

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO PUNO

FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



**EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE AGUA EN LOS
DIFERENTES PUNTOS DE DESCARGA DE LA
CUENCA DEL RIO SUCHEZ**

TESIS

PRESENTADA POR:

Br. SERGIO CASILLA QUISPE

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AGRÍCOLA

PUNO – PERÚ

2014

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO PUNO
FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE AGUA EN LOS DIFERENTES
PUNTOS DE DESCARGA DE LA CUENCA DEL RIO SUCHEZ

TESIS

PRESENTADA

A LA COORDINACIÓN DE INVESTIGACIÓN DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA
AGRÍCOLA, COMO REQUISITO PARA OPTAR EL TITULO DE:
INGENIERO AGRICOLA

APROBADO POR EL SIGUIENTE JURADO REVISOR:

PRESIDENTE DEL JURADO	:	 <hr/> Dr. Eduardo Flores Condori
PRIMER MIEMBRO	:	 <hr/> Dr. German Belizario Quispe
SEGUNDO MIEMBRO	:	 <hr/> M.Sc. Roberto Alfaro Alejo
DIRECTOR DE TESIS	:	<hr/> M.Sc. Alberto Choquecota riva
ASESOR DE TESIS	:	 <hr/> Dr. Eduardo Luis Flores Quispe

ÁREA : Ingeniería y Tecnología
TEMA: Evaluación de impacto ambiental
LÍNEA: Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente

DEDICATORIA

A Dios por darme la vida y acompañarme siempre.

A la memoria de mis padres Bonifacio y Toribia.

A mi esposa Gladys por su paciencia y comprensión en los momentos difíciles.

A mis hijos Jaren A. y Andree S. que son la razón de ser motivo de gozo permanente en mi vida.

A mis hermanos Anselmo y Francisca ejemplo a seguir de trabajo y honestidad.

AGRADECIMIENTO

**QUEREMOS EXPRESAR NUESTRA MAYOR GRATITUD A LOS PROFESIONALES QUE HAN FACILITADO EL CAMINO PARA LA REALIZACIÓN DE ESTA TESIS.*

SIN ANTES AGRADECER A MIS JURADOS CALIFICADORES:

AL DR. EDUARDO FLORES CONDORI, DR. GERMAN BELIZARIO QUISPE, M.SC. ROBERTO ALFARO ALEJO Y M.SC. ALBERTO CHOQUECOTA RIVA, POR SU VALIOSO APORTE Y EXIGENCIA SOBRE TODO COMPRENSIÓN.

**A LA FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA DE LA U.N.A – PUNO EN PARTICULAR A LOS DOCENTES POR HABER IMPARTIDO SUS CONOCIMIENTOS, AGRADECER A NUESTROS AMIGOS QUE HAN CONTRIBUIDO TODOS LOS DÍAS EN NUESTRO APRENDIZAJE, A TODOS ELLOS NUESTRA MÁS PROFUNDA GRATITUD PARA SIEMPRE.*

CONTENIDO

RESUMEN	xi
ABSTRACT	xii
CAPITULO I INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Planteamiento del problema	1
1.2. Justificación	6
1.3. Objetivos del estudio	7
1.3.1 Objetivo general.....	7
1.3.2 Objetivos específicos	8
CAPITULO II. MARCO CONCEPTUAL.....	9
2.1. Índice Biótico Extendido (IBE).....	9
2.2. Evaluación de calidad de agua de ríos	10
2.3 Escasez de agua.....	10
2.4 Calidad del agua	11
2.5 Los conceptos y tipos de contaminación del agua	13
2.6. Importancia de la calidad del agua.....	15
2.7 Calidad y cantidad de agua en una cuenca hidrográfica.....	17
2.8 Factores que influyen en la cantidad y calidad del agua.....	17
2.8.1 Uso de la tierra y su relación con la calidad del agua	17
2.8.2. La actividad ganadera y su relación con la calidad del agua	19
2.8.3 La agricultura y su influencia en la calidad del agua	20
2.8.4 Actividades humanas	22
2.8.5 Cobertura vegetal	23
2.8.6 Actividades forestales	23
2.9. Procesos que afectan la calidad de agua en una microcuenca	24
2.10. Criterios de calidad de agua.....	26
2.10.1 Principales indicadores físicos, químicos y biológicos de calidad de agua.....	26
2.10.2 Indicadores microbiológicos del agua.....	27
2.10.3. Indicadores físicos y químicos del agua.....	28
2.10.4. Oxígeno disuelto.....	28
2.10.5. Demanda Bioquímica de Oxígeno	29
2.10.6. pH o concentraciones de iones hidrógeno.....	29
2.10.7. Turbidez.....	29

