo-arcillosa y arenosa. En los afloramientos se intercalan pedrones de granito y cuarcitas. (Dobrovolny, 1962)

La *Formación Chacaltaya*, es de origen glacial y aflora desde el pie del nevado del mismo nombre, hasta la ciudad de El Alto, alcanzando la superficie de Huaripampa. El norte de esta formación corresponde a morrenas constituidas por pedrones y bloques estriados, con una matriz mezclada de arenas y limos. El sur de la formación, hasta la ciudad de El Alto, corresponde a un torrente de barro proveniente de un till y compuesto de cladros estriados y mal redondeados, con una matriz de arcilla y arenas mezcladas. El material de esta lava de barro está cubierta por gravas fluviales del techo del Altiplano, que constituyen, junto con las gravas infrayacentes de las formaciones La Paz, Purapurani o Kaluyo, el escarpe del borde del altiplano, muy abrupto y socavado por quebradas (Ahlfeld, 1960).

### **Formaciones de Zócalo**

Estos terrenos se hacen presentes en algunas zonas de la ciudad de La Paz y sus alrededores, concretamente en las serranías de Aranjuez y al sur de Mallasa, a ambos lados del Valle de La Luna. En ambas orillas del río Choqueyapu se hacen presentes rocas de la formación Sica Sica (Silúrico-Devónico) en el extremo sur de la ciudad, específicamente en las zonas de Mallasa y Lipari (límite de la cuenca del Choqueyapu).

Las principales características de estas formaciones son su alta delezabilidad en la superficie y una expresión morfológica muy fuerte que forma serranías donde alternan cuevas y quebradas. El espesor de estas formaciones alcanza los 1 500 m, principalmente en la serranía de Chiarjaque y Aranjuez, hasta cerros del N.E. del Valle de la Luna hasta Mecapaca. Las formaciones de Zócalo se asignaron tentativamente al Cretácico por estar constituidas por bancos de conglomerados, areniscas y limonitas de color rojo, relieves abruptos y un espesor de alrededor de 500 m. (Lieberman, 1991).

### **2.2.2 Clima**

El clima de Bolivia está condicionado por tres sistemas de vientos y por la presencia de la Cordillera de Los Andes. El primer sistema está constituido por alisios del noreste que soplan desde el Océano Atlántico y conllevan masas de aire húmedas y cálidas. El segundo sistema está conformado por alisios que soplan desde las pampas argentinas, por el sur del país, transportando aire frío y seco. El tercer sistema lo constituye un viento del suroeste originado

en el Océano Pacífico llevando aire seco y frío. En el altiplano se producen breves lluvias en épocas frías y secas. (Montes de Oca, 2005)

La cuenca del valle de La Paz, situado entre las coordenadas 16°30' Latitud Sur y 68°15' Longitud Oeste, presenta una altitud promedio de 3 700 m.s.n.m. dentro de las cadenas montañosas que constituyen la Cordillera de Los Andes, con una orientación norte – sur, hacia la cuenca amazónica. En esta, existen marcadas diferencias altitudinales, donde las cabeceras se ubican a alturas cercanas a los 3 900 m.s.n.m., descendiendo a alturas que oscilan alrededor de 2 400 m.s.n.m. Estas diferencias generan la conformación de diversos ambientes naturales, que determinan una estructura variada en la configuración de la vegetación y la composición de sus ecosistemas (Lorini, 1991). Cabe resaltar que la naciente del río Choqueyapu, en las faldas del nevado Chacaltaya, como se mencionó anteriormente, se encuentra a 5 500 m.s.n.m., es decir, a mayor altura que la parte más alta del valle.

Por la cercanía de la ciudad de La Paz a las estribaciones del Altiplano, el tercer sistema tiene mayor influencia sobre el clima de la urbe, por lo que está conformado por clima frío y seco, con marcadas estaciones definidas de acuerdo a épocas secas y lluviosas y presentando además gran contraste de temperatura entre el día y la noche y no así entre verano e invierno (aproximadamente 4 a 5 grados de variación) (Montes de Oca, 2005).

La cadena montañosa que constituye la Cordillera Real ejerce un efecto climático muy importante en el valle de La Paz, ya que, por su altitud y orientación, determina una barrera geográfica limitativa con respecto a los vientos y disponibilidad de humedad. En ciertos sectores de esta cadena, se presentan “abras” o pasos, donde la altura llega a los 4 800 m.s.n.m.; por la disposición de los valles de la vertiente oriental y su exposición a los vientos provenientes del norte y este, se produce el paso de nubes y vientos húmedos hacia el valle de La Paz, influyendo en las características climáticas de los valles de la vertiente occidental (Lorini, 1991).

En la microcuenca del Choqueyapu se observan importantes diferencias en el clima y otras condiciones ecológicas debido principalmente a los diferentes gradientes de pendiente, la diversa exposición de las laderas respecto a los rayos solares, dirección de los vientos, humedad disponible y temperaturas variables y que determinan una gran cantidad de microclimas, que permiten el desarrollo de una gran variedad de vegetación.

El clima de La Paz ha sido caracterizado como “clima tropical de alta montaña” o “tropical de ritmo diario”, según Troll (1959) y Walters (1975). Dadas las características de diferencia altitudinal y las variaciones en los elementos meteorológicos que interactúan en la cuenca de La Paz, presenta ecosistemas de puna húmeda, con la composición florística característica y de puna templada o “suni” (Gómez y Little, 1984).

La ciudad se extiende a lo largo de un gradiente altitudinal desde los 4 150 m.s.n.m., hasta los 3 300 m.s.n.m., por lo que las condiciones climáticas varían desde el norte hacia el sur de la ciudad, pero también están influenciadas por la topografía y la densidad de los edificios.

El clima en general se caracteriza por tener una estación árida prolongada (7 a 8 meses) y una estación húmeda corta (4 a 5 meses, incluso menos). Las temperaturas más altas corresponden a los barrios del sur y las más bajas a la zona norte y la ciudad de El Alto.

La precipitación y la humedad atmosférica disminuyen en sentido norte – sur, hasta llegar a la zona de los valles secos (Ovejuyo hacia Palca, La Florida hacia Mecapaca). Con respecto a las laderas, las que tienen el clima más benigno son las de exposición norte y oeste (Lieberman, 1991).

En la zona urbana, el clima se ve influenciado, además, por otros factores, como la presencia de edificios altos y el sistema de calles, con cambios en la insolación, así como en la dirección y velocidad del viento, cambios en la temperatura por las actividades industriales y el creciente parque automotriz.

### **Sistema climático andino meridional**

Según la latitud de la microcuenca del río Choqueyapu, se encuentra situado en la zona tórrida ecuatorial, con un alto grado de radiación y radiación ultravioleta debido a la baja densidad atmosférica característica de zonas de gran altura. Durante la mayor parte del año, a excepción de la época lluviosa, la atmósfera se encuentra despejada, lo que provoca un aumento de la irradiación terrestre, especialmente durante las noches, provocando la pérdida de calor y generando importantes variaciones térmicas que producen una amplitud térmica diaria en las diferentes estaciones del año, como una de las principales características de las regiones andinas (Boulangé y Aquize, 1981).

La humedad del ambiente está condicionada por factores estacionales y locales, es decir, durante el verano, que coincide con la época lluviosa, la humedad del ambiente es mayor por el aporte de masas de aire húmedo provenientes del norte y noreste, incrementado por la presencia del Lago Titicaca, que se convierte en el mayor regulador climático de la zona (Carmouse, y Aquize, 1981). La presencia de la Cordillera Oriental también juega un importante rol en la regulación de la humedad del ambiente, ya que a partir de esta nacen ríos y arroyos que fluyen por las laderas, formando en las llanuras de sedimentación extensas áreas de pasturas naturales y superficies de evaporación (Lorini, 1991).

Los vientos que influyen en el área de la microcuenca son principalmente los del oeste en invierno y los del norte y noreste en el verano, aunque también existe una importante interacción de vientos superficiales con dirección norte. Una gran parte de los vientos de zonas de valles interandinos subhúmedos a secos es generado por la presencia de escasa cobertura vegetal en las laderas, lo que provoca que el suelo se caliente, desprenda calor y calienten el aire que por su densidad asciende, generando vientos de características convectivas que forman pequeños tornados (Lorini, 1991).

- **Temperatura:** La temperatura en la ciudad de La Paz es considerada generalmente fría aunque presenta importantes variaciones durante el día y también entre las diferentes estaciones. Las temperaturas promedio en la ciudad son de 21,16°C como temperatura

máxima media, 1,76°C como temperatura mínima media y 10,36°C como promedio anual. La temperatura en la zona sur es aproximadamente 2°C más caliente que la temperatura en la zona norte y central (SENAMHI, 2009).

- **Radiación:** dada la altura promedio de la microcuenca y del valle de La Paz, este factor climático adquiere gran importancia y se ve reflejado en los altos valores que adquiere durante todo el año.

Tabla N° 1													
Goce de radiación en el valle de La Paz													
	Meses												Media anual
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
Radiación Global Incidente	454	440	418	433	394	387	394	432	437	485	486	438	433
Radiación neta	232	227	195	154	99	63	72	118	159	201	227	221	164
Radiación neta (%)	51	51	46	35	25	16	18	27	36	41	46	50	38

Fuente: Estación Meteorológica La Paz – Centro. SENAMHI, 2007.

Según la tabla anterior, puede verse que el balance de radiación, expresado en porcentaje, presenta un promedio de 38% y con valores mayores especialmente para los meses de verano entre noviembre y febrero. Para los meses de invierno, especialmente entre junio y julio (los meses más fríos del año), los valores son muy bajos, ya que influyen muchos factores, como la altura de la región, los días y noches con baja o nula nubosidad y otros, que además favorecen a las reducciones drásticas de temperatura, conocidas como “heladas”.

Pasados los meses de invierno, el goce de radiación se incrementa paulatinamente, disminuye la irradiación y los valores de radiación neta se hacen mayores a medida que aumenta la temperatura ambiente y se acercan los meses de primavera y verano.

- **Vientos:** El viento es un movimiento horizontal del aire, provocado por las diferencias de presión atmosférica. Los grandes movimientos atmosféricos son prácticamente horizontales. También existen corrientes inclinadas con relación al horizonte, e incluso corrientes verticales. Corrientemente, al hablar de viento nos referimos siempre a una corriente horizontal o a la componente horizontal de una corriente atmosférica. El viento está definido por su dirección y su fuerza o, más exactamente, por su velocidad (Eichenberger, 2002)

Ronchal (1985) clasificó los vientos del valle de La Paz en cuatro categorías según la altitud en la que se mueven:

- Vientos de altura: situados a 12 400 m.s.n.m., con una dirección predominante desde el oeste y en menor medida desde el norte. Los vientos de mayor intensidad se mueven a una velocidad de entre 20 y 40 nudos. Durante el invierno predominan los vientos del oeste con influencias del norte, en verano predominan los vientos del sur con intensidades entre fuertes y muy fuertes.

- Vientos de mediana altura: situados a 6 000 m.s.n.m. Predominan los vientos del oeste, siendo en general vientos calmos en un 32% y fuertes en un 12%. Durante el invierno predominan los vientos del oeste y en verano los del este.
- Vientos de superficie: son de magnitud menor y están dominados por vientos del este. Los vientos predominantes vienen de las serranías nevadas y son más fríos y de mayor densidad.
- **Precipitaciones:** conocer el régimen de precipitaciones en las zonas altoandinas es de vital importancia por las características fisiográficas del paisaje. Las grandes cordilleras, los nevados y los cerros con laderas y pendientes pronunciadas determinan que, según la cantidad de lluvia recibida anualmente y su distribución, será mayor o menor la erosión natural.



El régimen de lluvias es de característica monomodal, existiendo por lo tanto una sola época pluvial, con promedios anuales cercanos a los 600 mm, restringida a los meses de verano, donde las lluvias caen con mayor intensidad, aumentando su efecto erosivo (García, 1987).

El régimen de distribución estacional determina que por cada día de lluvia que se presenta, se recibe el doble de la cantidad de agua que en un

régimen de lluvias más repartido, de ahí la diferencia en la capacidad de retener el agua en los suelos y la dificultad que se presenta con el aumento de agua superficial.

La estación lluviosa se prolonga desde diciembre hasta marzo y la época seca desde abril hasta noviembre (JICA, 1993). Las mayores lluvias se registran durante el mes de enero, con un promedio de 124,1 mm y el mes de junio es el más seco, con 6,2 mm de lluvia como promedio. El promedio total anual de 80 años de registro es de 579,1 mm. (Montes de Oca, 2005). En la figura N° 5 puede verse cómo las aguas de los ríos crecen durante la época de lluvias, muchas veces llegando a desbordar.

Totales acumulados de precipitaciones de los últimos 5 años (mm)						
Mes	2005	2006	2007	2008	2009	Promedio
Enero	123.1	145.8	113.5	167.9	61.4	122.3
Febrero	72.6	100.3	79.5	69.8	116.9	93.2
Marzo	30.0	77.1	59.8	67.2	53.4	57.5
Abril	35.9	6.0	42.9	1.1	30.5	23.3

Mayo	0.0	1.4	4.5	4.7	0.3	2.2
Junio	0.0	0.1	0.1	3.4	0.0	0.72
Julio	2.3	0.0	21.8	2.7	15.1	8.38
Agosto	0.4	22.4	0.4	3.1	1.5	5.6
Septiembre	33.3	12.2	46.8	4.8	25.7	24.6
Octubre	55.1	30.6	49.2	23.6	27.0	37.1
Noviembre	60.7	87.4	53.2	12.3	75.7	57.86
Diciembre	42.0	111.0	91.3	112.0	137.1	98.68

*Fuente: Elaboración propia en base a datos del SENAMHI, 2010.*

Como puede verse en el cuadro anterior, según datos del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI), existe una marcada época lluviosa que se inicia entre los meses de octubre y noviembre y se extiende hasta el mes de febrero, con una repentina disminución a partir del mes de marzo y una época seca que se extiende hasta el mes de agosto. Los meses de mayo, junio y julio presentan precipitaciones muy bajas o nulas, que ponen en riesgo la provisión de agua para la población de la ciudad de La Paz, por lo que además, la concentración de contaminantes en sus agua es mucho más alta que durante la época lluviosa.

En las épocas de máxima intensidad de lluvias se producen deslizamientos y mazamorras con arrastre de lodo y piedras desde las partes altas de los cerros, hacia zonas más bajas (Lorini, 1981) y que generalmente ocasionan inundaciones, desbordes y crecidas del río Choqueyapu y sus afluentes. Estos eventos provocan considerables pérdidas económicas, especialmente para las comunidades productoras agrícolas en el extremo sur de la ciudad. En algunos años, los desastres por la crecida de los ríos de la microcuenca alcanzaron a arrastrar viviendas y vehículos, destruir puentes y calles e incluso a cobrar varias vidas humanas.

El carácter estacional de la distribución de lluvias en La Paz determina que a partir de los meses de mayo, junio y julio, la magnitud de agua caída sea tan pequeña que no es posible tomarla en cuenta para fines de cálculo de probabilidades.

### **Evapotranspiración**

Los valores de evapotranspiración son demasiado altos, propios de las regiones de altura, donde existen amplitudes térmicas tan marcadas en el transcurso diario y efectos de poca nubosidad durante gran parte del año, lo que determina que las características de aridez sean pronunciadas debido a un déficit hídrico, sobre todo en los meses donde las precipitaciones están ausentes.

### **2.2.3 Cubierta vegetal**

La naturaleza geológica del sustrato de la microcuenca corresponde a areniscas del Cretácico tardío, donde las laderas están formadas por sedimentos poco consolidados. En las capas inferiores del subsuelo geológico existe gran cantidad de arena fina y arcillas, las cuáles hacen que los terrenos tiendan a formar sedimentos poco consolidados, transformados por erosión en un sistema de pilares y torres, inutilizables para la agricultura y la construcción (Ahfeld, 1972 y Schoop, 1980)

En relación a la vegetación, los factores determinantes para su presencia, abundancia y distribución son la temperatura y el régimen de precipitaciones. Sin embargo, el agua disponible en el suelo depende de otros elementos: textura del suelo, temperatura y cubierta vegetal. La humedad retenida en el suelo permite el crecimiento y la persistencia de las plantas desde octubre hasta abril o mayo, pero la acción conjunta de las bajas temperaturas y la sequía progresiva hace que la mayor parte de las plantas, en especial las espontáneas, desaparezcan o se sequen (García, 1987).

La microcuenca del río Choqueyapu, para los fines de este estudio, ha sido dividida en 3 zonas, como se detalló anteriormente: a) aguas arriba de la ciudad de La Paz, b) aguas que cruzan la ciudad y c) aguas abajo de la ciudad. Siguiendo esta división, es también necesario diferenciar la vegetación predominante en las mismas zonas, es así que primero se realizará la descripción de la vegetación más representativa de la cuenca alta del Valle de La Paz, la vegetación de la ciudad de La Paz y la vegetación de las zonas al sur de la cuenca.

### **Vegetación de la cuenca alta del Valle de La Paz**

La cuenca alta del Valle de La Paz está ubicada en las coordenadas 16°20'-16°25' latitud sur y 66°02'-66°13' longitud oeste, y comprende los valles glaciales de Chacaltaya, Kaluyo, Chuquiaguillo y Hampaturi, anteriores al ingreso por el norte a la ciudad de La Paz.

La vegetación de la cuenca alta del Valle de La Paz está compuesta principalmente por la que conforma “bofedales” o “turberas”, que son un tipo de vegetación intrazonal característica de las zonas altoandina y puneña de la región andina (Becks, 1988). Su aspecto es muy particular y fácilmente distinguible de otras unidades de vegetación por su fisionomía, ubicación y por el tono verde intenso que contrasta con los colores opacos y apagados de las praderas de gramíneas de las zonas altas de Los Andes.

En general, los suelos del valle varían desde poco profundos a gravosos, en las laderas que flanquean los valles, a profundos y principalmente orgánicos en los fondos de los valles. Las condiciones hídricas de los suelos

y las variaciones climáticas del medio permiten el establecimiento de vegetación azonal o comunidades serales, cuyo establecimiento depende de las condiciones edáficas e hídricas (Figura N° 6). De acuerdo con su fisionomía, composición florística, rango altitudinal, tipo de suelo y topografía, se distinguen las “vegas” o praderas húmedas y los “Bofedales”.



- **bofedales:** se encuentran ampliamente distribuidos en la región andina, a altitudes entre 4 500 m.s.n.m. a 4 900 m.s.n.m. En Bolivia se conocen también como “turberas”, aunque sus asociaciones vegetales no corresponden a la definición clásica de turbera.

Se caracterizan por un pH ácido, bajo contenido de elementos nutritivos y la existencia de ciertos animales (como puede verse en la figura N° 7) que intervienen en su descomposición (Cerde, 1986). En este medio prácticamente carente de oxígeno, las bacterias anaeróbicas no realizan la descomposición completa de la celulosa, lo que provoca la lenta acumulación de material orgánico, sobre el cuál se desarrolla una vegetación característica. Estos suelos contienen hasta el 50% de sustancias orgánicas, que los convierten en el tipo más puro de suelos orgánicos que existe (Cerde, 1986). Estas condiciones, más el mal drenaje que presentan, permiten la formación de bofedales. El tipo resultante de bofedal depende principalmente de la profundidad del manto freático, de una humedad atmosférica elevada y de las bajas temperaturas, que condicionan el desarrollo de ciertos mohos y hongos formadores activos de turba.

En la zona altoandina, a diferencia del hemisferio norte, los musgos de la subclase *Sphagnidae* no forman las turberas; los formadores activos de turba son las *Juncaceae*, acompañadas de especies de *Cyperaceae*, *Compositae* y musgos de la subclase *Brydae*.

La formación de los bofedales depende de las condiciones locales, en especial de las condiciones hídricas del suelo. El aporte de agua es constante, producido por escorrentías glaciares o por un nivel freático alto. La vegetación reposa sobre restos de materia orgánica fibrosa y esponjosa, acumulada sobre suelos de origen morrénico (gravas y arenas). Según los perfiles de suelos clasificados por Ostria (1987) y Estenssoro (1991), las plantas crecen sobre una gruesa capa de restos vegetales poco descompuestos (raíces y tallos), alternados a mayor profundidad por capas de arcilla y materia orgánica amorfa. Estas son sustituidas hacia 1,0 m – 1,5 m por arena, la que reposa directamente sobre la roca madre o sobre otro horizonte de restos orgánicos.



En general, las plantas que crecen en los bofedales corresponden a los tipos morfológicos de rosetas acaules y plantas en cojín. Las plantas en tufas, como Gramineae o Poaceae, y las herbáceas ocupan un menor porcentaje. Predominan las especies pigmeas rizomatosas, principalmente monocotiledóneas junciformes o graminiformes, acompañadas

por dicotiledóneas pigmeas y hierbas de flores llamativas que sobresalen de las apretadas masas de juncáceas (Estenssoro, 1991)



Las juncáceas dominantes son: *Distichia muscoides* y *Oxychloe andina* (Figura N° 8), que forman amplios cojines compactos ligeramente convexos y cojines laxos, de formas heterogéneas respectivamente. En estos cojines crecen hierbas pigmeas como *Gentiana sedifolia*, *Werneria apiculata*, *Werneria Spathulata*; rosetas acaules como *Hypochoeris taraxaciodes*, *Oritriphiul limnophilum*. Graminoides como *Luzula racemosa*, *scirpus spp* gramíneas como *Calamagrostis chysantha*, *Calamagrostis jamesoni*, *Calamagrostis ovata* y *Poa perligulata*. Se observan ciertas hidrófitas en la parte central del bofedal, como *Callitriche*

*palustris*, *Ranuculus spp.*, *Lilaea subalata* y otras (Estenssoro, 1991)

En el valle de La Paz, a pesar de su importancia ecológica y pecuaria, extensas áreas de bofedales han sido degradadas y otras inundadas al ampliarse zonas de captación de agua potable, zonas de pastoreo y extracción de turba<sup>2</sup> (Estenssoro, 1991).

- **Vegas:** se encuentran por debajo de los 4 500 m.s.n.m., ocupando frecuentemente los bordes de riachuelos que bajan de las laderas de pendientes suaves o en el nacimiento de manantiales (Ostria, 1987).

Forman un tapiz herbáceo continuo, entrecortado por pequeños riachuelos y cuerpos de agua. Hacia los otros bordes, donde el suelo no está saturado durante todo el año, se presenta una cobertura de especies más resistentes a la sequía, como *Astragalus sp.* y *Poa gymnantha*. En el tapiz de cojines planos dominan las pequeñas hierbas arrosadas con raíz pivotante de *Plantago tubulosa*; rara vez se encuentra *Distichia muscoides*. Algunas veces puede encontrarse la presencia de *Werneria pygmaea* y otras especies rizomatosas del género *Scirpus* y *Juncus*. En los bordes de los riachuelos de agua corriente crecen hidrófitas y halófitas (Ostria, 1987).

<sup>2</sup> Turba: suelo orgánico de material fibroso y esponjoso, que sirve como abono orgánico o combustible para las poblaciones locales.

### Vegetación de la ciudad de La Paz

La naturaleza geológica del sustrato de la cuenca corresponde a areniscas del Cretácico tardío y las laderas están formadas por sedimentos poco consolidados (Figura N° 9). En las capas inferiores del subsuelo geológico existe gran cantidad de arena fina y arcillas, las cuáles hacen que los terrenos tiendan a formar sedimentos poco consolidados, transformados por erosión en un sistema de pilares y torres, inutilizables para la agricultura y la construcción, es decir, “tierras malas”, como las califica Ahfeld (1972) y Schoop (1980).

La vegetación de la ciudad de La Paz, se estima en un 60% introducida y en un 40% nativa, compuesta por especies sudamericanas, concretamente de la zona andina. Las especies introducidas, en muchos casos, presentan tal grado de adaptación a las nuevas condiciones que resulta difícil la diferenciación de especies nativas; se las conoce como especies “naturalizadas” (García, 1987). Las especies introducidas son utilizadas principalmente para ornamentar áreas públicas y privadas de la ciudad, aunque no pudo evitarse la llegada de especies consideradas perjudiciales o “maleza”. La mayor cantidad de especies nativas puede encontrarse en la zona sur de la ciudad.

García (1987) categorizó a la vegetación de la ciudad de La Paz en 4 categorías considerando las condiciones bajo las cuales se desarrollan y la forma en que aparecen en el terreno.

1. Las que son plantadas y viven todo el año sin protección.
2. Las que permaneces solo durante la estación favorable.
3. Las que se encuentran en casas y lugares protegidos.
4. Las que aparecen de manera espontánea en los bordes de calles. Terrenos baldíos, alrededores de viviendas, etc.

Para el caso de la vegetación que crece de manera espontánea, las condiciones para su desarrollo son particulares y bien podrían considerarse adversas:

- Altas concentraciones de nitrógeno en el suelo por contaminación orgánica.
- Pisoteo y su efecto en la compactación del suelo.
- Recubrimiento del suelo natural con asfalto, piedra, cemento y otros.
- Disminución de la insolación en las zonas con edificios altos.
- Vertido de materiales de desecho.
- Corte y pastoreo ocasionales.



La cubierta natural o seminatural se encuentra degradada por la acción humana cada vez más intensa. Crece en forma poco densa y se constituye en pequeñas manchas dentro de la creciente urbe paceña. Los estratos predominantes, en el caso de las plantas espontáneas, son el herbáceo y el arbustivo.



El estrato arbóreo en la ciudad (Figura N° 10) corresponde a especies cultivadas para ornamento en parques, jardines y calles, o con fines de protección de laderas. Solo pocas especies arbóreas se dan sin necesidad de cultivarlas.

Un detalle de las principales especies de flora que se encuentran en la ciudad de La Paz se menciona a continuación, tomando en cuenta el nombre común con el que se conoce a la especie, el nombre científico, la zona de la ciudad donde se encuentra, su uso principal y algunas observaciones importantes respecto a la especie:

Nombre común	Nombre científico	Zona	Uso	Observaciones
Molle	<i>Schinus molle</i>	Toda la ciudad	Silvestre	Especie nativa
Keñua	<i>Polylepis racemosa</i>	Toda la ciudad	Silvestre	Especie endémica
Kishuara	<i>Buddleja coriácea</i>	Toda la ciudad	Silvestre	Especie endémica
Arce	<i>Hacer negundo</i>	Centro	Ornamental	
Fresno	<i>Frazinus excelsior</i> <i>Fraxinus americana</i>	Centro, este, oeste, sur	Ornamental	
Sauce llorón	<i>Salix babylonica</i>	Centro, este	Silvestre	
Acacia	<i>Acacia retinodes</i> <i>Acacia dealbata</i> <i>Acacia melanoxylon</i>	Centro, este, oeste, sur	Ornamental	
Plátano	<i>Platanus xarifolia</i>	Norte, centro, este	Ornamental	
Álamo	<i>Populus nigra</i> <i>Populus balsamífera</i>	Centro, oeste, sur	Ornamental	
Olmo	<i>Ulmus glabra</i> <i>Ulmus pumila</i>	Centro, sur	Ornamental	
Eucalipto	<i>Eucalyptus globulus</i> <i>Eucalyptus cinerea</i> <i>Eucalyptus viminalis</i>	Toda la ciudad	Silvestre y ornamental	
Ciprés	<i>Cupressus macrocarpa</i>	Toda la ciudad	Ornamental	
Cedro	<i>Cedrus atlantica</i>	Centro, sur	Ornamental	
Cerezo	<i>Prunus serrulata</i>	Centro	Ornamental	

Araucaria	<i>Araucaria angustifolia</i> <i>Araucaria excelsa</i>	Toda la ciudad	Ornamental	
Palmeras	<i>Phoenix canariensis</i>	Centro, sur	Ornamental	
	<i>Albizia lophantha</i>	Centro, sur	Ornamental	
	<i>Trachucarpus fortunei</i>	Oeste	Ornamental	
Tilo	<i>Tilia platyphyllos</i>	Centro	Ornamental	
Ceibo	<i>Eruthrina falcata</i>	Sur	Ornamental	
Tarko	<i>Jacaranda mimosifolia</i>	Sur	Ornamental	
Ligustro	<i>Ligustrum ovalifolium</i>	Toda la ciudad	Ornamental	
Margarita	<i>Chrysantemum frutescens</i>	Toda la ciudad	Ornamental	
Geranios	<i>Pelargonium peltatum</i> <i>Pelargonium hortorum</i>	Toda la ciudad	Ornamental	
Retama	<i>Spartium junceum</i>	Toda la ciudad	Ornamental, protección de suelos, medicinal, forraje	
Kantuta	<i>Cantua buxifolia</i>	Sur, este	Ornamental	Especie nativa
Hiedra	<i>Hedera hélix</i>	Toda la ciudad	Ornamental, silvestre	
Buganvilla	<i>Bougainvillea spectabilis</i>	Sur	Ornamental	
Tuna	<i>Opuntia ficus-indica</i>	Sur	Silvestre	
	<i>Corryocactus melanotrichus</i>	Sur	Silvestre	
	<i>Borzicactus fossulatus</i>	Sur	Silvestre	
	<i>Trichocereus bridgesti</i>	Sur	Silvestre, ornamental	
	<i>Opuntia exaltata</i>	Sur	Silvestre	
Agave	<i>Agave americana</i>	Sur, este		
	<i>Puya meziana</i> <i>Puya ferruginea</i>	Este, oeste	Silvestre	Especies nativas
Clavel	<i>Dianthus spp.</i>	Sur	Ornamental	
Siemprevivas	<i>Heluchrysum sp</i>	Sur	Ornamental	
Rosa verde	<i>Crassula</i> <i>Sedum</i>	Sur, este	Ornamental	
	<i>Guillemina densa</i>	Toda la ciudad	Silvestre	
	<i>Alternanthera pungens</i>	Toda la ciudad	Silvestre	
Hanukara	<i>Lepidum bipinnatifidum</i>	Toda la ciudad	Silvestre	
Chiji	<i>Poa anua</i>	Toda la ciudad	Silvestre	
Kikuyo	<i>Pennisetum clandestinum</i>	Toda la ciudad	Silvestre	
Oreja de ratón	<i>Dichondra microcalyx</i>	Toda la ciudad	Silvestre	
Alfa	<i>Medicago polymorpha</i>	Toda la ciudad	Silvestre	
	<i>Bouteloua simplex</i>	Toda la ciudad	Silvestre	
Cebadilla	<i>Bromus catharticus</i>	Toda la ciudad	Silvestre	
Layu	<i>Trifolium amabile</i>	Toda la ciudad	Silvestre	
Llantén	<i>Plantago lanceolata</i>	Toda la ciudad	Silvestre	
	<i>Baccharis latifolia</i>	Toda la ciudad	Ornamental	

	<i>Bacharis australis</i>			
Cachiyuyo	<i>Chenopodium murale</i>	Centro y sur	Silvestre	
Kentara	<i>Atriplex semibaccata</i>	Centro y sur	Ornamental	
Andrés huaylla	<i>Cestrum parqui</i>	Sur	Medicinal	
Huira huira	<i>Gnaphalium cheiranthifolium</i>	Sur	Medicinal	
Karalahua	<i>Nicotina glauca</i>	Sur	Medicinal	
Miña muña	<i>Satureja boliviana</i>	Sur	Medicinal	Especie endémica
Totora	<i>Schoenoplectus tatora</i>	Ambientes acuáticos	Silvestre	Indicador de contaminación y eutrofización.
Lenteja de agua	<i>Lemna minor</i> <i>Lemna gibba</i>	Ambientes acuáticos	Silvestre	Indicador de contaminación y eutrofización.
Berros	<i>Mimulus glabratus</i>	Ambientes semiacuáticos	Alimenticio	
Sehuenka	<i>Cortaderia rudiusscula</i> <i>Cortaderia jubata</i>	Zonas húmedas	Silvestre	
Cicuta	<i>Conium maculatum</i>	Extremo sur	Silvestre	
Altamisa	<i>Ambrosia artemisioides</i>	Sur	Silvestre	
	<i>Lepidium bipinnatifidum</i>	Toda la ciudad	Maleza	
	<i>Alternanthera pungens</i>	Toda la ciudad	Maleza	
	<i>Sisymbrium irio</i>	Toda la ciudad	Maleza	
	<i>Eridium cicutarium</i>	Toda la ciudad	Maleza	
Ortiga	<i>Urtica urens</i>	Toda la ciudad	Maleza	
Bolsa bolsa	<i>Capsella bursa pastoris</i>	Toda la ciudad	Maleza	

Fuente: Elaboración propia en base a García, E. (1987)

En la zona sur de la ciudad, por las características climáticas menos adversas, es posible encontrar hasta 7 especies diferentes de líquenes y musgos. El estudio de estas comunidades proporciona datos sobre contaminación atmosférica, sobre todo por emisiones de dióxido de azufre y monóxido de carbono. En zonas de mayor tránsito vehicular y mayor densidad de industrias, las comunidades de musgos y líquenes cuentan con una diversidad mucho menor de especies, presentan escasa cobertura o no existen. Algunos líquenes sensibles a la contaminación permanecen estériles o dañados. El análisis comparativo del número de especies de líquenes, su presencia, porcentaje de cobertura y estado, se utilizan actualmente para el desarrollo de mapas de distribución de la contaminación mediante Sistemas de Información Geográfica.

### **Vegetación del extremo sur del Valle de La Paz**

En esta zona de la ciudad de La Paz, limítrofe con el municipio de Mecapaca, donde la microcuenca del río Choqueyapu pasa a formar parte de la cuenca del Río La Paz, la principal actividad económica de la población es la ganadería y agricultura, especialmente de verduras, hortalizas y flores.

La cobertura vegetal es igual a la del resto de la ciudad y de la microcuenca, en lo referente a especies silvestres y nativas, no así a especies ornamentales introducidas, aunque es importante mencionar cultivos agrícolas como:

Tabla N° 4	
Principales especies cultivadas al sur de la ciudad de La Paz	
Nombre común	Nombre científico
Lechuga	<i>Lactuca sativa</i>
Tomate	<i>Lycopersicon esculentum</i>
Zanahoria	<i>Daucus carota</i>
Acelga	<i>Beta vulgaris</i>
Perejil	<i>Petroselinum crispum</i>
Apio	<i>Apium graveolens var. dulce</i>
Espinaca	<i>Spinacia oleracea</i>
Cebolla	<i>Allium cepa</i> <i>Allium fistulosum</i>
Haba	<i>Vicia faba</i>
Arveja	<i>Pisum sativum</i>
Vainita	<i>Phaseolus vulgaris</i>
Repollo	<i>Brassica oleracea</i> , <i>Brassica oleracea var. Capitata</i>
Coliflor	<i>Brassica oleracea var. Botrytis</i>
Brócoli	<i>Brassica oleracea</i>
Choclo	<i>Zea mays var. saccharata</i>
Gladiolo	<i>Gladiolus grandiflorius</i>
Clavel	<i>Dianthus caryophyllus</i>
Durazno	<i>Prunus pérsica</i>
Pera	<i>Pyrus communis</i>
Tuna	<i>Opuntia ficus-indica</i>

Fuente: Herbario Nacional, 2008.

Figura N° 11

Río Debajo de la ciudad de La Paz



*Vista panorámica de los cultivos de la zona de Río Abajo de La Paz que abastecen a la población de la misma. Son regadas con aguas del río Choqueyapu.*

Es necesario enfatizar que los cultivos de la zona son regados en su totalidad utilizando aguas del río Choqueyapu (Figura N° 11) luego de su recorrido por toda la ciudad de La Paz. Esta práctica generalmente representa muchos problemas para la salud de los consumidores, por los altos niveles de contaminación<sup>3</sup> que presentan estas aguas y que son transferidas a los cultivos de consumo primario, sobretodo de frutas que se consumen con cáscara. 'Esta situación generó, años atrás, enfermedades gastrointestinales como el Cólera y la Salmonelosis; la primera erradicada, la segunda aún provoca preocupación en las autoridades sanitarias del Departamento' (OPS/OMS, 2004).

<sup>3</sup> Los indicadores de contaminación serán presentados en títulos posteriores, con su respectivo análisis.

**CAPITULO III.**  
**Estructura y biología del área de  
estudio**

---

## **Capítulo III.**

### **Estructura y biología del área de estudio**

En este capítulo se brinda una descripción de la calidad estructural y biológica de los principales ríos de la microcuenca del río Choqueyapu, considerando las alteraciones producidas por las actividades de la población que afectan negativamente a ambos aspectos, principalmente a la calidad estructural que incide en la calidad biológica. El capítulo V hace referencia a la calidad de las aguas de estos ríos en relación a la contaminación producida por el vertido de efluentes y contaminantes líquidos generados en diferentes actividades productivas de la población de la ciudad de La Paz. Ambos apartados permiten, de forma diferenciada, establecer la calidad de estos cuerpos de agua, en lo que respecta a su estructura, valor de hábitat y oferta de funciones y servicios, que serán descritos en capítulos posteriores.

#### **3.1 Calidad estructural de la microcuenca**

Las aguas corrientes juegan un rol importante en el paisaje y en la regulación del balance hídrico, son ecosistemas intercomunicadores de ecosistemas acuáticos y terrestres y, además son dependientes de todas las actividades en su cuenca en lo que se refiere a la calidad de su morfología, estructura y función como ecosistema, reflejando así los efectos de toda actividad humana en la cuenca.

La evaluación ecológica de un curso de aguas corrientes, se orienta en el valor del cuerpo de agua como ecosistema y biotopo para plantas y animales, en contraste a las evaluaciones relacionadas al uso del agua. En tiempos históricos, los ríos y la calidad de sus aguas se deterioraba principalmente por el ingreso excesivo de materia orgánica y elementos patógenos, hoy en día los efectos se hacen a gran escala sobre la estructura morfológica de los ríos por la modificación del cauce, canalizaciones y entubamientos.

En las ciencias de la tierra ha sido reconocida la dependencia de la geomorfología en la interacción de la geología, el clima y el movimiento del agua sobre la tierra. Esta interacción es de gran complejidad y prácticamente imposible de ser concretada en modelos determinísticos, por esta razón se debe tomar como un proceso de comportamiento mixto con un fuerte componente estocástico.

La estructura de un río es condicionada por varios factores, principalmente la velocidad del agua, que a su vez se encuentra influenciada por factores como la forma, pendiente, ancho, profundidad y rugosidad del lecho por un lado y, por la intensidad de las precipitaciones y el ritmo del deshielo por otro (Smith & Smith, 2001). Estos factores moldean el carácter y la estructura de un río.

Los ríos del valle de La Paz presentan una estructura altamente variable por atravesar pisos ecológicos y regiones muy diferentes en todo su recorrido. Nacen en la Cordillera Oriental en alturas alrededor de los 5 000 m.s.n.m., pasan por valles glaciares y poco debajo de los 4 000 m.s.n.m. entran a valles fluviales y atraviesan la ciudad de La Paz hasta unirse a la cuenca del río La Paz en una zona de cabecera de valle.

Las cabeceras de los ríos son poco influenciados, el agua se usa para la ganadería y como fuente de agua de consumo para la población rural. El agua de la cuenca se usa para la cría de ganado, aunque en algunos lugares existen pequeñas minas, la mayoría de ellas sin operación actual. En las cuencas altas de los ríos Choqueyapu, Orkojahuirá e Irpavi se extrae turba y en la cuenca alta del Orkojahuirá, adicionalmente, piedra pizarra. Estas actividades tienen poca influencia en la calidad de agua de los ríos y prácticamente no influyen sobre su estructura morfológica natural.

La primera gran influencia en la calidad estructural sobre los ríos Orkojahuirá e Irpavi, constituyen las grandes represas para el abastecimiento de la ciudad con agua potable. Su impacto consiste en la interrupción del sistema de aguas corrientes por el embalse de sus aguas creando un sistema léntico. Por otro lado, el desvío de las aguas deja a los ríos casi secos, especialmente en la época seca, lo que significa para estos una interrupción en la migración de la fauna acuática y una extinción casi total del ecosistema durante medio año (GMLP, 2007)

A medida que los ríos se acercan a la gran ciudad, los impactos humanos se incrementan. La agricultura de subsistencia ya comienza en alturas de más de 4 000 m.s.n.m. El mayor impacto en la estructura de los tres ríos lo generan los areneros (Figura N° 12), que extraen arena, grava y piedras como materia prima para las construcciones de la ciudad.

En general se puede destacar, que todos los ríos son muy inestables, lo que influye en la calidad del hábitat para flora y fauna. Esa inestabilidad, por lo menos en las cabeceras de valle, es de origen natural, por los sustratos generalmente blandos, depósitos glaciares y fluviales, pero se acentúa por la escasa vegetación en las laderas, riberas y la franja ribereña (GMLP, 2007). Generalmente, la vegetación sufre sobrepastoreo, y en las franjas ribereñas está destruida por senderos, caminos de tierra, pisoteo de animales domésticos, corte de paja y quemas. Más abajo se suma la actividad arenera que modifica los lechos, el cauce y las riberas de manera



sustancial, lo que resulta en una total inestabilidad morfológica y de los hábitats para flora y fauna. El agua se enturbia y ya no es apta para ningún uso.



En los sitios con actividad arenosa y, en especial, en el ingreso a las zonas pobladas, donde el río comienza a ser canalizado, se reportan los valores más bajos de calidad estructural.

Donde comienzan las edificaciones (Figura N° 13), el río se rectifica, se canaliza con muros de contención y se introducen caídas artificiales de varios metros de altura, por la pendiente alta. Estos trechos de los ríos son artificialmente relativamente estables, pero pierden su valor de hábitat para

los organismos acuáticos. Se evidencia un deterioro paulatino de la calidad estructural en general. Por otro lado, en cada río existen tramos intermedios no usados por su difícil accesibilidad, donde el río mantiene una calidad estructural casi natural y la valoración del hábitat es bastante más alta.

Un estudio llevado a cabo por el Gobierno Municipal de La Paz (GMLP) en coordinación con la Dirección de Calidad Ambiental (DCA) de la ciudad de La Paz, el Instituto Boliviano de Ciencia y Tecnología Nuclear (IBTEN) del Ministerio de Desarrollo Sostenible y Planificación (MDSP) y el Instituto de Ingeniería Sanitaria y Ambiental (IIS) de la Universidad Mayor de San Andrés en 2007, para determinar la contaminación de la microcuenca del río Choqueyapu, determinó también la calidad estructural de los ríos que la conforman (Choqueyapu, Orkojahuirra e Irpavi), en diferentes puntos, utilizando parámetros estructurales basados en la evaluación de la estructura de un tramo representativo de río (100 m). Se evaluó la **calidad estructural** a través de los parámetros principales (las características granulométricas, dinámica hidrológica, etc.) en el desarrollo del perfil longitudinal y transversal de la corriente, la estructura del fondo, de la ribera y los alrededores del cuerpo del agua, en base a unidades funcionales características. Con estas valoraciones se llegó a definir siete clases de calidad estructural, entre natural, casi natural y excesivamente dañado.

La estabilidad se calculó en base al **Índice de inestabilidad** del substrato en los ríos, en base al método propuesto por Pfankuch y adaptado a los ríos andinos por investigadores del IRD<sup>4</sup>. Este método contempla reglas y un orden para la evaluación de la inestabilidad de los ríos, donde se presenta una escala o rangos de valoración de la pendiente en las riberas, presencia de vegetación natural o foránea, capacidad del canal, obstrucciones o barreras transversales

<sup>4</sup> Organización mundial *International Relief & Development* (IRD) que opera en Bolivia desde 1970.

etc. para luego ser utilizados en un índice que da diferentes categorías, entre 1 (estable) y 4 (muy inestable).

Además de estos dos índices: el índice de calidad estructural, que evalúa exclusivamente las alteraciones provocadas por actividades humanas de un estado supuestamente natural, y el índice de Pfankuch, que mide la estabilidad de los ríos y su cuenca y no se puede usar para situaciones totalmente alteradas como por ejemplo los ríos canalizados, se incluyó una tercera evaluación para determinar la calidad del hábitat o valoración del hábitat según la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de América (US-EPA). La calidad del hábitat para los organismos acuáticos está influida, por un lado, por la estabilidad del río y, por otro, por las influencias antropógenas. Este método usa un índice entre excelente (categoría 1) y pobre (categoría 4).

Tabla Nº 5				
Parámetros estructurales de calidad				
Valoración de índices	Excelente (1)	Bueno (2)	Regular (3)	Pobre (4)
Índice de estabilidad (Pfankuch)	38 – 55	56 – 95	96 – 130	131 – 152
Valoración del hábitat (EPA)	110 – 135	75 – 109	40 – 74	< 40
Calidad estructural (LUA)	1	2	3 – 4	5 – 7

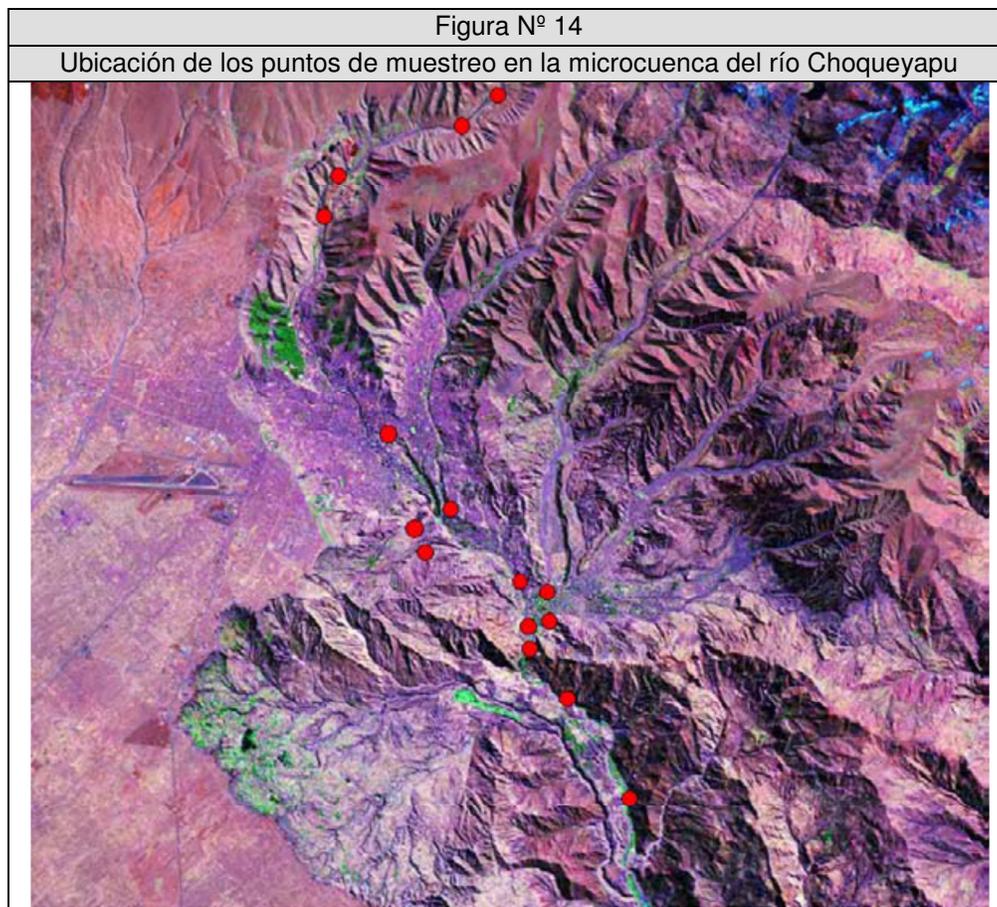
Un listado de los puntos de muestreo se presenta en el cuadro a continuación.