2.10.8. Sólidos totales disueltos	30
2.10.9. Conductividad	30
2.11. Agua y salud.....	30
2.12. Tecnologías apropiadas para desinfección del agua	32
2.12.1 Desinfección física	33
2.12.2. Desinfección química.....	36
2.13. Participación comunitaria.....	37
CAPITULO III MATERIALES Y MÉTODOS	39
3.1 Area del estudio	39
3.2. Metodología	42
3.2.1. Temperaturas medias anuales	43
3.2.2. Precipitación pluvial.....	43
3.2.3. Humedad relativa.....	44
3.2.4. Tiempo de insolación	44
3.2.5. Niveles del Lago Titicaca.....	45
3.2.6. Geología y geomorfología	46
3.2.7. Hidrología de la cuenca del Lago Titicaca	48
3.3. Características socioculturales	51
3.3.1. Población	51
3.3.2. Nivel de vida.....	51
3.4. Características económicas	52
3.4.1. Agropecuaria	53
3.4.2. Producción.....	54
3.4.3. Minería	56
3.4.4. Hidrocarburos.....	57
3.4.5.. Pesquería	58
3.4.6. Turismo	59
3.5. Diversidad biológica	60
3.5.1. Áreas Naturales Protegidas	61
CAPITULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN	64
4.1. Evaluación de la calidad del agua en los diferentes puntos de descarga y de qué manera afectan a la salud de los pobladores de la cuenca del rio Suchez.....	64
4.1.1. pH	68
4.1.2. Conductividad eléctrica (CE).....	70

4.1.3. Dureza total (CaCO ₃)	72
4.1.4. Alcalinidad (CaCO ₃)	74
4.1.5. Cloruros (Cl)	75
4.1.6. Sulfatos	78
4.1.7. Nitratos	80
4.1.8. Calcio	83
4.1.9. Magnesio	86
4.1.10. Solidos totales.....	89
4.2. Determinar el estado de contaminación del agua por mercurio de los diferentes componentes del ecosistema de la cuenca del río Suchez.....	93
CAPITULO V. CONCLUSIONES	99
CAPITULO VI. RECOMENDACIONES.....	102
CAPITULO VII. BIBLIOGRAFIA CITADA	103
ANEXOS.....	110

RELACIÓN DE FIGURAS

Figura 01 Variación de lago Titicaca 1920 a 1986.....	46
Figura 02 valores de Ph para diferentes puntos de muestreo de rio suchez	69
Figura 03 Valores de conductividad eléctrica en los diferentes puntos de la cuenca suchez	70
Figura 04 Valores de dureza total del agua en los puntos de la cuenca suchez.....	73
Figura 05 Valores de alcalinidad del agua en los puntos de la cuenca suchez	74
Figura 06 Valores de cloruros del agua en los diferentes puntos de la cuenca	77
Figura 07 Valores de contenidos de sulfatos de agua en la cuenca de suchez.....	79
Figura 08 Valores de contenidos de nitratos del agua en la cuenca de suchez.....	81
Figura 09 Valores de contenidos de calcio de agua en la cuenca suchez	82
Figura 10 Valores de contenidos de magnesio del agua en la cuenca suchez.....	87
Figura 11 Valores de contenidos de solidos totales del agua en la cuenca suchez..	90
Figura 12 Dendrograma de análisis de cluster para valores similares de diferentes puntos de muestreo de rio suchez	93

RELACIÓN DE CUADROS

Cuadro 01 Disponibilidad hídrica de la vertiente del Titicaca.....	50
Cuadro 02 Análisis Físico Químico del agua de la cuenca suchez.....	67
Cuadro 03 Valores de Ph y Mercurio reportados para la cuenca del rio suchez.....	69
Cuadro 04 Clasificación de las aguas según la salinidad de agua(James;et, al, 1982)	71
Cuadro 05 Índice de dureza del agua	74