Tabla Nº 6	
Puntos de muestro para calidad de los ríos	
Código	Ubicación
Río Choqueyapu	
CH-1	Villa Antofagasta, Alto Achachicala, 100 m aguas arriba del puente de ferrocarril.
CH-2	Achachicala, ingreso Planta de Tratamiento AISA.
CH-3	Achachicala, 10 m aguas debajo de la descarga del matadero Municipal.
CH-4	Achachicala, 5 m aguas debajo de la descarga de la industria de alimentos Venado.
CH-5	Zona Central, 100 m aguas arriba del puente de la Av. del Ejército.
CH-6	Zona Central, 50 m aguas abajo del puente de la Av. del Ejercito.
CH-7	Zona Kantutani, 40 m aguas arriba del puente de la Av. Kantutani.
CH-8	Zona Sur – Obrajes, 50 m aguas arriba de la confluencia con el río Choqueyapu.
CH-9	Zona Sur – Obrajes, altura del surtidor Costanera.
CH-10	Zona Sur – Calacoto, 50 m aguas abajo del puente Calacoto.
CH-11	Zona Sur – Florida, 20 m aguas arriba del puente Costanera.
CH-12	Zona Sur – Florida, 100 m aguas arriba del puente de ingreso a la zona Amor de Dios.
CH-13	Zona Sur – Aranjuez, 100 m aguas arriba del puente de Aranjuez.
CH-14	Localidad de Lipari, 100 m aguas abajo del puente de Lipari.
CH-15	Localidad de Valencia, 200 m aguas arriba del puente Valencia.
Río Orkojahuira	
OR-1	Chuquiaguillo, 100 m arriba de la represa Incachaca
OR-2	Chuquiaguillo, Encima de la represa Incachaca, en la zona de turbera
OR-3	Chuquiaguillo, quebrada natural 20 m abajo de la represa Incachaca
OR-4	Chuquiaguillo, zona de areneros

OR-5a	Villa Copacabana, ingreso a la zona urbanizada
OR-5b	Villa Copacabana, centro zona urbana este
Río Irpavi	
JAMP-1	Hampaturi, 100 m encima represa Hampaturi y mina cerrada
JAMP-2	Hampaturi, 100 m abajo de la represa, área dragada
JAMP-3	Chicani, área natural
JAMP-4	Irpavi II, debajo del puente de ingreso a la zona de Irpavi II
JAMP-5	Irpavi, zona central de la urbanización Irpavi

*Fuente: Elaboración propia en base al documento del proyecto Bol 8/007 del GMLP (2007).*

Se cuenta con un mapa (Figura N° 14) únicamente de los puntos de muestreo en el río Choqueyapu tomados para este estudio, por tratarse de las aguas más representativas de la calidad estructural y biológica de la microcuenca.



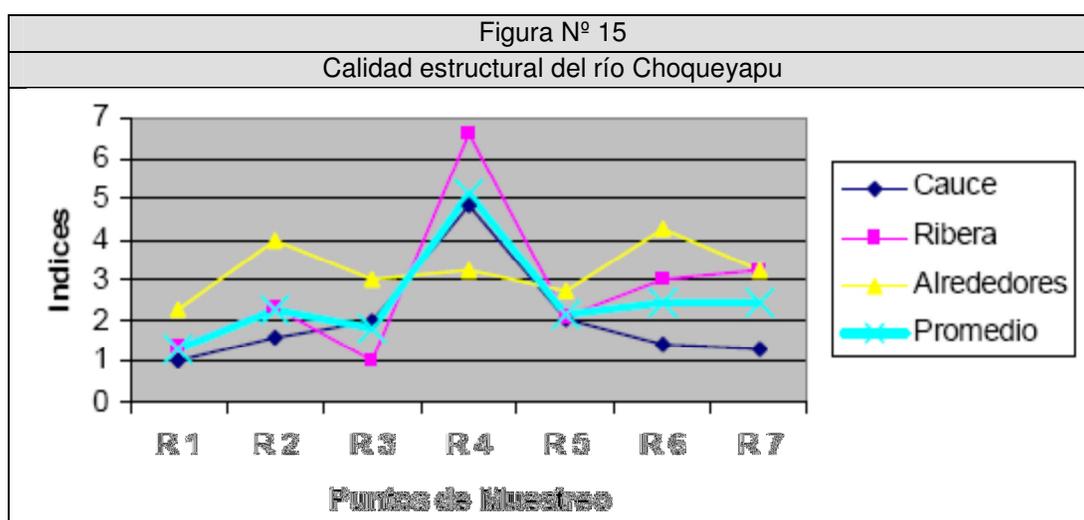
*Fuente: GMLP, Proyecto BOL 8/007, 2007.*

Los primeros puntos de muestro tomados para el estudio son en zonas no urbanizadas, en las cabeceras de los principales ríos de la microcuenca, donde las condiciones están sin alteración o muy levemente alteradas. Los siguientes puntos de muestreo son en diferentes zonas dentro de la ciudad, también en los principales ríos de la microcuenca, donde, más adelante, podrán verse altos niveles de alteración de la calidad tanto estructural como biológica. Para el río

Choqueyapu únicamente, los últimos puntos de muestreo son en las afueras de la ciudad, donde se reduce drásticamente la cantidad de viviendas y casi no se observan actividades económicas diferentes a la ganadería y agricultura.

El estudio llevado a cabo por el Gobierno Municipal de La Paz en la microcuenca del río Choqueyapu arrojó los siguientes resultados sobre la calidad estructural del río Choqueyapu y los afluentes más importantes: río Orkojahuirra y río Irpavi, en diferentes puntos de muestreo a lo largo de estos cuerpos de agua. Los resultados se presentan en las Figuras, títulos y texto a continuación.

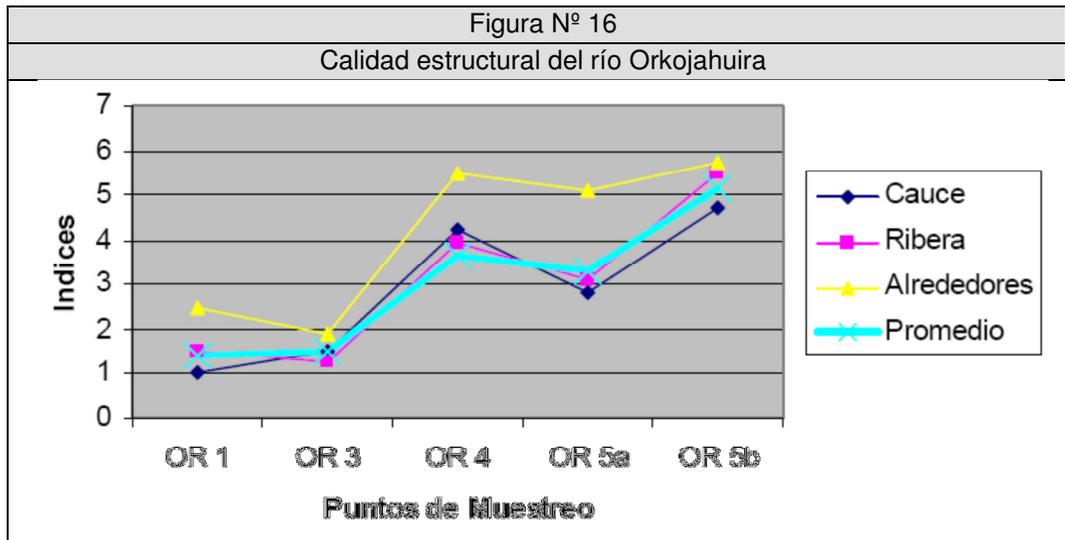
### 3.1.1 Río Choqueyapu



Fuente: GMLP, Proyecto BOL 8/007, 2007.

Según los resultados reflejados en la figura N° 15 obtenidos por el GMLP, en el río Choqueyapu, la **estabilidad** oscila entre suficientemente estable casi en todo su recorrido y muy inestable únicamente en el puente de Lipari, el **valor del hábitat** se define entre bueno y regular y la **calidad estructural** entre casi natural (1) y dañada (5), lo que significa que el impacto humano tiene la mayor oscilación. El lugar con menos influencia antropogénica es la cabecera del valle, en las faldas de la Cordillera Oriental donde nace este río, el lugar más dañado por impacto humano es la parte canalizada que atraviesa la ciudad de La Paz, tanto en el cauce, como en la ribera. En promedio, el tramo que atraviesa la ciudad es el que se encuentra más afectado (GMLP, 2007)

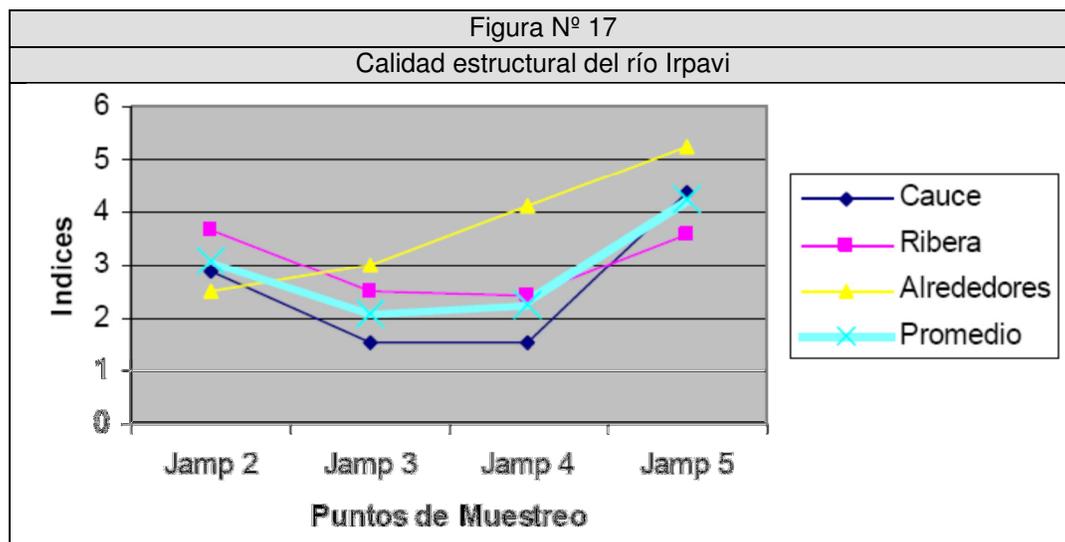
### 3.1.2 Río Orkojahuirra



Fuente: GMLP, Proyecto BOL 8/007, 2007.

En el río Orkojahuirra, como puede verse según los resultados de la figura N° 16, la **estabilidad** oscila entre suficientemente estable y muy inestable, el **valor del hábitat** se define entre bueno y regular y la **calidad estructural** entre casi natural (1) y dañado (5). Este río es mucho más afectado por la actividad arenosa y la canalización, por lo que los valores reportados empeoran más rápidamente que en el río Choqueyapu (GMLP, 2007).

### 3.1.3 Río Irpavi



Fuente: GMLP, Proyecto BOL 8/007, 2007.

Para el río Irpavi (Figura N° 17), según el estudio del GMLP, no se tienen datos sobre la calidad estructural encima de la represa de Hampaturi (punto más alto y menos afectado del río), pero se asume que, al igual que en los ríos Choqueyapu y Orkojahuirra la calidad estructural en esa

zona es la mayor y se asemeja a los valores para estos. La **estabilidad** en los lugares debajo de la represa Hampaturi, cada vez más cercanos a la ciudad, oscila entre suficientemente estable y muy inestable, el **valor del hábitat** se define entre bueno y pobre y la **calidad estructural** entre casi natural (1) y significativamente influenciado (4). En la entrada al barrio de Irpavi, las obras de construcción de muros de contención para canalizar el río se encuentran en plena ejecución, así este lugar adquiere ya una puntuación más baja, probablemente entre dañado (5) y altamente influenciado (6).

### 3.2 Calidad biológica

Es necesario, antes de proceder con el desarrollo de la información relacionada a la calidad biológica de las aguas de la microcuenca del Choqueyapu, definir lo que es la “calidad”. Alba-Tercedor (1996), sostiene que, el término “calidad” puede ser muy relativo al tratar de determinar las aptitudes de las agua continentales para un uso específico. Es así que las aguas residuales domésticas por su alto contenido orgánico, pueden presentar una calidad excelente si se quiere destinar su uso riego ornamental o forestal, mientras que presentan una calidad muy pobre si es que quieren destinarse a consumo humano. Ocurre lo mismo si nos referimos a aguas cloradas, que si bien presentan una excelente calidad sanitaria, son muy inapropiadas como medio de desarrollo de comunidades biológicas. Por lo que, al buscar evaluar la calidad de las aguas mediante el estudio de comunidades de organismos, se debe emplear el término “calidad biológica”, entendida como el conjunto de características naturales que permiten el desarrollo de comunidades de organismos propias de ese sistema.

Para la evaluación de la **calidad biológica** de las aguas de la microcuenca del río Choqueyapu, se determinó como óptimo el uso de indicadores basados en la presencia de macroinvertebrados bentónicos, ya que estos ofrecen ventajas como:

- Encontrarse en todos los sistemas acuáticos, por lo que favorecen los estudios comparativos.
- Ser de naturaleza sedentaria, lo que permite un efectivo análisis espacial de los efectos de las perturbaciones.
- Presentar ventajas técnicas asociadas a los muestreos cuantitativos y análisis de las muestras, que pueden ser realizados con equipos simples y baratos.
- La taxonomía de muchos grupos se encuentra ampliamente estudiada.
- Existen numerosos métodos para el análisis de datos, incluyendo índices bióticos y de diversidad, los cuáles han sido utilizados ampliamente en biomonitoreos a nivel comunitario y de respuestas individuales.

Para determinar la calidad biológica de la microcuenca del río Choqueyapu, se utilizaron diferentes índices que permiten reflejar la situación de la fauna béntica en relación a la contaminación y a las alteraciones estructurales que sufren estos ríos.

Los índices utilizados fueron:

- Índice de Shannon y Weaver
- Índice de Kothé
- Índices EPT – IAI

- Índice BMWP'
- **Índice de Shannon - Weaver:** se usa en ecología u otras ciencias similares para medir la biodiversidad. Este índice se representa normalmente como  $H'$  y se expresa con un número positivo, que en la mayoría de los ecosistemas naturales varía entre 1 y 5. Excepcionalmente puede haber ecosistemas con valores mayores (bosques tropicales, arrecifes de coral) o menores (algunas zonas desérticas). La mayor limitante de este índice es que no tiene en cuenta la distribución de las especies en el espacio.

La fórmula del índice de Shannon es la siguiente:

$$H' = - \sum_{i=1}^S p_i \ln p_i$$

donde:

- $S$  – número de especies (la riqueza de especies)
- $p_i$  – proporción de individuos de la especie  $i$  respecto al total de individuos (es decir la abundancia relativa de la especie  $i$ ):  $\frac{n_i}{N}$
- $n_i$  – número de individuos de la especie  $i$
- $N$  – número de todos los individuos de todas las especies

De esta forma, el índice contempla la cantidad de especies presentes en el área de estudio (*riqueza de especies*), y la cantidad relativa de individuos de cada una de esas especies (*abundancia*)

- **Índice de Khoté:** este índice evalúa la fauna béntica de un río en relación a un punto de referencia que se considera cuenta con el 100% de la fauna presente en todo el cuerpo de agua. A partir de este punto de referencia o comparación, puede determinarse la abundancia de especies en el resto de puntos de muestreo u observación.
- **Índice EPT e IAI:** se basan en la cantidad de individuos de tres Órdenes de macro invertebrados (*Ephemeroptera*, *Plecoptera* y *Tricoptera*), sensibles a la contaminación y alteración en el hábitat en comparación a la abundancia de otros grupos de taxa. El IAI, compara con el número de individuos de Quironomidos y Oligoquetos, que son organismos indicadores de polución.
- **Índice WP:** (*Biological Monitoring Working Party*) modificado según zonas de aplicación. Se computa sumando las puntuaciones asignadas a los distintos taxones encontrados en las muestras de macroinvertebrados que se citan en una lista elaborada al respecto. La mayor o menor puntuación asignada a un taxón está en función de su mayor o menor sensibilidad a la contaminación orgánica y al déficit de oxígeno que la contaminación suele provocar en la mayor parte de los ríos, a excepción de aquellos sistemas de ríos más torrenteros y de aguas agitadas y por ello muy oxigenadas. El índice da puntuación a 131 familias de macroinvertebrados. La suma de los valores de todas las familias identificadas

da un valor final del índice para el que no se ha definido un límite máximo, pero que no suele superar el valor de 200. En Bolivia aún se trabaja en una metodología adaptada a las características de sus ríos, por lo que para estudios relacionados, se utiliza la metodología adaptada a las características de la Península Ibérica.

Dado que dentro de los objetivos de la presente investigación no se encuentra el desarrollo de una metodología para la determinación de la calidad biológica para la microcuenca en estudio, únicamente se utilizará información bibliográfica recopilada sobre este tema, a fin de construir el marco biológico y alcanzar el objetivo principal planteado para esta investigación.

Al igual que en el caso de la determinación de la calidad estructural de la microcuenca del río Choqueyapu, el Gobierno Municipal de La Paz, en 2007, llevó a cabo un exhaustivo estudio para determinar la calidad biológica de los principales ríos que componen esta microcuenca, a partir de la recolección de muestras en diferentes puntos de los ríos y su posterior análisis. Los resultados presentados a continuación son los que obtuvo el estudio del GMLP durante dos campañas de recolección de datos: una durante la época seca (noviembre) y otra durante la época húmeda (abril), tomando en cuenta 18 puntos de muestreo desde la parte alta de los ríos Choqueyapu, Orkojahuirra e Irpavi, atravesando la ciudad y hasta la unión con la cuenca del río La Paz en la localidad de Río Abajo. La ubicación de los puntos de muestro puede verse en el cuadro a continuación.

Tabla Nº 7	
Ubicación de los puntos de muestreo de calidad biológica	
Código	Ubicación
Río Choqueyapu	
R-1	Cabecera del río Choqueyapu
R-2	Salida fábrica de estuco Bedoya
R-3	Más abajo de los areneros
R-4	Ingreso a la zona urbana
R-5	Achachicala, debajo del cruce de la autopista
R-6	A 150 metros del puente de Lipari
R-7	Población de Mecapaca
Río Orkojahuirra	
Ork-1	100 m encima de la represa Incachaca
Ork-2	50 m encima de la represa Incachaca
Ork-3	50 m abajo de la represa Incachaca
Ork-4	Zona Chuquiaguillo, altamente intervenida por la actividad de areneros
Ork-5	Zona Chiquiaquillo, ingreso a la zona urbanizada altamente intervenida
Ork-6	Zona Villa Copacabana, zona urbanizada altamente intervenida
Río Irpavi	
Jam-1	Río arriba de la represa Hampaturi
Jam-2	Zona de cañadones, 200 m más abajo de la represa Hampaturi
Jam-3	Área río abajo del cierre del pequeño valle del punto Jam-2
Jam-4	Debajo el puente rustico de Chinchaya antes de la zona urbanizada
Jam-5	Zona urbanizada Irpavi, altamente modificado

Fuente: Elaboración propia en base a GMLP, Proyecto BOL 8/007, 2007.

Los resultados del estudio de la calidad béntica se presentarán según el río estudiado y los indicadores en cada uno de ellos:

### 3.2.1 Río Choqueyapu

Los resultados del estudio se presentan en la tabla a continuación:

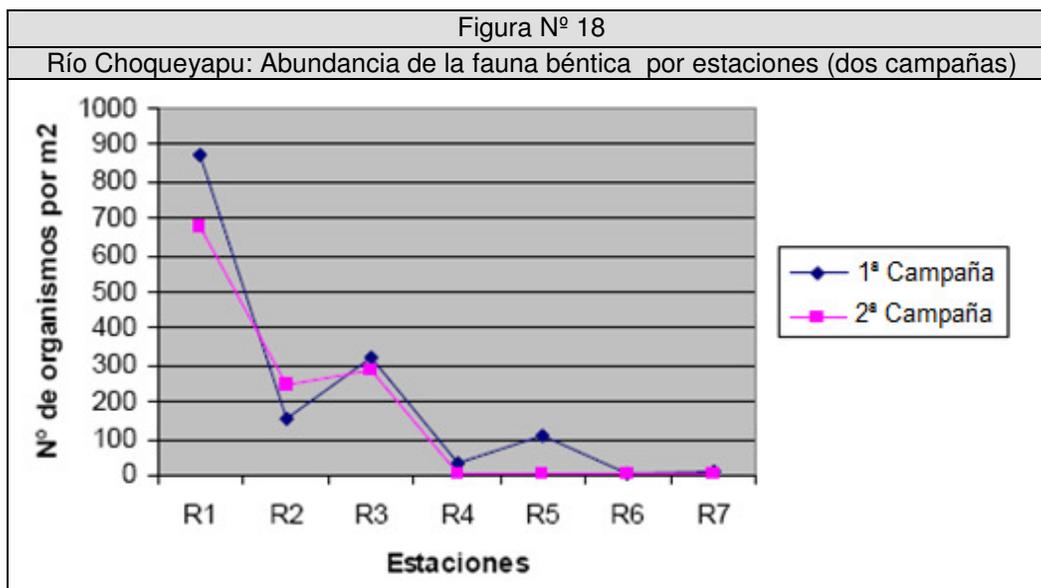
Tabla N° 8							
Resumen de datos biológicos río Choqueyapu							
Índices	Puntos de muestro						
	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7
Primera campaña							
Nº Individuos	872	176	1221	24	111	3	12
Nº Taxa	13	8	7	5	8	2	6
Diversidad	1,4648	0,9464	0,8930	0,7553	0,5561	0,6359	1,3340
Equitatividad	0,5711	0,4110	0,4588	0,4215	0,2674	0,9174	0,7445
Kothé Nº Grupos	13	8	7	5	8	2	6
Kothé %	100	61	54	38	61	15	46
EPT	0,46	0,37	0,43	0,08	0,01	0	0
IAI	0,47	0,45	0,48	0,09	0,02	0	0
BMWP'	63	46	39	25	32	8	15
Segunda campaña							
Nº Individuos	676	246	287	8	4	8	5
Nº Taxa	16	8	4	2	3	6	3
Diversidad	1,007	0,8974	0,5663	0,6065	1,0397	1,213	0,7732
Equitatividad	0,3633	0,1084	0,4084	0,875	0,9464	0,67	0,7038
Kothé Nº Grupos	16	8	4	2	3	6	3
Kothé %	100	50	25	12	18	37	18
EPT	0,156	0,231	0,815	0,25	0,25	0	0
IAI	0,097	0,287	0	0,66	0,33	0	0
BMWP'	67	42	15	5	7	14	8

Fuente: GMLP, Proyecto BOL 8/007, 2007.

Según los resultados del estudio del GMLP para la determinación de la calidad biológica del río Choqueyapu puede observarse que el hábitat acuático de la cabecera del río Choqueyapu (**R1**) se caracteriza por tener un substrato estable, compuesto de cascajo fino como elementos más dominantes, piedra fina y arena gruesa como elementos complementarios, además de otras composiciones donde se puede distinguir algunos pequeños bancos de arena fina; la velocidad del agua no ha sido definida, sin embargo la profundidad media oscila entre 10 a 15 cm. Existiendo pequeñas pozas con profundidades hasta de 80 cm. El **R2** presenta substratos compuestos de piedra gruesa muy estable en la mayoría del sector con muchos depósitos de elementos finos de color rojizo producto de la descarga de la fábrica Bedoya, el **R3** es un sector más abajo de la actividad intensa de areneros y el río se abre en una planicie, dando lugar al mejoramiento del hábitat acuático.

El **R4**, es un sector canalizado con concreto de cemento y piedra, el substrato es homogéneo entre piedra grande y cascajo grueso, en este sector la extracción de arena es también muy intensa. El **R5**, denominado “La Isla”, es un sector debajo del cruce de la autopista, el hábitat acuático es extremadamente alterado por los depósitos de escombros y basura. El **R6** se encuentra a aproximadamente 150 metros del puente de Lipari, el sector presenta protectores de erosión lateral por troncas y callapos, el hábitat acuático presenta substratos muy homogéneos compuestos de piedra fina, cascajo y grava gruesa. El **R7** a la altura de la población de Mecapaca, es un área muy intervenida por la actividad agrícola.

Las evaluaciones de la fauna béntica del **R1** han permitido identificar en el estudio del GMLP una diversidad de organismos acuáticos de 16 grupos de taxa. Según este estudio, son más abundantes los Oligoquetos, probablemente por influencia de las turberas río arriba. Otros grupos son registrados en menor cantidad, sin embargo, la presencia de los organismos EPT, indicadores de buena calidad del agua en la estación de referencia R1, puede ser observada en cantidades relativamente importantes.



Fuente: GMLP, Proyecto BOL 8/007, 2007.

A partir de los resultados del estudio del GMLP de 2007, se puede observar la abundancia de organismos bénticos durante las dos campañas, ya que no existe una diferencia marcada entre ambas épocas (Figura N° 18). El **R1**, sitio con muy bajas perturbaciones, presenta la máxima abundancia. Río arriba de esta estación, además del pastoreo de camélidos y ovinos, existe poca actividad minera, esta zona también es influenciada por grandes depósitos de turba de forma natural. El **R2** está perturbado por las descargas de la fábrica de estuco “Bedoya”. Sin embargo, río abajo, hasta el cruce de la autopista, las perturbaciones son por la explotación de sólidos (areneros), rectificación del río, botadero de basuras y descargas de aguas servidas. En el punto **R3**, la abundancia de organismos bénticos presenta una recuperación leve debido a que este punto de muestreo se encuentra más abajo de las actividades de los areneros, área donde también se amplía el cauce del río y el proceso de recuperación del hábitat acuático se

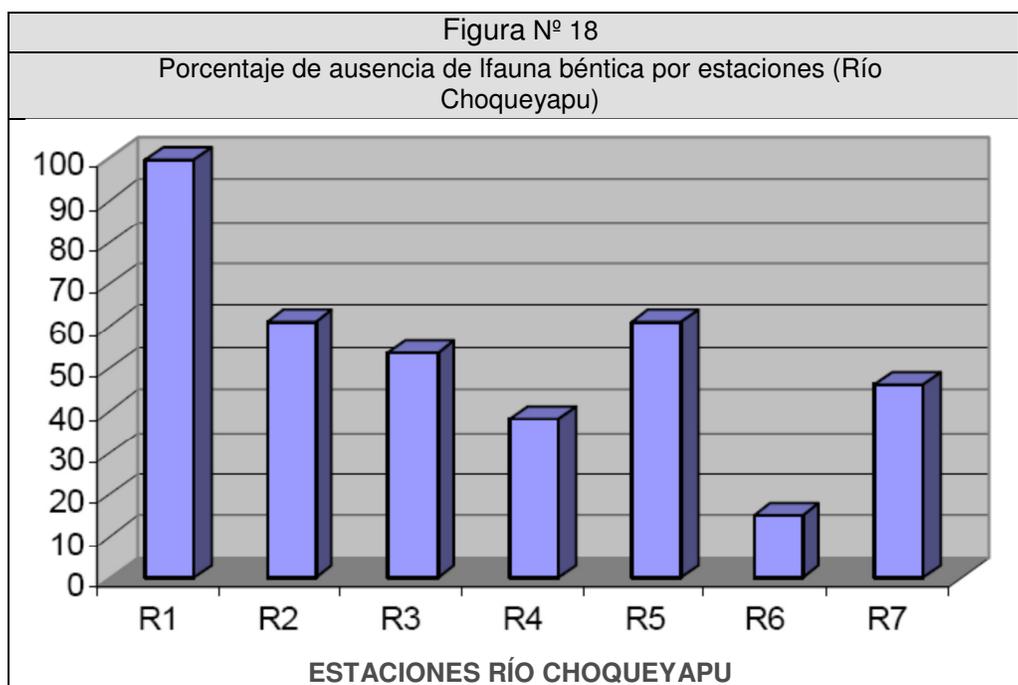
hace favorable. A partir de la autopista, hasta la localidad de Mecapaca (**R7**), donde se magnifican las perturbaciones, la presencia de organismos bénticos se reduce a algunos oligoquetos y chironomidos (organismos resistentes a la contaminación orgánica), otros organismos encontrados, como los Efemeroterios, se asume que están presentes por el proceso de deriva (GMLP, 2007).

- **Índice de Shannon y Weaver**

La diversidad de organismos medido a través de este índice arrojó en el estudio del GMLP un valor promedio de 1 (no es significativo), que es extremadamente bajo (valor más alto del índice Shannon 5), a través de este resultado, se puede asumir que la aplicación de este índice no es recomendable para este tipo de ríos, debido a que la diversidad de grupos de taxa referidos principalmente a los EPT no es mayor a dos familias en el lugar de estudio, lo que contrariamente ocurre en ríos de zonas templadas donde el índice funciona adecuadamente. En consecuencia, el Índice de Equitatividad aplicado que funciona en base al índice de Shannon, tampoco logra obtener resultados significativos o determinantes de la calidad biológica del río.

- **Índice de Khote**

El índice de Kothe trabaja en base a una estación de referencia, en este caso la estación **R1** del río Kaluyo sirve de referencia, donde el número de organismos por metro cuadrado encontrados son la base de definición de la riqueza béntica de todo el río Choqueyapu, los organismos faltantes determinaran en porcentaje la calidad biológica. En la grafica siguiente se presenta los resultados de este índice:

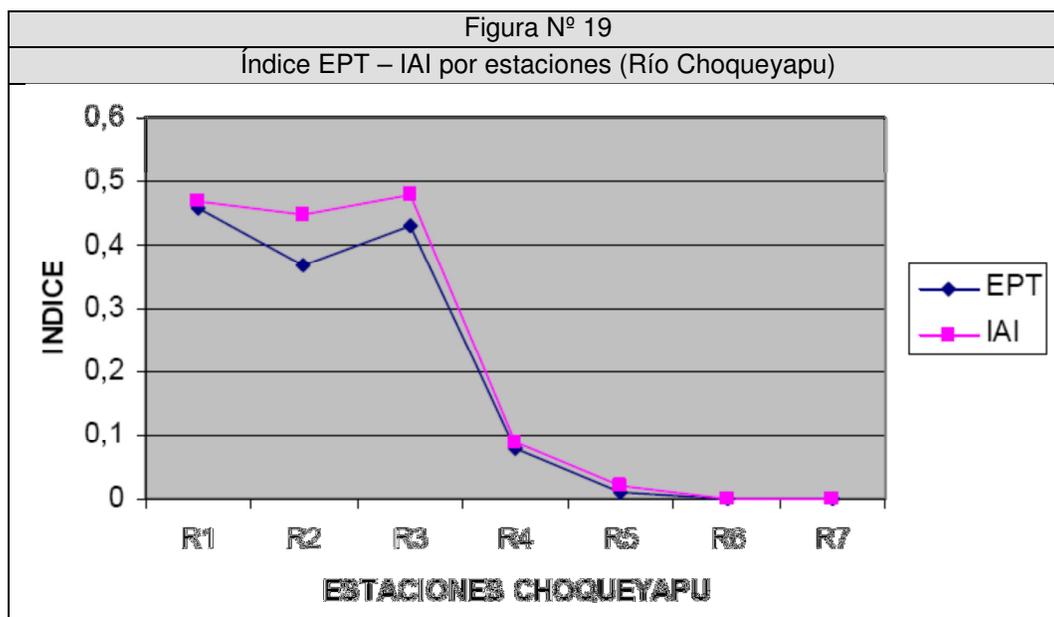


Fuente: GMLP, Proyecto BOL 8/007, 2007.

Refiriéndonos a los resultados presentados en la Figura N° 18 a partir del estudio del GMLP, se observa que el 100 % del **R1** tiene tendencia de disminución de forma muy clara hacia las otras estaciones que sufren influencias directas de perturbaciones, el **R4** por ejemplo, es una estación en un área rectifica del río (área canalizada) en la zona de Villa Concepción. El efecto de la rectificación, en la mayoría de los casos, provoca la pérdida de hábitat en forma casi total, la ausencia de casi la totalidad de organismos se debe a que esta rectificación es de un pequeño tramo, es por esta razón que los resultados muestran porcentajes por lo menos de un 38% de organismos en relación al punto de referencia. Sin embargo, el **R6** es el más bajo de los porcentajes encontrados; esta estación corresponde a la región de Lipari (Río abajo del puente Lipari), sitio de mayor grado de contaminación o área de descarga de toda la ciudad de La Paz. Río abajo de esta estación, las aguas del río Choqueyapu se usan para riego.

- **Índice EPT – IAI**

Los índices EPT e IAI, presentan valores muy similares y muy bajos. La siguiente Figura corrobora al Índice de Kothe:



Fuente: GMLP, Proyecto BOL 8/007, 2007.

Las alteraciones a nivel hábitat (Figura N° 19) ocurren principalmente en el sector de la fábrica de estuco Bedoya, y durante el tramo canalizado de Villa Concepción. Río abajo las alteraciones son muy fuertes tanto a nivel del hábitat, como de la calidad de agua.

- **Índice WP'**

En la ponderación de valores por tipo de familias a través del índice BMWP' del estudio del GMLP, la estación de referencia **R1** presenta aguas con algunas señales de contaminación probablemente por efecto de las turberas que aportan importantes cantidades de materia orgánica y hacen que la presencia abundante de oligoquetos determine esta calidad. Sin embargo, la presencia de los grupos EPT permite definir a este sector como de aguas limpias.

Para **R2** y **R3** la ponderación las clasifica como aguas contaminadas, pero esta contaminación se debe, en mayor medida, a las perturbaciones por la descarga de sólidos muy finos de la fábrica de estuco “Bedoya”, que afectan a la calidad de hábitat de los organismos bentónicos. Las estaciones **R4** y **R5** presentan aguas muy contaminadas y definitivamente **R6** y **R7** tienen aguas totalmente contaminadas.

### 3.2.2 Río Orkojahuiria

Los resultados del estudio del GMLP se presentan en la tabla a continuación. A diferencia del caso del río Choqueyapu, los datos en el río Orkojahuiria fueron tomados en una sola campaña.

Tabla N° 9						
Resumen de datos biológicos río Orkojahuiria						
Índices	Puntos de muestro					
	Ork1	Ork 2	Ork 3	Ork 4	Ork 5	Ork 6
Nº Individuos	1566	808	1247	14	7	8
Nº Taxa	17	17	13	5	3	1
Diversidad	1,6415	1,6703	1,0201	1,6417	1,1275	1,0735
Equitatividad	0,5794	0,5895	0,3977	0,9163	0,7006	0,7744
Kothé Nº Grupos	17	17	13	6	3	1
Kothé %	100	100	76	35	17	5
EPT	0,19	0,15	0,03	0	0	0
IAI	0,26	0,18	0,03	0	0	0
BMWP'	87	87	65	17	11	7

Fuente: GMLP, Proyecto BOL 8/007, 2007.

En el río Orkojahuiria solamente se identifican dos áreas naturales: **Ork 1** y **Ork 2**, estos sitios presentan hábitats acuáticos muy estables, compuestos de rocas muy grandes, bloques, piedra gruesa y bancos de arena gruesa y fina, sus aguas son muy limpias y transparentes. El **Ork 3** debajo de la represa Incachaca es un área muy poco intervenida con hábitats acuáticos bastante estables. El **Ork 4** es un sector ampliamente intervenido por los areneros, el substrato es muy seleccionado de piedras grandes y cascajo con muy poca arena en la base. El **Ork 5** y **Ork 6** se encuentra entre barreras de concreto, el substrato es heterogéneo y el hábitat acuático con influencias de depósitos de basura y mucha materia orgánica (GMLP, 2007).

Según las evaluaciones del GMLP de la fauna béntica en el río Irpavi, de los 17 grupos de taxa presentes, son abundantes las familias Baetidae, Leptophlebiae (Efemeroptera), Elmidae (Coleoptera), planorbidae y el taxa Oligochaeta. Los otros grupos como el EPT se encuentran presentes pero en bajas cantidades. La fauna béntica de **Ork 1** está representada por las familias Baetidae, Leptophlebiae (Efemeroptera), Gripopterygidae y Perlidae (Plecoptera), Hydropsichidae e Hydrobiosidae (Trichoptera), además de los Orthoclaadiinae (Díptera) y los Elmidae (Coleóptera). El **Ork 2** es muy similar en abundancia de organismos, sin embargo en esta estación puede observarse un incremento en la abundancia de los Oligochaeta probablemente porque en este sector existen depósitos importantes de turba. En **Ork 3** y **Ork 4** la diversidad de familias se reduce significativamente y se hacen más abundantes los

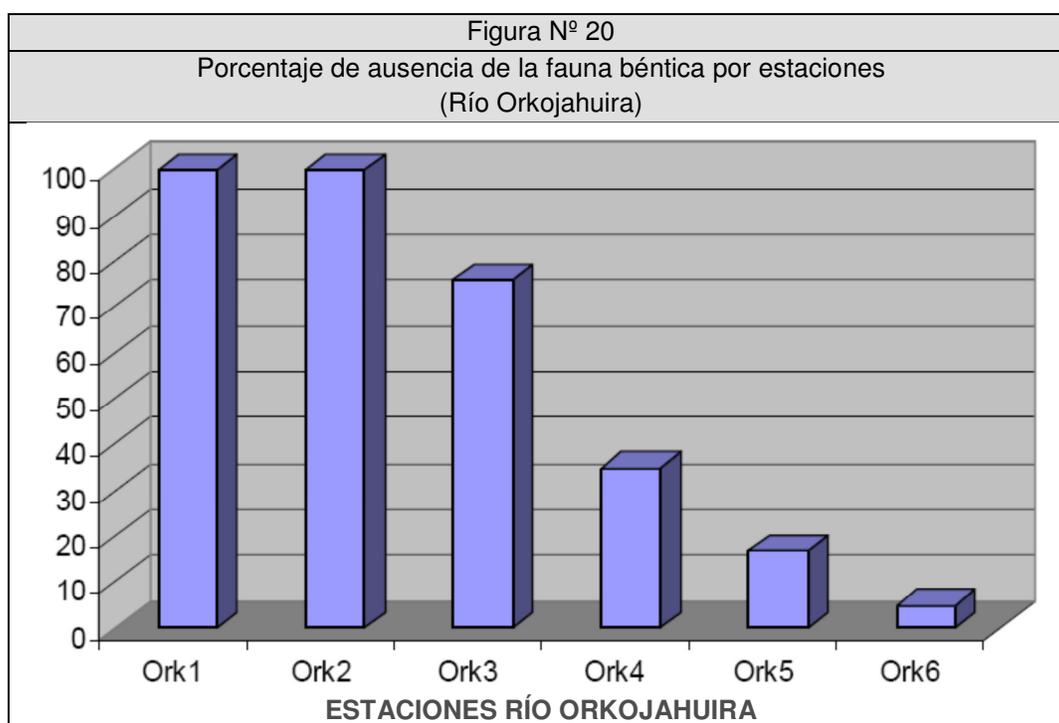
Oligoquetos y los Orthoclaadiinae (Díptera), familias muy resistentes a perturbaciones. En cambio en **Ork 5** y **Ork 6** la diversidad baja drásticamente.

- **Índice de Shannon y Weaver**

Las consideraciones sobre la aplicabilidad de los índices de Shannon y Equitatividad para ríos de la región andina (Bolivia), no son aplicables para una interpretación de la diversidad biológica por los resultados encontrados en el río Orkojahuirá.

- **Índice de Khoté**

El índice de Kothe (Figura N° 20) basado en los resultados obtenidos por el GMLP, muestra dos estaciones con el 100 % de los grupos de taxa encontrados en el río Orkojahuirá, lo que significa alta calidad del río en estos sectores, **Ork 3** cuenta con la ausencia de tres familias del grupo EPT: Hydropsichodae, Hydobiodae (Tricoptera) y Perlidae (Plecoptera), familias que dan valor de calidad a las aguas de los ríos. A partir del **Ork 4**, son varias las familias ausentes especialmente los EPT, y con predominancia de los Díptera o Oligochaeta, grupos de taxa indicadoras de polución.

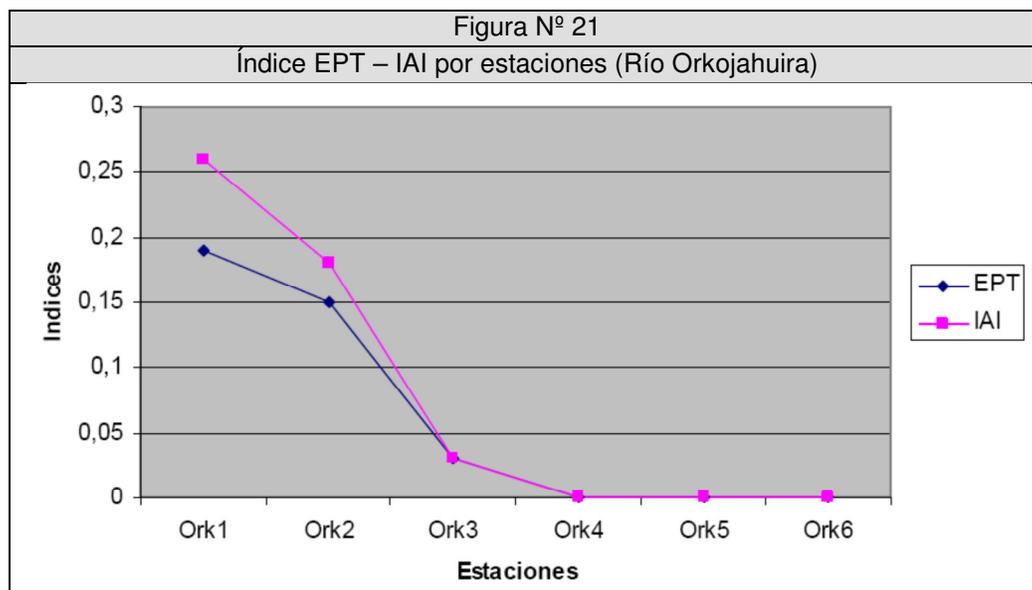


Fuente: GMLP, Proyecto BOL 8/007, 2007.

- **Índices EPT – IAI**

En la Figura N° 21 vemos que el Índice EPT representa valores bastante bajos. Sin embargo, la presencia de estos grupos de Órdenes, aun con un bajo número de familias, demuestra la calidad del agua en el punto de referencia. El índice **IAI**, presenta valor más alto en el **Ork 1**, esto debido a la presencia mayor de los Quironomidos (841 individuos/m<sup>2</sup>) frente a los Oligochaetas (5 individuos/m<sup>2</sup>). Si bien los Quironomidos son indicadores de mala calidad de aguas, son organismos extremadamente ubicuos y es posible encontrarlos en diferentes

calidades de agua, especialmente los de la familia Ortocladinae. Otras familias, como la quironominaes son exclusivas de aguas anóxicas por efecto de la polución o abundante concentración de materia orgánica. De acuerdo al resultado global de este índice y la ausencia de los EPT, el Orkojahuira a partir del **Ork 3** presenta aguas muy intervenidas y contaminadas (GMLP, 2007).



Fuente: GMLP, Proyecto BOL 8/007, 2007.

- **Índice WP'**

Según los colores que se obtiene a través de la ponderación de familias con el índice BMWP' en el estudio llevado a cabo por el GMLP, el río Orkojahuira en las dos primeras estaciones es de aguas con alguna señal de contaminación, sin embargo, como en los anteriores párrafos se ha ido ratificando, la ausencia de otras familias de los grupos de EPT hacen que las ponderaciones sean disminuidas, por lo que puede asumirse que esas dos estaciones presentan aguas de buena calidad y se incluye el **Ork 3**. Río abajo, el Orkojahuira sufre elevadas perturbaciones por los areneros y las descargas de aguas servidas además de los basurales, haciendo que la última estación alcance niveles de aguas altamente contaminadas (color rojo).

### 3.2.3 Río Irpavi

El río Irpavi, al igual que el Orkojahuira ha sido evaluado bajo las investigaciones de una sola campaña.

Tabla N° 10					
Resumen de datos biológicos río Irpavi					
Índices	Puntos de muestro				
	Jamp 1	Jamp 2	Jamp 3	Jamp 4	Jamp 5
N° Individuos	583	4	211	9	0
N° Taxa	14	3	10	5	0

Diversidad	1,1746	1,0397	1,0948	0,9109	0
Equitatividad	0,4452	0,9464	0,4755	0,9109	0
Kothé N° Grupos	14	13	10	8	0
Kothé %	100	21	71	35	0
EPT	0,113	0	0,691	0	0
IAI	72	7	48	5	0
BMWP'	0,14	0	0,55	0	0

Fuente: GMLP, Proyecto BOL 8/007, 2007.

El punto de referencia para las evaluaciones biológicas del río Irpavi es el **Jamp 1**, zona sin perturbaciones donde se aprecian caídas y cascadas de aguas muy limpias. El hábitat acuático está compuesto por elementos rocosos con pendientes que oscilan entre un 3% y 10% según el estudio del GMLP de 2007. El **Jamp 2** es un área fuertemente intervenida (presenta el cauce dragado) y receptor de pequeños arroyos con carga de aguas producto de la actividad minera, no existe un substrato que describa un hábitat natural para los macroinvertebrados, **Jamp 3**, por el contrario, es un área poco intervenida y el cauce es bastante natural, el hábitat acuático es muy estable y está compuesto de bloques, piedra grande, arena y cascajo grueso. En **Jamp 4**, las aguas son turbias como efecto de la actividad de la explotación de sólidos (areneros), el hábitat acuático se ve muy alterado. **Jamp 5**, es un área donde no existen cursos de aguas naturales por las frecuentes desviaciones ocasionadas por los trabajos de rectificación del río Irpavi que se realizan en el sector (GMLP, 2007).

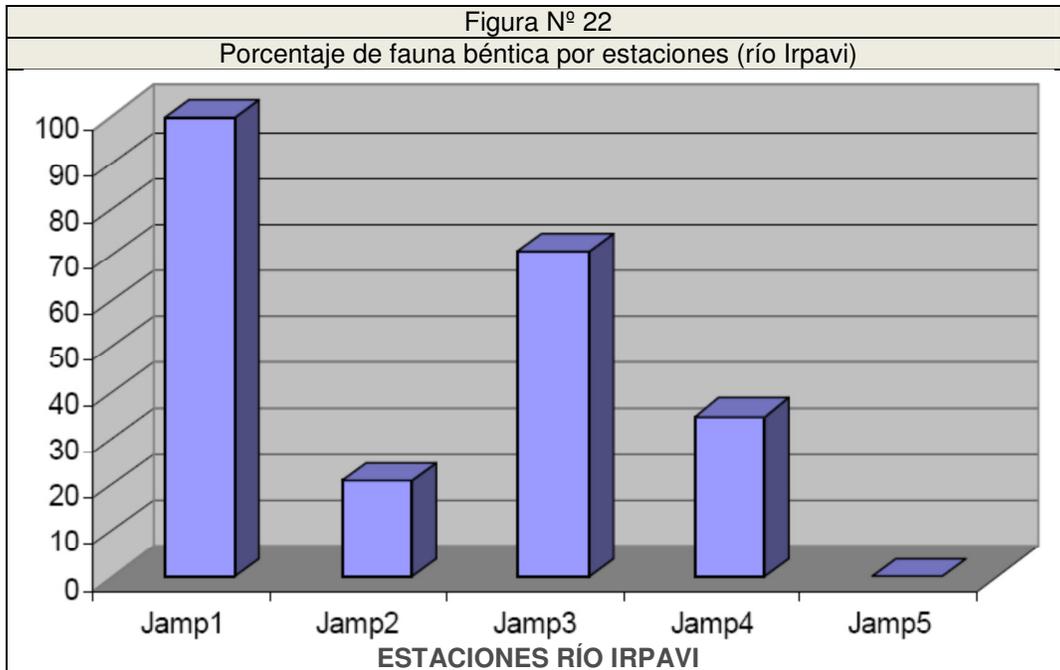
La fauna béntica en el río Irpavi está representada por 14 grupos de taxa en el punto de referencia, los grupos encontrados en los otros puntos son bastante bajos por las diversas perturbaciones que sufre el río.

- **Índice de Shannon y Weaver**

No se hace el análisis correspondiente por las mismas consideraciones descritas en puntos de muestro anteriores.

- **Índice de Khoté**

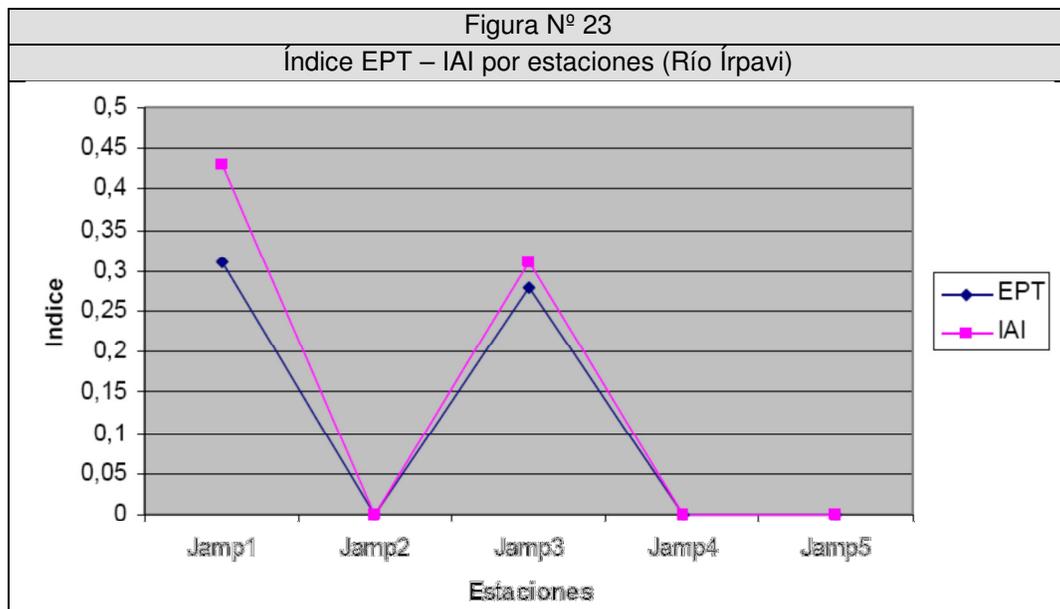
Según los resultados obtenidos por investigaciones del GMLP, el porcentaje de las estaciones río abajo de la de referencia presentan valores bajos (Figura N° 22). Por ejemplo, **Jamp 2** es un área donde no se observa polución orgánica y las aguas son limpias, sin embargo, las descargas de aguas de minas activas de la zona y el dragado del cauce, estarían determinando la ausencia drástica de grupos de taxa en relación a la estación de referencia. En la grafica se puede observar una inmediata recuperación en **Jamp 3**, esto posiblemente en razón a que en el área existen varios pequeños afluentes que estarían diluyendo la contaminación minera, además de presentar un cauce sin intervenciones de ninguna clase. **Jamp 4**, donde el máximo de perturbación es la actividad de los areneros, presenta aproximadamente el 30% de los taxa en comparación a la estación de referencia. **Jamp 5**, por los trabajos civiles que se desarrollan en la zona, como en ninguna otra estación, sufre la ausencia total de macroinvertebrados.



Fuente: GMLP, Proyecto BOL 8/007, 2007.

- ** ndice EPT – IAI**

Los valores del EPT (Figura N° 23) que muestran buena calidad en las estaciones del río Irpavi solamente se reduce a **Jamp 1** y **Jamp 3**. Las otras estaciones río abajo se considerarían como altamente contaminadas ya que, según las evaluaciones de estas dos estaciones por el GMLP, est n totalmente ausentes los géneros *Ephemeroptera*, *Plecoptera* y *Trichoptera*. El  ndice **IAI**, eleva levemente los valores en las dos estaciones de buena calidad por el ajuste que se da en la fórmula de evaluación y suma la presencia de los *Quironomidos* y *Oligochaetas*.



Fuente: GMLP, Proyecto BOL 8/007, 2007.

- **Índice WP'**

En el cuadro de resumen de datos del río Irpavi, se puede advertir que las estaciones de mala calidad son tres de acuerdo al índice BMWP', a través de la ponderación de los macroinvertebrados acuáticos, estas serían áreas de alta contaminación (color rojo).

# **CAPÍTULO IV.**

## **Socioeconomía del área de estudio**

---

# Capítulo IV

## Socioeconomía del área de estudio

### 4.1 arco socioeconómico

La principal población que lleva a cabo actividades económicas, culturales y sociales que tienen efectos sobre la calidad de las aguas de la microcuenca del Río Choqueyapu es la ciudad de La Paz, tanto aguas arriba como aguas abajo del principal río de la microcuenca. Por tanto, se tratarán los principales datos socioeconómicos de esta población.

La ciudad de La Paz es la sede de gobierno del Estado Plurinacional del Bolivia, es la segunda ciudad con mayor población del país (INE, 2001) y presenta importantes actividades industriales y económicas que ejercen importante presión en los recursos naturales donde se encuentra asentada, particularmente en los recursos hídricos de los que la población se abastece.

#### 4.1.1 Población de la ciudad de La Paz

Según el Censo Nacional de Población y Vivienda del año 1992 y 2001 del Instituto Nacional de Estadística (INE), la ciudad de La Paz cuenta con los siguientes datos demográficos:

Tabla N° 11				
Datos demográficos de la ciudad de La Paz (1992)		Datos demográficos de la ciudad de La Paz (2001)		Área
Población total	No. de viviendas	Población total	No. de viviendas	
713 378	180 175	789 585	205 254	Urbana
2 522	s.d.	3 708	1 368	Periurbana

*Fuente: Censo INE, 1992 y 2001.*

Como puede observarse en el cuadro anterior, la población de la ciudad de La Paz ha experimentado un alto crecimiento entre los años 1992 y 2001, al igual que las viviendas tanto en el área urbana como en el área periurbana.

Se atribuye el alto crecimiento de la ciudad de La Paz a la intensa migración desde el campo hacia la ciudad y de otras ciudades menores, en busca de oportunidades laborales, mejores condiciones de vida y acceso a servicios básicos de mayor cobertura. (Vacaflores, 2003)

La población creció en aproximadamente un 10,68% en 9 años (Tasa Anual de Crecimiento Intercensal 1,11%). Para 2001, el 94,87% de las viviendas en la zona urbana contaba con acceso a servicio de alcantarillado, todo desembocando, tarde o temprano, en el Río Choqueyapu o sus afluentes (GMLP, 2005)

#### 4.1.2 Uso del suelo

Siendo que la ciudad de La Paz, como sede de gobierno, presenta una de las economías más importantes del país, con una alta actividad industrial productiva, viviendas y pequeños negocios, producción agrícola y una de las tasas más altas de crecimiento urbano, la presión ejercida en los recursos naturales que sustentan estas actividades, entre estos sobre las cuencas y microcuencas hidrográficas, es cada vez mayor y las consecuencias de esta afectan tanto a la población, como a las actividades principalmente agrícolas productivas en el extremos sur de la ciudad.

#### Zona urbana



Gran parte de la zona urbanizada de la ciudad de La Paz está destinada al uso residencial exclusivo, especialmente en la Zona Sur de la ciudad, aunque la actividad comercial presenta un importante incremento, al igual que la proliferación de mercados y negocios de venta de alimentos (GMLP, 2010).

La Zona Central de la ciudad presenta la actividad comercial más importante la ciudad, donde se encuentran la mayor cantidad de negocios pequeños y medianos,

oficinas públicas y privadas, pocas viviendas particulares y, además, se encuentra rodeada por zonas de uso mixto, es decir, comercial y residencial sobretudo en las laderas, extendiéndose hasta la vecina ciudad de El Alto. (JICA, 1993)

Dentro de la zona urbana, se observa una importante actividad industrial, principalmente aguas arriba y a lo largo del Río Choqueyapu y en el banco derecho del Río Orkojahuirá, en la parte norte de la zona central de la ciudad.



La zona agrícola se encuentra ubicada en el extremo sur de la ciudad (Figura N° 25), más allá de la zona urbanizada, a lo largo del tramo inferior del Río Choqueyapu y del Río Irpavi. La zona de mayor actividad agrícola de la ciudad son las comunidades de Lipari y Río Abajo.

Dentro de la zona urbana, no se observa una creciente presencia de vegetación o zonas forestadas, aunque pueden encontrarse áreas reforestadas y con vegetación natural en la zona limítrofe con la ciudad de El Alto y las afueras de la Zona Sur, en ambas riberas del Río Choqueyapu (GMLP, 2010).

### 4.1.3 Perfil económico de la ciudad de La Paz

#### a) Agricultura, ganadería y pesca

Como se dijo anteriormente, la mayor actividad agrícola de la ciudad de La Paz se lleva a cabo en las zonas periféricas principalmente al sur de la urbe. Según estadísticas del Gobierno Municipal, el 2,38% de la población de la ciudad de La Paz se dedica a actividades agrícolas y ganaderas, todas concentradas en el límite sur de la ciudad (GMLP, 2010).

Los principales cultivos son diferentes variedades de hortalizas, frutas y legumbres, comercializadas en mercados de la ciudad. El ganado vacuno y ovino son los más comunes en las mismas zonas, aunque sus productos son principalmente destinados a autoconsumo (GMLP, 2010)

#### b) Industria extractiva, construcción e industria manufacturera

Estas actividades se encuentran entre las principales de la población y se consideran en ascenso. El Gobierno Municipal reportó estadísticas en las que el 18,66% de la población se dedica a este rubro. La mayor densidad de industrias se encuentra en la zona central y norte de la ciudad y se componen principalmente de pequeñas y medianas industrias manufactureras (GMLP, 2010)

#### c) Comercio y servicios

El comercio y la oferta de servicios son las actividades económicas más importantes de la población de la ciudad de La Paz. El 25,35% de la población se dedica a alguna actividad comercial o realiza funciones en la producción de servicios (GMLP, 2010). La mayor cantidad de comercios se encuentra en la zona norte y central de la ciudad, aunque durante los últimos años, la zona sur ha experimentado un importante incremento de actividad comercial.

#### **d) Otras actividades económicas**

Otras actividades económicas llevadas a cabo en la ciudad de La Paz son: Actividades profesionales e intelectuales realizadas por el 12,06% de la población, el 18,83% son técnicos o profesionales de apoyo que ofrecen servicios en diferentes entidades administrativas del sector público y privado y el 13,81% de la población se clasifica como trabajadores no calificados (GMLP, 2010).

En cuanto a la actividad turística, datos estadísticos reflejan que durante el año 2004, la ciudad de La Paz recibió un total de 175,892 visitantes extranjeros y 195,279 visitantes nacionales, con promedios de estadía de 2,5 y 1,7 noches respectivamente (GMLP, 2010).

**CAPÍTULO V.**  
**Contaminación de la microcuenca**  
**del río Choqueyapu**

---

## Capítulo V

### Contaminación de la microcuenca del río Choqueyapu

La microcuenca del río Choqueyapu y sus afluentes se encuentra, como ya se dijo anteriormente, altamente contaminada por distintas fuentes: industriales, domiciliarias, comerciales, agrícolas y pecuarias, productivas, etc. La presencia de diferentes tipos de contaminantes en estas aguas, se ha convertido en un dolor de cabeza para las autoridades municipales, tanto por sus efectos en la salud de las personas, como por sus efectos estéticos, paisajísticos, en la producción y otros.

Durante varios años se llevaron a cabo diferentes estudios para determinar el grado de contaminación de estas aguas, especialmente del río Choqueyapu, que es el receptor final de otros ríos y de todas las aguas de la ciudad de La Paz. Uno de los primeros estudios formales y difundidos al respecto fue el llevado a cabo por la Agencia Japonesa de Cooperación Internacional (JICA) en 1993, titulado “estudio para el control de la contaminación de los ríos en la ciudad de La Paz”

#### 5.1 Legislación aplicable a Medio Ambiente

##### a) Nueva Constitución Política del Estado

A partir de enero de 2009, rige en Bolivia la Nueva Constitución Política del Estado (NCPE), cuyos aspectos más destacables en cuanto a medio ambiente se refiere son el establecimiento de un nuevo fin y función esencial del Estado: “Promover y garantizar el aprovechamiento responsable y planificado de los recursos naturales y la conservación del ambiente, para el bienestar de las generaciones actuales y futuras” (Art. 9, inciso 6) y el reconocimiento del derecho de todas las personas “...a un medio ambiente saludable, protegido y equilibrado.” (Art. 33)

A partir de estas nuevas medidas adoptadas por el Estado, es que éste y su población pueden exigir la verdadera protección de sus recursos naturales, con herramientas como diagnósticos, evaluaciones, sistemas de control social y otros. Además, estas disposiciones le dan mayor fortaleza a la legislación ambiental específica relacionada a la temática ambiental.

Tomando la frase “...garantizar el bienestar de las generaciones actuales y futuras...” es que puede introducirse en las medidas de conservación nacionales la noción de conservación de los procesos y funciones de los ecosistemas, que aseguran la provisión de servicios ambientales de los que el hombre se vale para asegurar su bienestar y el de sus generaciones futuras.

##### b) Ley del Medio Ambiente (Nº 1333)

La principal ley que rige todos los factores ambientales en Bolivia es la Ley Nº 1333 del 27 de abril de 1992, conocida también como la Ley del Medio Ambiente, que cuenta además con

Reglamentos específicos para procedimientos y actividades productivas que pueden tener diferentes impactos en el medio ambiente.

Esta Ley, ahora reforzada por las nuevas disposiciones en la NCPE, tiene como objeto “la protección y conservación del medio ambiente y los recursos naturales regulando las acciones del hombre con relación a la naturaleza y promoviendo el desarrollo sostenible con la finalidad de mejorar la calidad de vida de la población.”

En cuanto al control de la calidad de los recursos hídricos se refiere, la Ley del Medio Ambiente y su reglamentación regulan de manera específica los límites permisibles de vertido de sustancias contaminantes a cuerpos de agua, a fin de resguardar la salud de la población y el aprovechamiento seguro de este recurso, además de la protección de los sistemas naturales.

El principal artículo de la Ley del Medio Ambiente sobre esta temática dicta: “el Estado normará y controlará el vertido de cualquier sustancia o residuo líquido, sólido y gaseoso que cause o pueda causar la contaminación de las aguas o la degradación de su entorno. Los organismos correspondientes reglamentarán el aprovechamiento integral, uso racional, protección y conservación de las aguas.”

### c) Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica (R CH)

Como reglamento ambiental específico para la regulación y control de la calidad de los recursos hídricos en todo el territorio nacional, en su artículo 4º, clasifica los cuerpos de agua de la siguiente manera:

Tabla N° 12			
Clasificación de los cuerpos de agua según su aptitud de uso			
Aguas clase “A”	Aguas clase “B”	Aguas clase “C”	Aguas clase “D”
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.	Aguas de utilidad general, que para ser habilitadas para consumo humano requieren tratamiento físico y desinfección bacteriológica.	Aguas de utilidad general que, para ser habilitadas para consumo humano requieren tratamiento físico-químico completo y desinfección bacteriológica.	Aguas de calidad mínima, que para consumo humano en los casos extremos de necesidad pública, requieren un proceso inicial de presedimentación pues pueden tener una elevada turbiedad por elevado contenido de sólidos en suspensión, y luego tratamiento físico-químico completo y desinfección bacteriológica especial contra huevos y parásitos intestinales.

Fuente: Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica

La clasificación de los cuerpos de agua según su aptitud se hace a través de análisis de muestras en laboratorio y comparando los resultados de éstos con parámetros básicos determinados en el RMCH. Utilizando esta metodología es que será posible determinar la clase de las aguas del Río Choqueyapu y apoyar en el conocimiento de la capacidad de este de continuar brindando los servicios que brinda a la población.

Dado que el uso que se da a las aguas del río Choqueyapu en las afueras de la ciudad (zona de Río Abajo) es para riego, consumo del ganado y consumo humano, estas aguas deberían mínimamente clasificarse como aguas Tipo “B” y óptimamente como aguas Tipo “A”. En los títulos posteriores se podrá evidenciar que estas aguas se encuentran muy lejos de estar dentro de esta clasificación, disminuyendo así su capacidad brindadora de servicios.

## 5.2 Estándares de calidad de las aguas

El RMCH, en su artículo 16, regula la descarga de efluentes en cuerpos de agua, obligando a cualquier actividad económica y/o productiva a detallar los contaminantes que vierten a los cuerpos de agua en sus efluentes y que estos se encuentren por debajo de los límites establecidos por la ley.

Los límites de los parámetros básicos establecidos por la legislación, que deben ser analizados en los cuerpos de agua y los efluentes que se vierten en estos, permitiendo así determinar la clase de agua que es y los usos que se puede dar a la misma se presentan en la tabla a continuación:

Tabla N° 13						
Valores máximos admisibles en cuerpos de agua receptores						
Nº	Parámetro	Unidad	Clase “A”	Clase “B”	Clase “C”	Clase “D”
1	Ph		6,0 a 8,5	6,0 a 9,0	6,0 a 9,0	6,0 a 9,0
2	Sólidos disueltos totales	mg/l	1000	1000	1500	1500
3	Aceites y grasas	mg/l	Ausentes	Ausentes	0,3	1
4	DBO <sub>5</sub>	mg/l	< 2	< 5	< 20	< 30
5	DQO	mg/l	< 5	< 10	< 40	< 60
6	Coliformes fecales	N/100ml	< 50 y < 5	< 1000 y <200	< 5000 y < 1000	< 50000 y < 5000
7	Nitrógeno total	mg/L	5	12	12	12
8	Fosfatos	mg/L	0,4	0,5	1,0	1,0
9	Sulfatos	mg/L	300	400	400	400
10	Arsénico	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,1
11	Plomo	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,1
12	Cromo	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,05
13	Cadmio	mg/L	0,005	0,005	0,005	0,005
14	Hierro soluble	mg/L	0,3	0,3	1,0	1,0
15	Cobre	mg/L	0,05	1,0	1,0	1,0
16	Mercurio	mg/L	0,001	0,001	0,001	0,001
17	Fenoles	ug/L	1	1	5	10

Fuente: Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica.

Además de los valores presentados en la tabla N° 13, existen parámetros para muchas otras más sustancias reguladas por la máxima autoridad ambiental competente a nivel nacional. Para los fines de este trabajo, solo se considerarán los factores tomados en el “Informe de contaminación orgánica e inorgánica en la cuenca del río Choqueyapu” del Gobierno Municipal de La Paz.

### 5.3 Indicadores de contaminación del río Choqueyapu

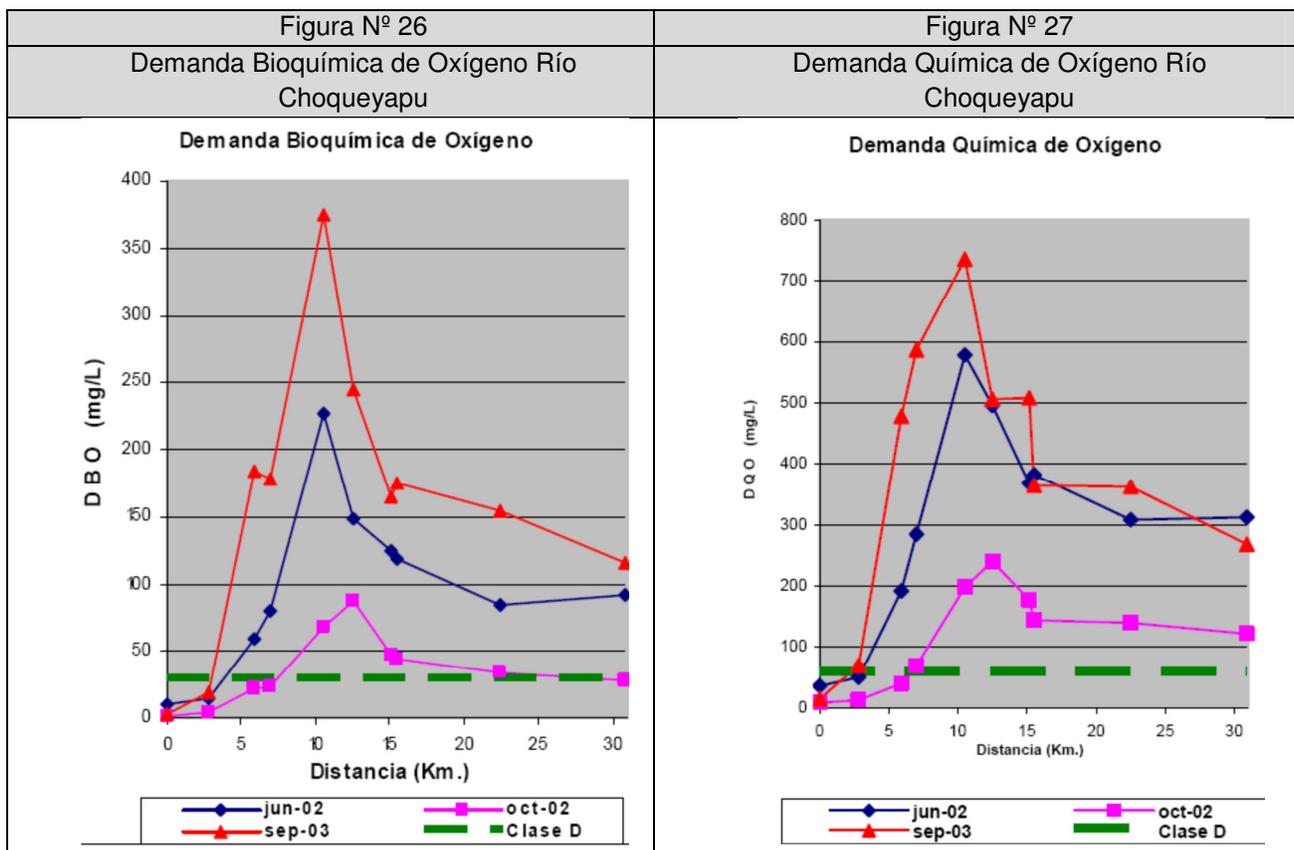
El estudio llevado a cabo por el GMLP sobre la contaminación de la cuenca del Río Choqueyapu en 2007, realizó diferentes pruebas de laboratorio con muestras recolectadas en diferentes puntos de la ciudad, tanto en el río Choqueyapu como en sus afluentes más importantes. Los resultados obtenidos fueron los siguientes, que luego serán comparados con los parámetros que indica la ley, para determinar la clase de aguas de las que se estaría tratando y para conocer el grado de degradación de las mismas.

Parámetro	Unidad	CH-1	CH-2	CH-3	CH-4	CH-5	CH-9	CH-12	CH- 13	CH-14	CH-15
		Villa Antofagasta	Achachicala	Achachicala	Achachicala	Zona central	Obrajes	Florida	Aranjuez	Lipari	Río Abajo
Caudal promedio	L/s	132,5	149,9	106,7	215,2	797,5	1681,6	4830,5	2916,4	2260,3	1998,1
pH		7,13	7,30	8,66	8,12	8,59	8,11	7,98	7,86	7,77	7,93
DBO <sub>5</sub>	mg/L	7,5	17,0	121,5	129	291,5	196,5	145	147	119	104
DQO	mg/L	25	60,0	335	435	657	501	438	335	335	290
N-Amoniaco	mg/L	0,52	2,11	13,47	15,97	32,55	33,13	26,69	28,43	25,87	24,26
N-total	mg/L	0,46	1,75	13,2	15,68	55,16	43,68	51,24	42,28	65,52	65,16
Fosfatos	mg/L	< 0,03	0,41	2,0	2,08	7,18	6,79	5,23	4,36	3,14	2,53
Fósforo total	mg/L	0,03	0,27	1,30	1,77	5,78	5,47	4,36	3,69	2,51	2,55
Sulfatos	mg/L	823,9	620,1	919,9	787,9	966,5	930	1075,8	1099,8	907,9	943,8
Aceites & grasas	mg/L	0,01	0,02	0,03	0,05	0,07	0,04	0,03	0,04	0,03	0,02
Detergentes	mg/L	< 0,01	0,12	1,26	1,93	4,87	6,24	4,60	3,92	3,72	1,71
Sólidos sedimentables	ml/L	350	406	624	638	796	747	626	654	632	628
Coliformes fecales	UFC/100ml	5,0E+01	9,6E+02	4,9E+04	2,8E+04	2,3E+05	2,4E+04	6,4E+06	1,7E+06	3,2E+06	5,1E+05
Coliformes totales	UFC/100ml	2,4E+02	8,9E+03	1,8E+05	5,9E+05	3,9E+06	2,9E+06	8,2E+06	8,3E+06	4,6E+07	3,2E+06
Arsénico	µg/L	6,59	4,52	3,59	4,90	3,26	4,59	4,97	5,42	1,87	6,58
Plomo	µg/L	42,49	40,53	36,24	32,07	29,53	45,78	34,43	33,40	33,90	36,64
Cromo	µg/L	7,62	31,76	13,13	182,4	31,33	48,63	7,89	8,56	6,75	6,92
Cadmio	µg/L	5,50	5,72	7,15	14,14	9,91	4,38	23,51	52,31	52,31	51,09

Hierro	mg/L	2,23	2,01	1,17	4,54	1,16	2,52	1,61	1,98	2,47	1,83
Cobre	mg/L	< 0,07	< 0,07	<0,07	4,71	0,75	0,09	0,28	0,21	0,26	0,26
Zinc	mg/L	0,63	0,62	2,78	10,32	10,46	8,72	20,12	22,35	25,77	25,95
Mercurio	µg/L	0,48	0,19	0,06	0,19	0,23	0,36	0,26	0,23	0,14	0,22
Fenoles totales	mg/L	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1

Fuente: proyecto Bol 8/007 – Informes campañas de muestreo

Haciendo un análisis del comportamiento de las muestras y sus resultados, puede verse que al ingreso a la ciudad (Villa Antofagasta), los valores de los parámetros analizados se encuentran, en algunos casos (nitrógeno, fosfatos), cerca de los límites para consumo humano sin que requieran mayor tratamiento. A medida que las aguas van adentrándose en la ciudad, los valores van en aumento, hasta encontrarse cientos de veces por encima de los valores permitidos (nitrógeno, fosfatos, sulfatos, metales, no metales). Paulatinamente, a medida que las aguas se alejan de la zona central y vuelven a salir del área urbana, los valores van disminuyendo aunque en ningún momento se acercan a los valores establecidos para el uso que se da a esas aguas en las zonas río abajo. Es suficiente enfocarse en los valores de DBO<sub>5</sub> y DQO de todos los muestreos, donde, en las zonas menos contaminadas llegan a valores hasta cuatro y cinco veces mayores a los permitidos para aguas de consumo humano y, en ningún momento se encuentran dentro de los límites permitidos, incluso para aguas de Clase D (Fig. 26 y Fig. 27).



Fuente: GMLP, 2007

Fuente: GMLP, 2007

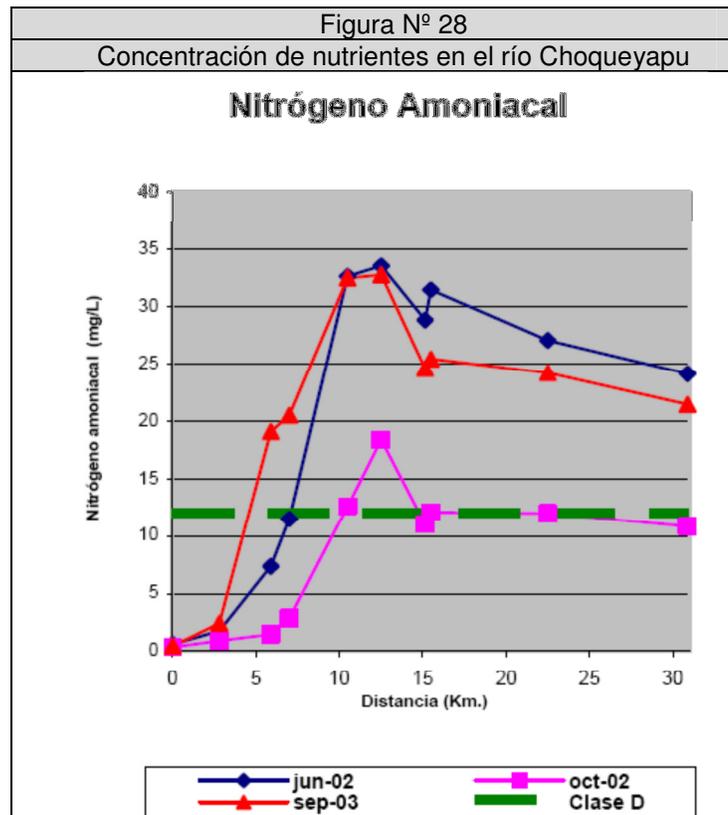
Es importante observar la concentración de no metales y metales en las aguas. Todos los valores sobrepasan de manera preocupante los valores permitidos por ley, siendo que en muchos casos se trata de materiales bioacumulables, biomagnificables, de fácil absorción y altamente cancerígenos, como el mercurio, plomo, arsénico y cadmio (Krauskopf y Bird, 1995).



La zona central presenta los valores más alarmantes aunque éstos son, de alguna forma, de esperarse, ya que atraviesan las zonas más pobladas e industrializadas y reciben efluentes de todo tipo de actividades. Al salir de la ciudad, en la zona de Valencia, los valores disminuyen, aunque no llegan a estar dentro de límites permisibles y, como pudo constatarse en diferentes visitas de campo, estas aguas son utilizadas para riego de diferentes cultivos de hortalizas y frutas principalmente, muchos de los cuáles son consumidos crudos y/o con cáscara.

En cuanto a la carga de nutrientes, se presentan elevadas concentraciones de Nitrógeno amoniacal a partir del punto en que las aguas ingresan a la ciudad, producto de las descargas de aguas residuales y el aporte de los tributarios. Posteriormente existe una disminución del grado de contaminación, para finalmente llegar a una estabilización a partir del puente de Calacoto, en la zona sur de la ciudad, pero aún con valores altos (Fig. 28).

Se observa que a partir del punto CH-3, los niveles encontrados exceden los límites máximos permisibles para Nitrógeno Amoniacal correspondientes a la clase "D" del cuerpo receptor, de acuerdo al Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica de la Ley del Medio Ambiente.



Fuente: GMLP, 2007

Ocurre lo mismo con los ríos tributarios del río Choqueyapu, como los ríos San Pedro, Cotahuma, Orkojahuirra, Irpavi y Huayñajahuirra como puede verse en la tabla a continuación:

Tabla N° 15						
Resultados de los parámetros de calidad de agua en tributarios del Río Choqueyapu						
Parámetro	Unidad	Río San Pedro (Zona central)	Río Cotahuma (Zona Central)	Río Irpavi (Zona Sur)	Río Huayñajahuirra (Zona Sur)	Río Orkojahuirra (Zona Obrajes)
Caudal promedio	L/s	183,79	100,68	435,79	35,52	570,25
DBO <sub>5</sub>	mg/L	228,0	104,0	88,00	69,00	162,00
DQO	mg/L	610,0	466,0	306,00	262,00	498,00
N-Amoniacal	mg/L	50,57	29,4	10,00	21,17	34,69
N-total	mg/L	60,0	62,16	73,36	70,00	48,16
Fosfatos	mg/L	19,65	-	5,66	11,67	14,05
Fósforo total	mg/L	13,78	-	2,29	7,15	9,41
Sulfatos	mg/L	109,97	1036,2	303,16	560,30	805,08
Aceites & grasas	mg/L	0,12	0,05	0,01	0,02	0,05
Detergentes	mg/L	6,85	1,45	2,71	8,24	10,96
Sólidos sedimentables	ml/L	5,20	128,0	5,00	1,70	10,40
Coliformes fecales	UFC/ 100ml	8,0E+04	1,7E +05	4,5E+05	3,3E+06	1,9E+05
Coliformes totales	UFC/ 100ml	1,2E+05	2,8E+05	2,2E+06	5,3E+06	2,6E+05
Arsénico	µg/L	5,47	4,13	4,09	4,59	2,36
Plomo	µg/L	27,15	28,79	64,47	24,51	37,45
Cadmio	µg/L	1,33	8,22	6,14	1,14	1,62
Cromo	mg/L	11,92	11,12	8,30	4,47	45,41
Hierro	mg/L	1,08	11,70	2,58	0,05	3,36

Fuente: proyecto Bol 8/007 – Informes campañas de muestreo

Puede verse en todos los casos que los valores resultantes de los análisis de la calidad de las aguas se encuentran muy por encima de los valores permitidos por ley en la gran mayoría de los parámetros evaluados. Al igual que en el caso del río Choqueyapu, es suficiente referirse a los valores de DBO<sub>5</sub> y DQO, que alcanzan valores hasta más de 100 veces mayores a los permitidos e incluso sobrepasan los de las aguas de Clase D.

Al igual que en el río Choqueyapu, la concentración de metales y no metales es muchas veces mayor a la permitida por la ley y, a pesar de los peligros que suponen para la salud de las personas, el medio ambiente y la fauna y flora, estas aguas se utilizan para diferentes actividades económicas y productivas.

Considerando las zonas de la ciudad por las que atraviesan los ríos tributarios, aquellos que atraviesan la zona central de la ciudad (zona más densamente poblada y con gran cantidad de actividades productivas) presentan los mayores niveles de contaminación general en relación a

los ríos que se atraviesan únicamente la zona sur de la ciudad (zonas con menor densidad poblacional y mayormente residenciales). Lamentablemente, no existe una diferenciación de estas agua en las comunidades aguas abajo, donde todos los ríos confluyen en el río Choqueyapu y posteriormente al río La Paz, aumentando los niveles de contaminación y son utilizadas por sus pobladores incluso como agua de consumo.

En todo el recorrido, las aguas de estos ríos, cargadas de contaminantes, no reciben ninguna clase de tratamiento y recorren la ciudad y son utilizadas incluso para riego y otras actividades productivas de productos que luego son comercializadas en los mercados y centros comerciales de la ciudad o son utilizadas para ofrecer diferentes servicios.

# **CAPÍTULO VI.**

## **Fundamentos teóricos: funciones y servicios de los ecosistemas**

---

# Capítulo VI

## Fundamentos teóricos: Funciones y servicios de los ecosistemas

Cuando nos referimos a las funciones de los ecosistemas, es inevitable mencionar los servicios en los que éstas derivan y su relación con el bienestar humano. En el siguiente capítulo, se intentará diferenciar claramente estos conceptos y tratarlos, no de manera independiente, sino establecer el momento en que una función se transforma en uno o más servicios, a nivel general de los ecosistemas, para luego concentrarse en las funciones y servicios brindados por ecosistemas acuáticos, como el río Choqueyapu y sus afluentes.

### 6.1 Funciones socioecológicas de los ecosistemas

Se ha definido a las funciones de los ecosistemas como la “Capacidad de las estructuras y procesos ecológicos para proveer servicios que generen bienestar humano” (De Groot, 1992).

Los ecosistemas abastecen a la humanidad de agua, alimento, energía, medicina, materias primas, recursos genéticos y muchos otros más, a los que se les asigna un precio en el mercado, conocido también como “valor monetario”. Por otra parte, los ecosistemas también ofrecen gratuitamente una serie de servicios intangibles, como la regulación del clima, purificación del aire, regulación del ciclo hídrico, etc. El conjunto de estos procesos y sus servicios es lo que actualmente y dentro de las ciencias de la sostenibilidad se denomina “servicios de los ecosistemas” (MA, 2003) y dependen de un delicado balance de funciones, que se han denominado *funciones de los ecosistemas*<sup>5</sup> (de Groot, 1992).

Las funciones que se llevan a cabo dentro de cualquier ecosistema, son la base esencial para la existencia de los diferentes servicios que le sirven de sustento al hombre y son la base de su economía (Smith & Smith, 2002). Es decir, del mantenimiento de las funciones dentro del ecosistema, depende el mantenimiento de los servicios que son ofrecidos por él (Martín-López y Montes, 2010; Montes, 2007; Montes y Sala, 2007) y de los que depende no solamente su desarrollo económico, sino también su desarrollo social y su subsistencia, es decir, su bienestar (Gómez – Baggethun, 2007).

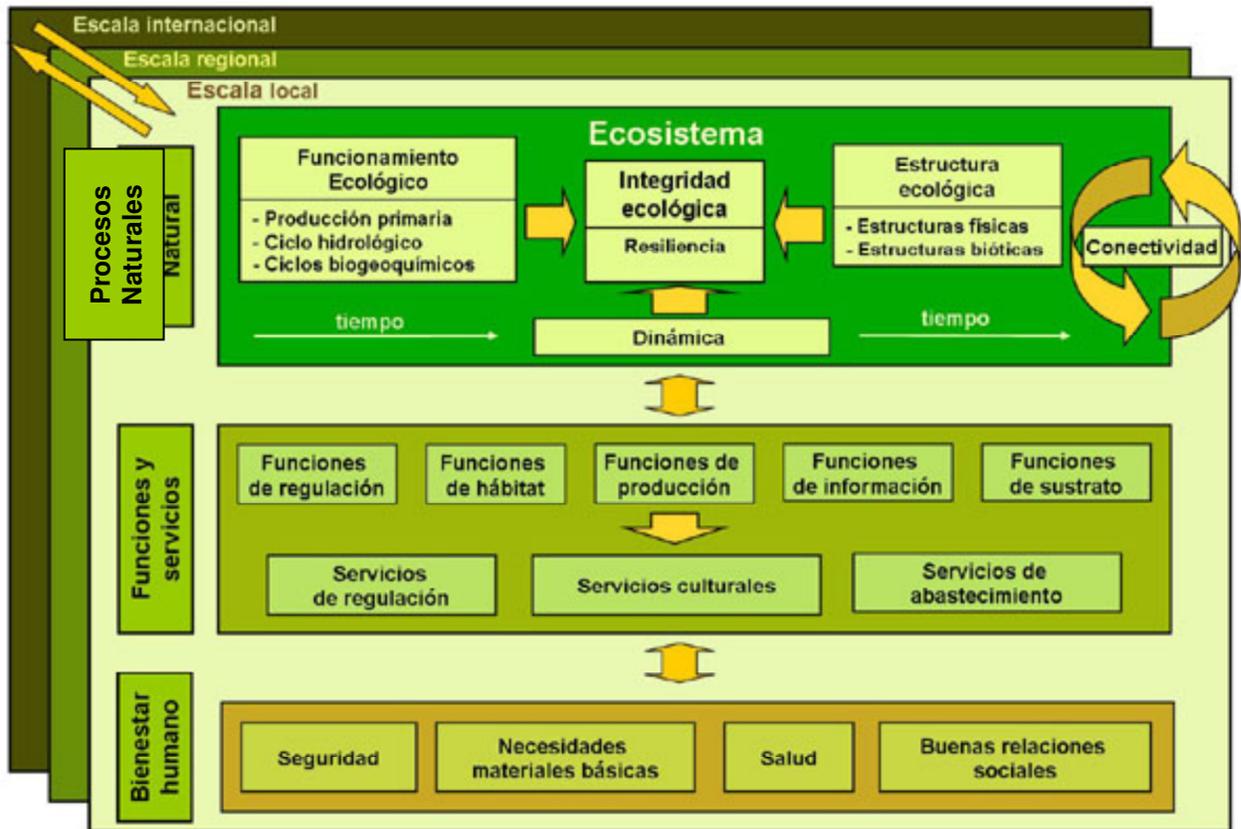
Es necesario aclarar que las funciones de los ecosistemas sólo se vuelven beneficios para las personas una vez que éstas les asignan valores instrumentales, es decir, se transforman en servicios de los ecosistemas (Gómez-Baggethun, 2007). Un ejemplo de esto es un río en el que habitan peces; la función de hábitat está presente, mientras que el servicio de abastecimiento de alimento sólo se dará el momento en que los peces de dicho río sean objeto de aprovechamiento.

---

<sup>5</sup> Funciones de los ecosistemas: todos aquellos aspectos de la estructura y el funcionamiento de los ecosistemas con capacidad de generar servicios que satisfagan necesidades humanas de forma directa o indirecta.

Figura Nº 29

Funciones de los ecosistemas en relación al bienestar humano



Las funciones de los ecosistemas permiten generar todo un flujo de servicios de los ecosistemas con incidencia en todas las componentes básicas del bienestar humano.

Fuente: Modificado de Gomez-Baggethun, 2007

Como se observa en la Figura Nº 29, a partir de diferentes procesos que se llevan a cabo en los ecosistemas, como la producción primaria y los ciclos biogeoquímicos dentro de estructuras físicas y bióticas, donde una de las características más importantes para el mantenimiento del ecosistema es su capacidad de resiliencia<sup>6</sup> e integridad ecológica (Martín – López, 2010), la dinámica entre sus componentes permite que tengan lugar las diferentes funciones y servicios del ecosistema, que serán descritas más adelante. En directa relación y dependencia con estas funciones y servicios del ecosistema, desde una visión puramente antropocéntrica, se encuentra el bienestar humano y sus componentes básicos, con lo que puede verse claramente que, si se afecta la base de estas relaciones, es decir, los procesos y funciones de los ecosistemas, se encuentra en riesgo la disposición de servicios ecosistémicos y, a su vez, el mantenimiento de componentes básicos del bienestar humano, como la seguridad, las necesidades materiales básicas, la salud y las buenas relaciones sociales. Es necesario

<sup>6</sup> Resiliencia se define como la capacidad de los ecosistemas de absorber las perturbaciones a las que es sometido, antes de que éste sea reorganizado con diferentes variables y procesos (Holling, C. S. 1973)

resaltar que las funciones y servicios de los ecosistemas, e incluso los procesos naturales que tienen lugar dentro del ecosistema, no ocurren solamente a escala local, sino también a escala regional e internacional y que los daños y alteraciones a los que los ecosistemas están sometidos tienen, por consiguiente, efectos también a escala local, regional e internacional.

De Groot y otros (2002), ofrecen una clasificación de 23 funciones básicas de los ecosistemas agrupadas en 4 grupos o categorías, de las cuáles, las 3 últimas dependen de las funciones de regulación:

- a) de regulación, que se entiende como la capacidad de los ecosistemas para regular los procesos ecológicos esenciales
- b) de hábitat o sustrato, que es la capacidad de provisión de condiciones espaciales para el mantenimiento de la biodiversidad.
- c) de producción, entendida como la capacidad de los ecosistemas para crear biomasa que pueda usarse como alimentos, tejidos, etc.
- d) de información, la capacidad de los ecosistemas de contribuir al bienestar humano a través del conocimiento, la experiencia, y las relaciones culturales con la naturaleza, como experiencias espirituales, estéticas, de placer, recreativas, etc.

La siguiente tabla describe los procesos a partir de los cuáles se identifican las diferentes funciones de los ecosistemas en relación a la clasificación de de Groot. En ésta puede verse que la calidad de los procesos desarrollados dentro de los ecosistemas y las funciones mismas de las que luego el hombre hará uso se encuentran muy relacionadas, ya que del mantenimiento y conservación de las primeras, depende la existencia de las segundas y su relación con el bienestar humano.

Tabla Nº 16	
Funciones de los ecosistemas	
Componentes y procesos de los ecosistemas	Funciones de los ecosistemas
Funciones de regulación	
Mantenimiento de los ciclos biogeoquímicos (equilibrio CO <sub>2</sub> /O <sub>2</sub> , capa de ozono, etc.)	Regulación atmosférica
Influencia sobre el clima ejercida por coberturas de suelo y procesos biológicos (ej. Producción de dimetil sulfato)	Regulación Climática
Influencia de las estructuras ecológicas en la amortiguación de perturbaciones naturales	Amortiguación de perturbaciones
Papel de la cobertura del suelo en la regulación de la escorrentía mediante las cuencas de drenaje	Regulación hídrica
Percolación, filtrado y retención de agua dulce (ej. acuíferos)	Disponibilidad Hídrica
Papel de las raíces de la vegetación y fauna edáfica en la retención del suelo	Sujeción del Suelo
Meteorización de la roca madre y acumulación de materia orgánica	Formación del Suelo
Papel de la biodiversidad en el almacenamiento y reciclado de nutrientes (ej. N, P y S)	Regulación de Nutrientes

Papel de la vegetación y la fauna en la eliminación y procesamiento de nutrientes y contaminantes Orgánicos	Procesado de Residuos
Papel de la fauna en la dispersión de gametos florales	Polinización
Control de poblaciones mediante relaciones tróficas dinámicas	Control biológico
<b>Funciones de hábitat</b>	
Provisión de espacios habitables a la fauna y flora silvestre	Criadero
Hábitats adecuados para la reproducción	Función de refugio
<b>Funciones de producción</b>	
Conversión de energía solar en animales y plantas comestibles	Comida
Conversión de energía solar en biomasa para construcción y otros usos	Materias Primas
Material genético y evolución en animales y plantas silvestres	Recursos Genéticos
Sustancias bio-geoquímicas	Recursos Medicinales
Especies y ecosistemas con usos decorativos potenciales	Elementos decorativos
<b>Funciones de información</b>	
Variedad de características naturales con valor científico y educativo	Información Estética
Variedad de características naturales con valor histórico y espiritual	Función Recreativa
Variedad de características naturales con valor artístico	Información artística y cultural
Variedad de paisajes con uso recreativo potencial	Información Histórica
Oportunidades para el desarrollo cognitivo, características estéticas de los paisajes	Ciencia y Educación
<b>Funciones de sustrato</b>	
Provisión de un sustrato adecuado para el desarrollo de actividades e infraestructuras humanas.  Dependiendo del uso específico del suelo, se requerirán distintas calidades ambientales (como estabilidad del suelo, fertilidad, clima, etc.)	Vivienda
	Agricultura
	Conversión Energética
	Minería
	Vertedero
	Transporte
	Facilidades turísticas

Fuente: Modificado de Gómez-Baggethun et. al., 2007

Las funciones específicas que tienen los diferentes ecosistemas no siempre son las identificadas en el cuadro anterior (Gomez-Baggethun, et. al., 2007), es decir, dependiendo del tipo de ecosistema, pueden existir o no estas funciones. Los ecosistemas acuáticos, terrestres, tropicales, marítimos, etc., presentan diferentes funciones que a su vez derivan en diferentes servicios, por lo que no pueden utilizarse como regla las funciones anteriormente identificadas, sino que deben establecerse considerando las características de cada ecosistema y su grado de degradación por diferentes factores (EM, 2005).

## 6.2 Servicios de los ecosistemas

Para conocer todo lo que implica el término *servicios de los ecosistemas* es necesario conocer el desarrollo de este término a través de los años y los diferentes científicos que lo estudiaron. El término se utilizó por primera vez en 1981, aunque la literatura aún no ha definido una forma única en la que el término debe ser definido y usado (Martín-López, 2010). La primera formalización científica del término, desde un punto de vista ecológico, se encuentra en el libro “Servicios de la Naturaleza” (Daly, 1992). En éste, los *servicios de los ecosistemas* se entienden como “las condiciones y procesos a través de los cuáles, los ecosistemas y las especies mantienen y satisfacen la vida humana”. En 1997, Robert Costanza y un grupo de científicos, lo define como “los beneficios que las poblaciones humanas obtienen, directa o indirectamente, de las funciones de los ecosistemas”. Esta definición fue ampliamente aceptada por la comunidad científica, aunque las investigaciones continuaron. En 2003, la Evaluación del Milenio propone otra definición: “los beneficios que las personas obtienen de los ecosistemas, incluyendo aquellos beneficios que la gente percibe y aquellos que no perciben”. Recientemente, Boyd y Banzhaf (2007) ofrece una definición alternativa a las anteriores, entendiéndolos como “los beneficios directamente consumidos por el ser humano” (Martín-López, 2010).

La diversidad y variedad de definiciones permiten ver que el término está cada vez más y mejor entendido, aunque la ausencia de una definición formal y única genera un riesgo de que los proyectos y políticas relacionados con los servicios de los ecosistemas evalúen o valoren diferentes aspectos de las relaciones naturaleza-sociedad, ya que el concepto varía desde los ‘procesos y condiciones’ (Daily, 1997), hasta los ‘beneficios últimos obtenidos por la sociedad’ (Boyd y Banzhaf, 2007; Wallace, 2007). Para los fines de este estudio, se considera que la definición que considera un aspecto más completo y multidimensional es la de Diaz *et. al.* (2006), que sostiene que los servicios de los ecosistemas son “los beneficios que suministran los ecosistemas que no sólo hacen la vida de los humanos posible, sino que también merezca la pena”.

El término “*servicios de los ecosistemas*” y todo lo que éste implica, podría decirse que se encuentra en un momento muy oportuno para lograr la inclusión de éstos en las políticas de planificación del desarrollo y el aprovechamiento responsable de los recursos naturales (Montes, 2007), especialmente en áreas naturales de alto valor ecológico.

Los servicios de los ecosistemas requieren de un estado mínimamente saludable, estable y funcional de los ecosistemas (Costanza, 1997; WWF, *et. al.*, 2008) para poder seguir produciéndose en la medida y calidad en la que los seres humanos y el medio ambiente lo requieren.

La EM (2005) clasifica a los servicios de los ecosistemas, relacionados a las funciones que los generan, de la siguiente manera, comenzando del más fundamental:

- **Servicios de regulación:** son los beneficios obtenidos a partir de los procesos de los ecosistemas, como la regulación del clima y de las inundaciones, purificación del agua, polinización y control de plagas.
- **Servicios de abastecimiento o de producción:** son los productos que el ser humano obtiene de los ecosistemas, como la producción de alimentos, agua dulce, materiales o combustibles.
- **Servicios culturales o de información:** son aquellos beneficios no-materiales que se obtienen de los ecosistemas, en planos espirituales, culturales y de conocimiento (como valores estéticos y espirituales, educación y recreación)

La EM de 2003 consideraba además a los servicios de soporte o sustrato (procesos ecológicos que subyacen al mantenimiento del resto de servicios). Actualmente, diferentes estudios obviaron esta categoría debido a que representaba confusión y, por lo general, dobles conteos.

La EM (2003), De Groot et al. (2002), Gómez-Baggethun, De Groot (2007) y Martín-López (2010) lograron ejemplificar la generación de servicios de los ecosistemas a partir de sus funciones como se puede ver en la siguiente tabla:

Tabla N° 17		
Funciones de los ecosistemas y los servicios relacionados con las mismas		
Función de los ecosistemas	Tipo de Servicio	Servicio
Regulación	Regulación	Mantenimiento de un clima favorable Regulación de la calidad del agua disponible para humanos Formación y mantenimiento de suelos fértiles Polinización de plantas útiles Prevención de plagas Control de especies exóticas invasoras Prevención de desastres naturales
Sustrato	Abastecimiento	Alimento (acuicultura, agricultura, o ganadería) Recursos forestales (plantaciones) Especies cinegéticas
	Regulación	Especies animales y vegetales funcionales Área de cría de especies animales
	Cultural	Especies cinegéticas <sup>1</sup> Especies carismáticas y/o amenazadas <sup>2</sup>
Producción	Abastecimiento	Alimento (agricultura, ganadería, pesca, caza, recolección de frutos, etc.) Regulación de la cantidad del agua disponible para humanos Tejidos Recursos forestales maderables y no

		maderables Plantas medicinales Material para construcción, minerales, etc. Energía y combustibles
Información	Cultural	Recreación / relax Ecoturismo Valores estéticos y paisajísticos Patrimonio cultural / Conocimiento local Valores espirituales Educación Investigación

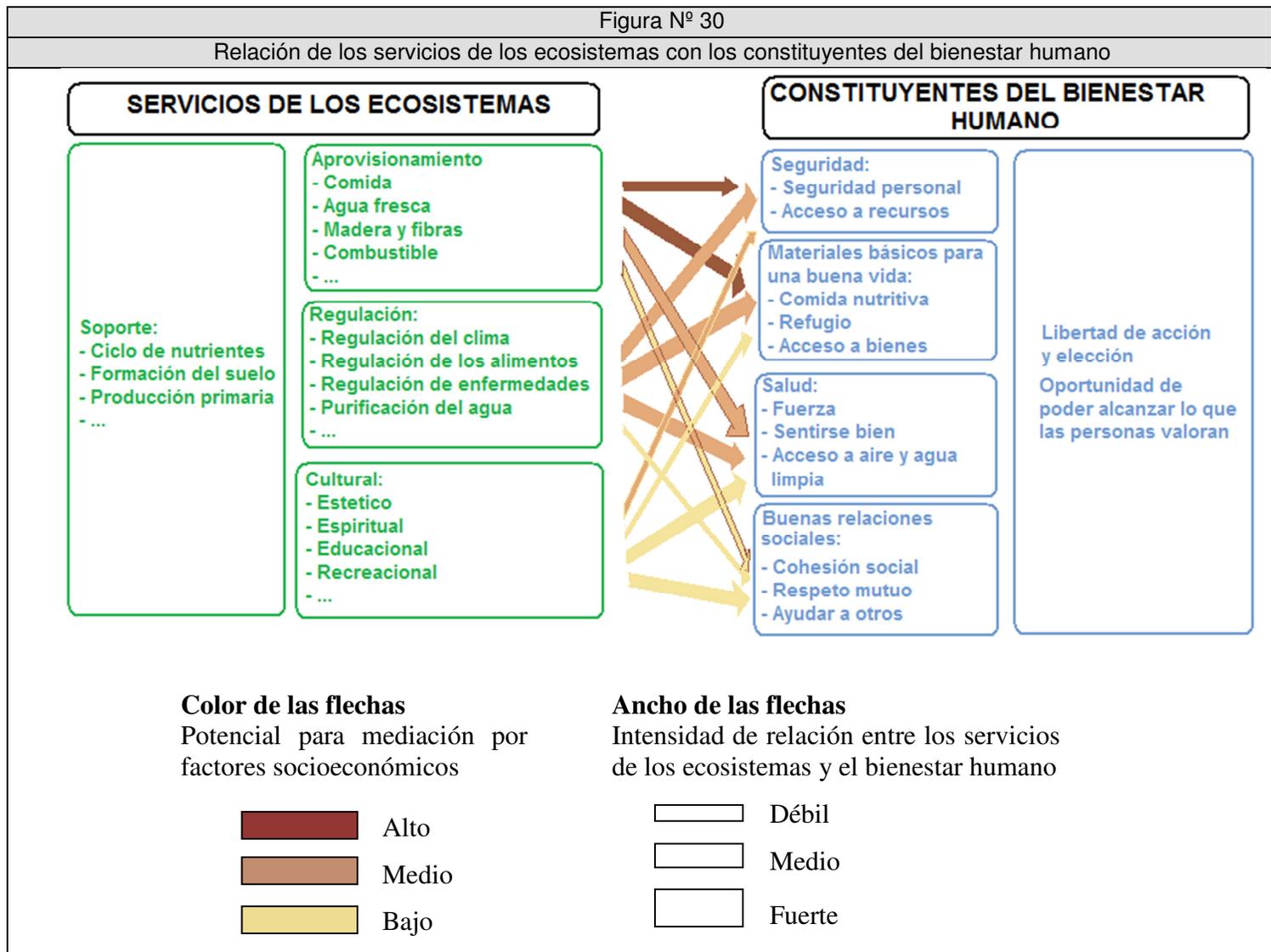
*Fuente: Martín-Lopez, 2010.*

Al igual que en el caso de las funciones de los ecosistemas, no todos los ecosistemas ofrecen todos los servicios de la tabla anterior y, estos deben ser determinados y evaluados considerando las características específicas de cada ecosistema y su grado de alteración por actividades humanas.

La pérdida de los servicios de los ecosistemas se ha convertido en el centro de atención de la comunidad científica mundial y, de alguna forma, también de la comunidad política y tomadora de decisiones. Diferentes estudios, evaluaciones y convenios se están llevando a cabo alrededor del mundo, como muestra de esta corriente y su fuerza: Convenio sobre Diversidad Biológica (CBD por sus siglas en inglés), sobre el Cambio Climático (UNFCCC por sus siglas en inglés), sobre Humedales (Ramsar), o para la lucha contra la Desertificación (UNCCD en sus siglas en inglés), la Evaluación de Ecosistemas del Milenio (MA por sus siglas en inglés) y muchos otros a diferente niveles (local, regional). Es importante que las conclusiones de estos trabajos sean tomados en cuenta a la hora de tomar decisiones, especialmente en lo referente a la planificación del uso y aprovechamiento de los recursos naturales y la conservación de espacios naturales en todas las escalas.

La estrecha relación entre los servicios de los ecosistemas y los constituyentes del bienestar humano hace que los cambios y alteraciones en uno de éstos afecten al otro en una relación de ambos sentidos, aunque las alteraciones en los servicios tienen mayor incidencia en los constituyentes del bienestar humano (EM, 2005). La intensidad de la relación entre los servicios de los ecosistemas y diferentes componentes del bienestar humano puede variar significativamente, al igual que el potencial para mediación por factores socioeconómicos (Fig. 30). Los servicios de soporte, como su nombre lo dice, sirven de soporte para el resto de los servicios y son la base para la existencia de los mismos y, por lo tanto, se considera que son prioritarios a la hora de determinar las políticas que determinarán la administración de los ecosistemas. Los servicios de aprovisionamiento presentan una relación más intensa con los constituyentes del bienestar y además, presentan mayor potencial para mediación, en relación a los servicios de regulación y culturales. Los servicios de aprovisionamiento deben ser factores clave al desarrollar la planificación de aprovechamiento de cualquier ecosistema, aunque no se debe restar importancia y prioridad a los servicios de regulación y culturales

porque, aunque en menor medida, tienen importante relación y efectos en constituyentes del bienestar humano como la salud y las buenas relaciones sociales.



Fuente: EM, 2005

### 6.2.1 Servicios de los ecosistemas acuáticos

Los EM para Humedales y Agua (2005) ha identificado los servicios que ofrecen estos ecosistemas y ha determinado la escala en que estos ecosistemas abastecen o benefician al hombre, utilizando las 4 categorías en que se clasifican los servicios de los ecosistemas (ver tabla N° 17). La EM para Humedales y Agua considera 4 categorías para los servicios que brinda este tipo de ecosistemas: servicios de aprovisionamiento, de regulación, culturales y de apoyo. Esta última categoría no es considerada en otros estudios, pero la EM la considera importante y la diferencia del resto de tipos de servicios.

Tabla N° 18		
Servicios ecológicos de ríos		
Servicio	Comentarios y ejemplos	Escala de magnitud
Servicios de aprovisionamiento		
Alimento	Producción de pescado	Alta
Agua dulce	Provisión de agua para irrigación y uso doméstico	Alta
Fibra y combustible	Producción de troncos, leña, turba, forraje, aglomerados	Media
Productos bioquímicos	Extracción de materiales de la biota	Baja
Materiales genéticos	Productos medicinales	Baja
Servicios de regulación		
Regulación del clima	Regulación de gases de efecto invernadero, temperatura, precipitación y otros procesos climáticos, composición química de la atmósfera	Baja
Regímenes hídricos	Almacenamiento de agua para agricultura	Alta
Control de la contaminación y detoxificación	Retención, recuperación y eliminación del exceso de nutrientes y contaminantes	Alta
Protección contra la erosión	Retención de suelos y prevención de cambios estructurales (caída de barrancos, etc.)	Media
Desastres naturales	Control de inundaciones, protección contra tormentas	Media
Servicios culturales		
Espirituales y de inspiración	Sentimiento y bienestar personal; significado religioso	Alta
Recreativos	Oportunidades de turismo y actividades recreativas	Alta
Estéticos	Apreciación de las bellezas naturales	Media
Educacionales	Oportunidades para la educación formal y no formal y para capacitación	Alta
Servicios de apoyo		
Biodiversidad	Hábitat para especies residentes o transitorias	Alta
Formación de suelos	Retención de sedimentos y acumulación de materia orgánica	Alta
Ciclo de nutrientes	Almacenaje, reciclaje, procesamiento y adquisición de nutrientes	Alta
Polinización	Apoyo a los polinizadores	Baja

Fuente: EM Humedales y Agua, 2005.

Observando el cuadro anterior, puede verse que la mayoría de los servicios ofrecidos por ríos presentan una escala de magnitud alta y que interviene en casi todos los aspectos básicos del bienestar humano, además que el agua es la principal fuente de vida para todo ser vivo y que

sin esta los seres humanos no podrían sobrevivir. Los ríos y otros humedales continentales son especialmente importantes en el abastecimiento de alimento (peces) en zonas donde no existe acceso a mares y costas. Los ríos, sobre todo aquellos que fluyen a velocidades mayores a 50 cm/seg, proporcionan un importante servicio al tratar y detoxificar aguas que contienen diferentes variedades de desechos, ya que es muy probable que las aguas atraviesan un humedal estén considerablemente más limpias al salir del humedal (EM Humedales y Agua, 2005). Sin embargo, los humedales pueden convertirse en sitios críticos de contaminación al acumular contaminantes en concentraciones suficientes como para afectar las funciones del humedal.

En los humedales pueden llevarse a cabo diferentes actividades recreativas, desde deportes extremos hasta actividades turísticas que permitan apreciar los valores estéticos y naturales de estos ecosistemas. Aprovechando este servicio es que además se contribuye a la economía local, aunque los efectos negativos del turismo se hacen evidentes cuando no existe un real apoyo a las comunidades locales, se genera malestar y los recursos que sostienen esta actividad son dañados (EM Humedales y Agua, 2005).

Adicionalmente, estos ecosistemas juegan un rol muy importante en la regulación del clima, al capturar y liberar carbono de y hacia la atmósfera (EM, 2005). Los humedales son excelentes asimiladores y almacenadores de carbono en sus sedimentos y los transportan eventualmente hasta los océanos, además, se desempeñan como amortiguadores físicos de los impactos del cambio climático, por lo que lo regulan no solamente a escala global, sino a escala local (EM Humedales y Agua, 2005).

Las deterioradas condiciones de los humedales han puesto en riesgo los servicios que proporcionan los ecosistemas y a las personas que dependen de ellos. Según datos de la EM – Humedales y Agua, actualmente los seres humanos extraemos 3 600 km<sup>3</sup> de agua de los humedales continentales, con un incremento del 20% entre cada década de 1960 a 2000 y, se estima que continuará aumentando en un 10% hasta 2010. Es aún más preocupante cuando se determina que en muchas zonas pobladas, el suministro de agua se encuentra altamente contaminado (especialmente con contaminantes orgánicos producto de actividades agrícolas e industriales productivas). La principal consecuencia de esta situación es que muchos humedales han pasado a convertirse en fuentes no confiables de agua para la población (EM Humedales y Agua, 2005)

Algunas conclusiones sobre el estado de los ecosistemas acuáticos a nivel mundial a los que llegó la EM para Humedales y Agua reflejan las condiciones de degradación de estos y las consecuencias que esta situación representa para el bienestar humano y ecológico:

- Todos los humedales del planeta ejercen cierta influencia en el ciclo del agua y por lo tanto en el suministro de ésta a nivel global, afectando todas las actividades del hombre, especialmente riego, energía y transporte. Los humedales pueden afectar componentes particulares del ciclo hidrológico.

- El creciente consumo de agua dulce por parte de la población mundial ha reducido la cantidad de agua disponible para mantener las características ecológicas de los sistemas acuáticos. La construcción de represas y otras infraestructuras y la extracción de grandes cantidades para diferentes actividades de consumo y producción ha modificado el régimen de los caudales, el transporte de sedimento y nutrientes, modificado los hábitat y perturbado las rutas migratorias entre muchos otros efectos. Las represas representan tanto beneficios como efectos negativos para el bienestar humano. Si bien cumplen una importante función al estabilizar los caudales para riego, incrementar las reservas para consumo doméstico, permitir el control de inundaciones y generar energía hidroeléctrica, los impactos ecológicos son de mayor consideración: fragmentación y destrucción de hábitat, pérdida de especies, proliferación de enfermedades debido al estancamiento del agua, etc.
- La principal causa de pérdida de humedales continentales en el mundo es la conversión (desmonte o transformación) o el drenaje de éstos para fomentar el desarrollo agrícola. La creciente actividad agrícola ha provocado un aumento en la presión sobre los ecosistemas de aguas continentales por el aumento de la extracción para riego y la filtración de nutrientes y sustancias químicas (pesticidas y otros) desde tierras agrícolas. Además, el crecimiento de la frontera agrícola reduce la biodiversidad y demanda mayores insumos relacionados a mecanización y producción de fertilizantes químicos y pesticidas.
- La problemática de la degradación de humedales continentales se verá incrementada por los efectos del cambio climático, provocando mayor degradación y desaparición, así como la pérdida de importantes especies que contribuyen al bienestar humano, aunque se desconoce la extensión de los impactos.
- Existe evidencia, aunque incompleta, de que los cambios en los ecosistemas aumentan la probabilidad de cambios abruptos y no lineales en ellos, con importantes consecuencias en el bienestar humano. Los cambios están provocando la disminución en la capacidad de resiliencia de los ecosistemas, con lo que es cada vez más difícil reponerse a los cambios y alteraciones, pudiendo tomar décadas, siglos o incluso ser en ocasiones imposible.
- La degradación de los humedales ha reducido su capacidad de proveer agua en cantidad y calidad suficiente. Cada vez es más difícil asegurar el suministro, en cantidad y calidad, suficiente para la creciente población mundial tanto en las ciudades como en el área rural, especialmente si se trata de regiones secas. La capacidad de estos ecosistemas de mitigar los efectos de la contaminación (detoxificación y procesamiento de desechos), lo que afecta directamente el bienestar humano.
- La seguridad de las poblaciones se ve seriamente amenazada, ya que la alteración de la estructura de los humedales se ve tan alterada que su capacidad de amortiguar o aminorar los impactos de las inundaciones ha reducido considerablemente, aumentando los desastres provocados por estos fenómenos. Es común que las inundaciones afecten más severamente a los más pobres, ya que viven en zonas más vulnerables y tienen pocos recursos financieros para eludir, mitigar o adaptarse a estos fenómenos.
- La degradación de la calidad del agua continental tendrá mayores efectos en países en desarrollo, donde las soluciones tecnológicas no están disponibles. Las enfermedades

causadas por agua, saneamiento e higiene inadecuados representan millones de muertes, pérdidas de millones de años de vida sana por año y millones de dólares, principalmente por sus efectos en la salud humana.

- Las enfermedades asociadas al agua, aunque están erradicadas en países desarrollados, se encuentran entre las principales causas de muerte en países en desarrollo.

Los servicios de los ecosistemas en la actualidad y según las conclusiones de la Evaluación de Ecosistemas del Milenio, se encuentran seriamente afectados por las actividades humanas, tanto directa como indirectamente. Muchos procesos dentro de los ecosistemas se han visto afectados de diferentes maneras y, como consecuencia, sus funciones y los servicios en que derivan se han visto disminuidos o afectados en calidad y cantidad. Citando la EM para Humedales y Agua, se describe en pocas palabras las consecuencias de esta degradación: “Para 1.000 y 2.000 millones de personas, la escasez de agua dulce y el cada vez menor acceso a ella son problemas globales significativos y crecientes que conducen a reducciones en la producción de alimento, la salud humana y el desarrollo económico. Con el crecimiento de la población y la sobreexplotación y contaminación de los recursos hídricos, aumenta en la mayor parte del mundo la brecha que existe entre el agua disponible y la demanda de ella.”

# **CAPÍTULO VII.**

## **Resultados**

---

# Capítulo VII.

## Resultados

### 7.1 Funciones socioecológicas de la microcuenca del río Choqueyapu

Según la velocidad de las aguas de los ríos y considerando la topografía de las zonas por las que atraviesan (Smith & Smith, 2002), los ríos que componen la microcuenca del Choqueyapu se clasifican como aguas rápidas, cuya estructura ha sido moldeada según esta característica, pero se ha visto afectada por modificaciones y alteraciones de la mano del hombre.

En general se puede decir, que todos los ríos que conforman la microcuenca son muy inestables, lo que influye en la calidad del hábitat para flora y fauna. Esa inestabilidad, por lo menos en las cabeceras de valle, es de origen natural por los sustratos generalmente blandos y depósitos glaciares y fluviales, pero se acentúa por la escasa vegetación en las laderas, riberas y la franja ribereña. Generalmente, la vegetación sufre sobrepastoreo y en las franjas ribereñas está destruida por senderos, caminos de tierra, pisoteo de animales, recolección y quema. Más abajo en su recorrido, se suma la actividad arenosa que modifica los lechos, el cauce y las riberas de manera sustancial, lo que resulta en una total inestabilidad morfológica y de los hábitats para flora y fauna. El agua se carga de material particulado y deja de considerarse apta para ningún uso.

La estructura de los ríos que componen esta microcuenca se encuentra muy afectada por las actividades humanas, tanto así que en ciertos tramos y zonas podría decirse que son sistemas totalmente alterados (embovedado, canalizado, desviado, reencauzado, etc.), donde la supervivencia de cualquier organismo es muy improbable e incluso imposible, ya que no cumplen con los requisitos estructurales básicos necesarios para el desarrollo y mantenimiento de la vida.

Siendo que la calidad estructural de estos ríos está totalmente ligada con su calidad biológica como hábitat (Smith & Smith, 2002), esta última también se ve seriamente afectada por las alteraciones en la estructura. Principalmente durante el recorrido de los ríos por la ciudad, las alteraciones son tales que los organismos no pueden sobrevivir; el sustrato se encuentra altamente alterado, tanto que es imposible que los organismos puedan fijarse y llevar a cabo sus funciones. Casi en todo el recorrido por la ciudad los ríos son embovedados, por lo que deja de existir contacto con el aire y el sol, la recirculación del oxígeno es muy reducida y el contacto con otros factores ambientales es prácticamente nulo.

A partir de estas alteraciones es que la presencia de organismos vivientes en los ríos de la microcuenca se encuentra drásticamente reducida, situación que empeora a medida que los ríos se adentran en la ciudad (Fig. N° 15, N° 16 y N° 17). Haciendo una comparación del conteo de individuos y taxas, los índices de diversidad y de abundancia y otros (Tabla N° 8, N° 9 y N° 10), se puede ver la rápida y clara caída de estos entre las cabeceras de los ríos, el paso por la

ciudad y la salida de la misma. Lo mismo ocurre con la carga de nutrientes que estos ríos arrastran. Antes del ingreso a zonas pobladas, las aguas traen consigo nutrientes necesarios para actividades agrícolas; a medida que atraviesan la ciudad, esta carga de nutrientes disminuye hasta casi desaparecer por el vertido de contaminantes.

Basándonos en la metodología de la Evaluación de Ecosistemas del Milenio para Agua y Humedales, es posible identificar algunas funciones que se llevan a cabo en el río Choqueyapu y sus afluentes, que luego se transforman en servicios para la sociedad. El problema se presenta al considerar el grado de contaminación y degradación que presenta este río y sus afluentes. Si nos referimos al *Capítulo III: Estructura y biología del área de estudio* y al *Capítulo V: Contaminación en la microcuenca del río Choqueyapu*, podemos ver que los niveles de alteración y contaminación de este río y de los ríos que la conforman, provocan la desaparición y la merma de muchas de las funciones que deberían tener lugar en este ecosistema. Es suficiente referirnos a los resultados de los análisis de DBO<sub>5</sub> y DQO para los distintos puntos de muestreo dentro y fuera de la ciudad; estos resultados son similares a los que se presentan en aguas de alcantarilla, pozos sépticos y otros donde se disponen aguas servidas y que, en este caso, son iguales a los de ríos que se utilizan para diferentes actividades productivas de la población de la ciudad, sobretodo actividades agrícolas de consumo primario. En algunos casos habrá funciones que se mantienen y a partir de las cuáles la población aún puede obtener servicios; en muchos casos se desconoce la calidad de estos servicios y en muchos otros casos, se sabe que la calidad está gravemente afectada.

Antes del ingreso a la ciudad, algunas funciones que tienen lugar en los ríos de la microcuenca se detallan a continuación:

Tabla N° 19		
Funciones que se mantienen en la microcuenca del Choqueyapu		
Componentes y procesos de los ecosistemas	Funciones	Variación cualitativa
Funciones de regulación		
Mantenimiento de los ciclos biogeoquímicos	Regulación atmosférica	Se mantiene
Influencia sobre el clima ejercida por coberturas de suelo y procesos biológicos	Regulación climática	Mermó
Influencia de las estructuras ecológicas en la amortiguación de perturbaciones naturales	Amortiguación de perturbaciones	Mermó
Papel de la cobertura del suelo en la regulación de la escorrentía mediante las cuencas de drenaje	Regulación hídrica	Mermó
Percolación, filtrado y retención de agua dulce	Disponibilidad hídrica	Se mantiene
Meteorización de la roca madre y acumulación de materia orgánica	Formación del suelo	Se mantiene

Funciones de hábitat y sustrato		
Provisión de espacios naturales habitables a la fauna y flora silvestre	Función de refugio	Mermó
Hábitats adecuados para la reproducción	Criadero	Mermó
Dependiendo del uso específico del suelo, se requerirán distintas cualidades ambientales	Agricultura	Se mantiene como función aunque su calidad mermó considerablemente
	Conversión energética	Se mantiene
	Transporte	Se mantiene
	Facilidades turísticas	Mermó
Funciones de producción		
Contribución a la conversión de energía solar en animales y plantas comestibles	Comida	Se mantiene como función aunque su calidad mermó considerablemente
Contribución a la conversión de energía solar en biomasa para construcción y otros usos	Materias primas	Mermó
Funciones de información		
Oportunidades para el desarrollo cognitivo, características estéticas de los paisajes	Información estética	Mermó considerablemente
Variedad de paisajes con uso recreativo potencial	Función recreativa	Mermó
Variedad de características naturales con valor artístico	Información artística y cultural	Se mantiene
Variedad de características naturales con valor histórico y espiritual	Información histórica	Se mantiene
Variedad de características naturales con valor científico y educativo	Ciencia y educación	Se mantiene

*Fuente: Modificado de Gómez-Baggethum, 2007.*

Durante el recorrido de estas aguas por la ciudad y sus alrededores, las funciones del ecosistema que posiblemente se conservan, a pesar de la alteración y contaminación de la calidad estructural, biológica y de las aguas, son: **Disponibilidad hídrica**, ya que el río Choqueyapu y algunos de sus afluentes presentan un caudal casi constante durante todo el año y las aguas son utilizadas por la población para diferentes fines; **Regulación hídrica** ya que estos cuerpos almacenan agua que está disponible para la población especialmente en época seca; **Absorción de contaminantes**, ya que en estos cuerpos receptores se vierte gran cantidad de contaminantes y sustancias químicas provenientes de diferentes actividades de la población; **Amortiguación de perturbaciones**, ya que, a pesar de que esta función ha mermado considerablemente debido a las alteraciones que sufre todo el ecosistema, aún está en la capacidad de retener grandes cantidades de agua que descienden desde la cordillera y zonas altas, especialmente en época de lluvias, aunque cada año esta función está más mermada; **Oferta de materias Primas**, principalmente para construcción y otros usos; **Ciencia y Educación**, ya que las condiciones de contaminación de estos ríos, principalmente el Choqueyapu, se utilizan como ejemplo de lo que la mala planificación y malas prácticas

ambientales de la población provocan en el medio ambiente; y la función de **Comida**, ya que estas aguas se utilizan en el riego de cultivos y para consumo del ganado.

La pérdida de estas funciones significa la pérdida de los servicios que se relacionan con el bienestar de las personas que podrían aprovecharlos pero, como veremos en el siguiente punto, la necesidad de recursos hídricos por parte de comunidades agrícolas en las afueras de la ciudad de La Paz, hace que estas aguas, a pesar de su grado de contaminación, sean utilizadas para riego de cultivos y consumo de ganado.

## 7.2 Servicios socioecológicos del Río Choqueyapu

La metodología más adecuada para determinar los servicios socioecológicos de los ecosistemas acuáticos es la de la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio, concretamente el de evaluación de humedales y ecosistemas acuáticos: Los Ecosistemas y el Bienestar Humano: Humedales y Agua.

Si partimos del principio de que los servicios de los ecosistemas nacen del aprovechamiento que hace el ser humano de las funciones que ocurren en estos y consideramos que las funciones de este ecosistema están seriamente afectadas y, en algunos casos, han desaparecido por efectos de la contaminación y alteración de su estructura y calidad, consecuentemente, los servicios en los que las funciones derivan también han mermado e incluso, en algunos casos, desaparecido, o eso es lo que se esperaba que ocurra.

Después de su paso por la ciudad y de recibir las descargas y contaminantes de todas las actividades de la población, las aguas del río Choqueyapu y sus afluentes no reciben ningún tratamiento descontaminante y llegan a las poblaciones río abajo cargadas de una gran cantidad de sustancias químicas, metales, material suspendido y otros. A pesar de la calidad de estas aguas, las comunidades que se encuentran en las afueras de la ciudad y aguas abajo de los ríos, la utilizan para actividades agrícolas: riego y consumo para ganado; aunque no se descarta que algunas personas la utilicen para consumo propio.

Refiriéndonos al listado de servicios que brindan los ecosistemas acuáticos identificado por la Evaluación de Ecosistemas del Milenio para Humedales y Agua, a pesar de que se considera que los servicios han mermado considerablemente e incluso desaparecido como consecuencia de la merma y desaparición de muchas funciones que los producen en la microcuenca del Choqueyapu, la población ha logrado beneficiarse desde hace muchos años de algunos servicios que brinda este ecosistema, aunque la calidad de estos se desconoce y generalmente representan mayores problemas para la salud que beneficios económicos para la población:

Tabla N° 20				
Servicios ecológicos de la microcuenca del río Choqueyapu				
Beneficiarios	Función	Servicio	Tipo de disfrute	Localización espacio-temporal de uso
Servicios de aprovisionamiento				
Agricultores y	Disponibilidad	Agua dulce	Provisión de agua para	Se aprovecha

población en general	hídrica		irrigación y uso doméstico, comercial, industrial y otros.	constantemente en toda la ciudad
Servicios de regulación				
Agricultores	Regulación hídrica	Regímenes hídricos	Almacenamiento de agua para agricultura	Se aprovecha por el sector agricultor especialmente durante época seca en las zonas aguas arriba y abajo de la ciudad.
Toda la población	Absorción de contaminantes	Control de la contaminación y detoxificación	Retención, recuperación y eliminación del exceso de nutrientes y contaminantes	Se aprovecha constantemente en toda la ciudad
Toda la población	Amortiguación de perturbaciones	Desastres naturales	Control de inundaciones, protección contra tormentas	Se aprovecha constantemente en toda la ciudad
Servicios culturales				
Estudiantes e investigadores	Ciencia y educación	Educacionales	Oportunidades para la educación formal y no formal y para capacitación	Se aprovecha esporádicamente por sectores educativos y de investigación

Fuente: modificado de EM Humedales y Agua, 2005.

- **Provisión de agua para irrigación y uso doméstico (Agua dulce):** este servicio es probablemente del que mayor uso hace la población de las comunidades en las afueras de la ciudad. Como mencionamos anteriormente, las aguas de estos ríos se utilizan principalmente para riego de hortalizas, legumbres y algunas frutas, que luego son comercializadas en los mercados de la ciudad de La Paz y en comunidades cercanas.

Estos productos agrícolas vienen con gran cantidad de patógenos y sustancias químicas arrastradas por las aguas. Éstos, al ingresar al cuerpo humano cuando son ingeridos con los alimentos, que se comen crudos y muchas veces con cáscara, provocan enfermedades e intoxicaciones severas y, sobre todo durante el verano, esto empeora por la crecida de caudales y el calor que provoca la proliferación de microorganismos.

Esta situación ha provocado desconfianza en la población, por lo que, al momento de decidir qué productos agrícolas adquirir en los mercados, prefieren comprar productos de invernaderos y otros garantizados, lo que afecta directamente a los productores pequeños que no tienen alternativas al momento de regar sus cultivos con aguas del río Choqueyapu y sus afluentes.

- **Regímenes hídricos:** Almacenamiento de agua. Se encuentra estrechamente relacionado al servicio de provisión de agua dulce. En este caso, la microcuenca suministra agua dulce para actividades agrícolas y otras durante la época seca, a pesar de que su caudal se reduce drásticamente y la concentración de contaminantes aumenta. La principal forma en que estos ríos provisionan agua dulce para la población, aunque de manera artificial, es

mediante las represas que se construyeron en su curso. A pesar del beneficio que esta provisión representa para la población, un efecto negativo de esta construcción es la seria alteración de la calidad estructural de los ríos, que derivan en alteraciones a la calidad biológica y de hábitat. Aun así, según el uso por parte de la población, se considera que este servicio se mantiene en el ecosistema.

- **Control de la contaminación y detoxificación:** este servicio es también ampliamente aprovechado por la población. Estos cuerpos de agua sirven como receptores de todas las aguas servidas de las viviendas y las aguas residuales de actividades productivas e industriales de la ciudad de La Paz y, en algunos casos, de la ciudad de El Alto. El principal problema es que estos ríos reciben tal cantidad de contaminantes (Tablas N° 15 y 16), que en un largo recorrido no logran autodepurarse ni asimilar estos contaminantes, además, en muchos casos se trata de metales pesados, no metales e incluso compuestos orgánicos de alta toxicidad. Durante el presente trabajo de investigación, no se pudieron encontrar pruebas de que estas aguas se descontaminen naturalmente incluso hasta el límite provincial, varias decenas de kilómetros al sur de la ciudad de La Paz.

Según lo que puede observarse en los documentos consultados y las visitas al área de estudio, este ecosistema, más que controlar la contaminación y permitir la detoxificación, sirve como cuerpo de retención de la contaminación generada por la población de la ciudad de La Paz y su capacidad de reponerse a esta fuerte perturbación se ha visto superada, con importantes daños a la salud de la población y a la economía de los productores.

- **Desastres naturales:** este servicio es principalmente el de controlar inundaciones, proteger a la población contra tormentas y otras similares. Al igual que el resto de servicios de este ecosistema que se considera se mantienen a pesar de la degradación y contaminación de sus aguas y cause, se cumple con una calidad cuestionable debido a las alteraciones, principalmente de su estructura, que ha sufrido por las actividades extractivas del hombre.

Como se mencionó en títulos anteriores, la extracción de piedra, arena y otros materiales utilizados para la construcción y la alteración de la estructura para que se adecúe al crecimiento de la ciudad, han alterado seriamente la calidad estructural de los ríos de la microcuenca y afectado seriamente la capacidad de brindar este servicio. Un ejemplo de este efecto son las constantes inundaciones y desbordes de los ríos, especialmente cuando se presentan tormentas y fuertes lluvias que exceden la capacidad del canalizado y embovedado de estos. Las principales consecuencias ocurren en las zonas río abajo, donde el agua llega con mayor fuerza y con una mayor carga de sedimentos, arrasando con cultivos, ganado y viviendas. En la ciudad también las aguas desbordadas arrastran consigo mercadería de los mercados, árboles, vehículos e incluso personas. Los costos económicos de estos desastres no pueden ser fácilmente o eficientemente cubiertos por el gobierno municipal o las autoridades públicas y muchas veces los daños son irreparables.

- **Educación:** el caso de contaminación del río Choqueyau y sus afluentes es conocido a nivel nacional por personas relacionadas a esta temática. Muchas instituciones educativas

formales, no formales e incluso organizaciones no gubernamentales y el Gobierno Municipal se muestran interesadas por las condiciones de este ecosistema y han decidido realizar estudios, informar a la población y movilizarse para iniciar acciones que puedan beneficiar al ecosistema y a la población. El río Choqueyapu y sus afluentes son caso de estudio en diferentes ponencias, cursos, congresos y talleres y muchas escuelas e instituciones educativas se interesan en su estudio.

Un servicio que no está listado dentro de las categorías de la EM (2005), es la **provisión de materiales de construcción** extraídos de estos ríos. Tanto de los lechos de los ríos como de sus playas y áreas de inundación, se extrae arena, grava y piedra utilizada para construcciones en la ciudad. De este servicio se beneficia toda la población de la ciudad desde hace muchos años, aunque la extracción se realiza principalmente antes y después del paso de estos ríos por la misma. Se considera, según la información recolectada en la presente investigación, que la extracción de estos materiales es una de las principales causas de la pérdida de la calidad estructural, biológica y de hábitat de este ecosistema.

Estos resultados se obtuvieron a partir de la aplicación de la metodología de la Evaluación de Ecosistemas del Milenio: Agua y Humedales, con la información obtenida sobre la calidad biológica y estructural de los ríos que conforman la microcuenca de estudio. Es posible que otros usos de estas aguas representen otros servicios para la población de algunas zonas o comunidades, sin embargo, se considera que los servicios identificados son los que representan mayor beneficio para la mayor parte de la población de la ciudad de La Paz y sus principales actividades productivas.

# **CAPÍTULO VIII.**

## **Conclusiones y recomendaciones**

---

## Capítulo VIII.

### Conclusiones y recomendaciones

La microcuenca del río Choqueyapu es una zona de particular atención por tratarse de un ecosistema que nace a más de 5 000 m.s.n.m. y llega hasta aproximadamente 2 600 m.s.n.m. En su recorrido atraviesa zonas de gran riqueza y singularidad por tratarse de ecosistemas de altura que presentan condiciones climáticas, ecológicas y otras, de gran adversidad y que requirieron de procesos de adaptación muy específicos para todas las especies que habitan en él. Al atravesar la ciudad de La Paz, la microcuenca se convierte en el receptor de aguas residuales y contaminantes de toda su población y las actividades productivas que en ella se realizan. Aguas arriba, las aguas de los ríos se utilizan para actividades agrícolas y productivas, de sus lechos se extraen materiales para construcción, y en algunos casos se construyeron represas para almacenamiento y abastecimiento de agua para una parte de la población de la ciudad. Aguas abajo, el río es la principal fuente de agua para riego y producción agrícola de la ciudad, donde se producen alimentos de consumo primario para la población. Gran parte del suministro de agua para la población proviene de los ríos de la microcuenca del río Choqueyapu y, a pesar de la degradada calidad de los mismos, la ausencia o pérdida de los servicios que brinda, representaría un serio perjuicio para la población y pondría en riesgo incluso la supervivencia de este importante asentamiento humano.

Los ríos de la microcuenca se encuentran altamente degradados: reciben grandes cantidades de contaminantes, son explotados para la obtención de materia prima, el flujo de sus aguas se alteró para asegurar el suministro de agua a la ciudad, su estructura ha sido profundamente alterada y se ha convertido en una amenaza a la salud de las personas y el medio ambiente, además de un problema estético para la ciudad.

Por las necesidades que existen de prevención de desastres, preservación de la salud, estéticas, de crecimiento y otras en relación al paso de estos ríos por la ciudad de La Paz (canalizado para control de riesgos, embovedado para aprovechar las áreas por donde pasa el río para crecimiento de la ciudad y para prevención de enfermedades), es posible que la estructura original de los ríos no pueda recuperarse, aunque el problema de pérdida de funciones y servicios puede mejorar dirigiendo las acciones a la mejora de la calidad de las aguas.

Además de la incontrolable alteración y daño a la calidad estructural de los ríos de la microcuenca, una alteración que puede ser controlada y corregida es la contaminación y alteración de la calidad en general de las aguas. Las autoridades, como principales organismos de control y aplicación de las normas y leyes vigentes, deben encargarse de revertir esta situación, llevar a cabo un estricto control de emisión de efluentes por parte de las industrias (sin importar su escala: pequeña, mediana o gran industria) y además forzar a que estas traten sus aguas antes de verterlas a los cuerpos receptores.

Algunos efectos de la pérdida de la estructura de los ríos de la microcuenca del Choqueyapu son las constantes inundaciones que se registran año tras año, especialmente durante la época de lluvias. Las inundaciones provocadas por el desborde del río Choqueyapu y sus afluentes por la grave alteración de su estructura y la eliminación de la mayor parte de sus funciones y servicios, aunque en periodos de tiempo muy distanciados, representaron en su momento altos costos en términos de vidas humanas y gastos para la mitigación y recuperación de la economía local. Sin embargo, en tiempos pasados, las inundaciones representaban el mantenimiento de la productividad de los suelos por donde atravesaban este río y sus afluentes, arrastrando nutrientes, humedeciendo el suelo y manteniendo la calidad del sustrato, especialmente para actividades agrícolas.

En cuanto a la ecología de este tipo de ecosistemas, es posible afirmar que es necesario mantener el régimen hidrológico de estos y su variabilidad natural, con el objetivo de preservar las características ecológicas de los mismos, incluyendo su biodiversidad. Las condiciones hidrológicas afectan a varios factores abióticos, incluyendo la disponibilidad de nutrientes, la anaerobiosis del suelo y la salinidad, los que a su vez determinan la biota que se establece en el ecosistema. Es necesario además, mantener la calidad de las aguas de los ecosistemas acuáticos, su estructura, redes tróficas, relaciones con organismos asociados, etc., ya que el suministro de funciones y servicios derivados de los ecosistemas acuáticos tiene especial importancia en el bienestar de las poblaciones.

Existe gran urgencia de remediar la situación, primero para preservar la salud de la población y luego por la creciente escases de agua que azota a la ciudad de La Paz, posiblemente por efectos del cambio climático, especialmente porque el suministro de la ciudad depende del deshielo y derretimiento de los nevados perpetuos que rodean la ciudad y que en los últimos años se han visto drásticamente reducidos.

Existe la normativa legal general y específica para el control de la contaminación en cuerpos de agua receptores y el vertido de agua residual y efluentes industriales. El siguiente paso es hacer cumplir esta legislación, ya sea a través de incentivos al cumplimiento o sanciones al incumplimiento.

Es posible que la calidad de los servicios de la microcuenca del río Choqueyapu, de los que actualmente se beneficia la población de la ciudad de La Paz, se recupere o mejore considerablemente si se realizan actividades y planes de descontaminación y prevención de la contaminación de las aguas. Elaborar planes enfocados en la remediación y la prevención sería la herramienta más adecuada para mejorar la situación de este ecosistema, articulándolas con medidas educativas, informativas y otras que involucren a la mayor parte de la población. Es importante además desarrollar una planificación adecuada respecto al aprovechamiento de sus aguas y otros servicios que derivan de este ecosistema.

Al mejorar la calidad de las aguas, también mejorará la calidad biológica del ecosistema y pueden ampliarse los servicios de éstos para la población, al poder estar disponibles servicios

como pesca y riego de mejor calidad en lo que respecta a la carga de nutrientes, oxígeno, material particulado, carga de contaminantes, etc.

Se recomienda priorizar por parte de las autoridades correspondientes, el tratamiento adecuado de la situación de este ecosistema, es decir, priorizar la mitigación de los impactos negativos sobre este ecosistema, lograr el cumplimiento de la normativa legal vigente sobre esta temática, buscar la recuperación y ampliación de las funciones y servicios de este ecosistema y mejorar el bienestar de las personas que utilizan sus aguas para sus actividades.

Es necesario además, ampliar estudios con un enfoque ecosistémico integral sobre este y otros ecosistemas seriamente afectados en la misma área del presente estudio y generar la información necesaria para la toma de decisiones informada y la planificación adecuada para el aprovechamiento de los servicios de estos ecosistemas.

# Referencias

---

## Referencias

- Ahfeld, F. 1972. Geología de Bolivia. Ed. Los Amigos del Libro. La Paz, 128 pp.
- Ahlfeld, F. y Ballivian, L. 1960. Geología de Bolivia. Instituto Boliviano del Petróleo. Don Bosco, La Paz. 134 pp.
- Alba-Tercedor, J. 1996. Macroinvertebrados acuáticos y calidad de las aguas de los ríos. Simposio del Agua en Andalucía (SIAGA) Almería. Vol II. Pág. 203-213.
- Beck, S. 1988. Las regiones ecológicas y las regiones fitogeográficas de Bolivia. Instituto de Ecología, La Paz. Pág. 269-271.
- Boyd, J., Banzhaf, S. 2007. *What are ecosystem services? The need for standardized environmental accounting units*. Ecological Economics (63). Pág. 616–626.
- Boulange, B. y Aquize, E. 1981. *Morphologie, hydrographie et climatologie du lac Titicaca et de son bassin versant*. Hydrobiologie Tropicale (4). Pag. 269 – 280.
- Cerda, J. 1986. Contribución al estudio de amebas testáceas (Protozoa-Rhizopoda) de la Cordillera Real Andina. Los Amigos del Libro, La Paz. 520 pp.
- Costanza, R. 1997. *The value of the world's ecosystem services and natural capital*. Nature (387). Pág. 253 – 260.
- Daly, G. 1997. *Nature's services: societal dependence on natural ecosystems*. Island Press, Washington DC.
- Díaz S., Fargione J., Chapin F.S.III. y Tilman D. 2006. *Biodiversity loss threatens human well-being*. PLoS Biology (4). Pág. 1300-1305.
- de Groot, R.S. 1992. *Functions of nature: evaluation of nature in environmental planning, management and decision making*. Wolters-Noordhoff BV, Groningen, Holanda.
- de Groot, R.S., Wilson, M. y Boumans, R. 2002. *A typology for the description, classification and valuation of ecosystem functions, goods and services*. Ecological Economics (41). Pág. 393-408.
- Dobrovolny, E. 1962. Geología del Valle de La Paz. Ministerio de Minería, Minas y Petróleo, La Paz. 153 pp.
- Eichenberger, W. 2002. Análisis de los factores climáticos en el Valle de La Paz. Universidad Mayor de San Andrés. Pág. 31-45.
- Estenssoro, S. 1991. Los bofedales de la cuenca alta del valle de La Paz. Centro de datos para la Conservación. Universidad Mayor de San Andrés. Pag. 109-121.
- Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (EM). 2005. Los ecosistemas y el bienestar humano: Humedales y Agua. World Resources Institute, Washington D.C.

- Evaluación de los ecosistemas del Milenio (EM). 2005. Los ecosistemas y el Bienestar Humano. Síntesis. Island Press, Washington DC.
- Forno, E., Baudoin, M. 1991. Historia Natural de un Valle en Los Andes: La Paz. Instituto de Ecología – Universidad Mayor de San Andrés, La Paz. 545 pp.
- García, E. 1987. Adaptaciones Morfológicas de las Plantas. Instituto de Ecología, Universidad Mayor de San Simón. Pag. 169-191.
- García, E. 1987. Flora y Vegetación de la ciudad de La Paz. Tesis de Grado, Departamento de Biología, Universidad Mayor de San Andrés. La Paz. 189 pp.
- Gobierno Municipal de La Paz (GMLP). 2007. Contaminación orgánica e inorgánica en la cuenca del Río Choqueyapu, Informe final. 229 pp.
- Gobierno Municipal de La Paz, 2010. Atlas del Municipio de La Paz.
- Gobierno Municipal de La Paz, 2010. Programa de Operaciones Anual, Gestión 2010.
- Gobierno Municipal de La Paz, 2005. Dossier Estadístico del Municipio de La Paz 2005 – 2010.
- Gómez E. y Little A. 1984. Informe de los conocimientos actuales de los Ecosistemas Andinos (I). UNESCO, PNUMA, ROSTALC. Montevideo.
- Gomez-Baggethun, E. y de Groot, R. 2007. Capital natural y funciones de los ecosistemas: explorando las bases económicas de la economía. Ecosistemas 16 (3): 4 - 14
- Holling, C. S. 1973. Surprise for science, resilience for ecosystems, and incentives for people. Ecological Applications (6). Pág. 733 - 735.
- Japan International Cooperation Agency. 1993. Estudio para el control de la contaminación del agua de los ríos en la ciudad de La Paz, texto principal. 148 pp.
- Krauskopf, K.B., Bird, D.K. 1995. Introduction to Geochemistry. MacGraw-Hill, NY. 647 pp.
- Liberman M. 1991. Geografía de la Cuenca del Valle de La Paz. Instituto de Ecología, La Paz. 68 pp.
- Liberman, M. y Salm, H. 1985. Estudio ecológico de las cuencas de drenaje de las represas Incachaca y Hampaturi Alto: Impacto ambiental por la ampliación de la capacidad de embalse. Instituto de Ecología, La Paz. 17 pp.
- Lorini, J. 1991. Composición de los ecosistemas de la cuenca del Valle de La Paz. Los Amigos del Libro. 128 pp.
- Martín-López B. y Montes C. 2010. Funciones y servicios de los ecosistemas: una herramienta para la gestión de los espacios naturales. En: Guía Científica de Urdaibai. UNESCO, Dirección de Biodiversidad y Participación Ambiental del Gobierno Vasco. 22 pp.
- Meadows, D., Meadows, D. y Randers, J. 1972. Los Límites del Crecimiento.
- Montes, C. 2007. Del desarrollo sostenible a los servicios de los ecosistemas. Ecosistemas 16 (3). Pág. 1 – 3

- Montes, C., y Sala, O. 2007. La Evaluación de los Ecosistemas del Milenio. Las relaciones entre el funcionamiento de los ecosistemas y el bienestar humano. Ecosistemas 16 (3). Pág. 137-147
- Montes de Oca, I. 2005. Enciclopedia geográfica de Bolivia. Editora Atenea S.R.L, La Paz. 872 pp.
- Ostria, C. 1987. Phytoécologie et Paleoécologie de la vallée altoandine de Hichu Kkota (Cordillère orientale, Bolivie). Tesis Doctoral de la Universidad de Paris. 180 pp.
- Schoop, W. 1980. Die Bolivianischen Departementzen im Verstädterungsprozess del Landes. Acta Humboldtiana, Series Geográfica et Ethnographica (7). Pág. 1-319.
- Smith R. L. y Smith, T. M. 2001. Ecología. Ed. Addison-Wesley. Pag. 532-550
- Ronchal, J. 1985. *Situations météorologiques et Variations Climatologiques en Bolivie-Rapport Provisoire*. PHICAB, SENAMHI, IHH. La Paz. 189 pp.
- Vacaflores, V. 2003. Migración interna e intrarregional en Bolivia: una de las caras del neoliberalismo. Aportes andinos (7) Pag. 1 - 8. Universidad Andina Simón Bolívar.
- WWF, ZSL, Global Footprint Network. 2008. Informe Planeta Vivo. 48 pp.

### **Páginas de internet**

<http://www.ecomilenio.es/funciones-y-servicios-de-los-ecosistemas-una-aproximacion-a-los-conceptos-clave/169>