RELACION DE FOTOGRAFIAS DE LA CUENCA SUCHEZ

Foto 01. Análisis de muestra de agua en el laboratorio	111
Foto 02. Análisis Físico Químico del agua en el laboratorio	111
Foto 03. Análisis de la Calidad del agua en el laboratorio	112
Foto 04. Análisis de las diferentes sustancias del agua de la cuenca suchez	112
Foto 05. Toma de muestras parte pastizal de la cuenca suchez	113
Foto 06. Parte piñuni Acumulación de Residuos Sólidos	113
Foto 07. Contaminación latente Feria internacional de Perú y Bolivia (Chejepampa)	114
Foto 08. Desechos sólidos vertidos directamente a la cuenca suchez	114
Foto 09. Toma de datos en el rio paria.....	115
Foto 10. Toma de muestras en puente ramón castilla.....	115
Foto 11. Solidos en suspensión de lamas dejados por los mineros informales en la cuenca	116
Foto 12. Imagen de parte tripartita sector huancasaya feria Perú y Bolivia	116
Foto 13. Contaminacion directo en la actualidad parte del distrito de cojata	117
Foto 14. Plano de Ubicación y Localizacion de la zona (Cuenca Suchez).....	117

RESUMEN

La cuenca en estudio pertenece al sistema de cuencas endorreicas del lago Titicaca, el río Suchez ha sido designado como límite entre los países. Perú y Bolivia. Donde se encuentra el potencial aurífero en la zona es uno de los mayores de la región al encontrarse constituido por placeres del oro formados en el ordovícico en la cordillera de Palomani. Dentro de la cuenca se encuentran los asentamientos humanos destinados a la ganadería en menor escala y la agricultura; así también la actividad de extracción de oro, esta cuenca se constituya en un problema de derecho de uso de orden internacional; así como de contaminación por mercurio de los ecosistemas y posiblemente humanos, debido a que este metal pesado, altamente tóxico es empleado para separar el oro de los otros minerales presentes en los sedimentos. El estudio abarcó alrededor de 35 km de tramo en el río Suchez a partir de su desembocadura, con un rango altitudinal entre los 3 904 y 3 844 m.s.n.m. Caracterizaron los cuerpos de agua en función a su contenido de sólidos suspendidos, conductividad eléctrica, iones mayores (sulfatos, sodio, potasio, calcio y magnesio) y pH. En las aguas del río Suchez encontraron que los sólidos suspendidos son bajos (< a 5 mg/l), con tendencia a incrementar a medida que hay menos pendiente, en la desembocadura; sin embargo los sólidos totales alcanzan los valores más elevados en relación a otras zona del sector 240 mg/l. El anión más importante son los sulfatos (32.0-24.0 mg/l) y el calcio es el catión predominante (24.0-16.0 mg/l), otros iones cuantificados fueron sodio (6.4-6.9 mg/l) y magnesio (5.1-3.4 mg/l). Según Navarro y Maldonado (2004) las aguas presentan altos contenidos de sulfatos y bicarbonatos, el calcio, sodio y sílice son secundarios en importancia. El estado de contaminación por mercurio de la cuenca, así como el riesgo que este metal representa para la salud de los pobladores locales agrava la situación de los conflictos en la región. Es necesario identificar el estado de contaminación de los ecosistemas locales, así como el riesgo a la salud que representa para los seres humanos. En este marco la ONG Agua Sustentable ha contratado los servicios de la Asociación Fauna gua para realizar el análisis de información secundaria disponible sobre el estado de contaminación de la cuenca.

Palabras clave. Calidad de agua, contaminación por mercurio de la minería.

ABSTRACT

The basin under study belongs to the system of endorheic basins of Lake Titicaca, the Suches River has been designated as the boundary between the countries. Peru and Bolivia. Where is the gold potential in the area is one of the largest in the region to be composed of placer gold formed in the Ordovician in the Cordillera Palomani. Within the basin are human settlements for small scale agriculture and livestock; so the gold mining activity, the basin becomes a problem of right to use international order; and mercury contamination of ecosystems and possibly humans, because this highly toxic heavy metal is used to separate gold from other minerals present in sediments. El study covered about 35 km stretch in the Suhez River from its mouth, with an altitude range between 3904 and 3844 m They characterized the water bodies according to their content of suspended solids, electrical conductivity, major ions (sulphates, sodium, potassium, calcium and magnesium) and pH. Suhez in river waters found that the suspended solids are low (<5 mg / l), with a tendency to increase as there is less steep at the mouth; however the total solids reach higher values in relation to other area of the sector 240 mg / l. The most important are the sulfate anion (32.0-24.0 mg / l) and calcium is the predominant cation (24.0-16.0 mg / l), other ions were quantified sodium (6.4-6.9 mg / l) and magnesium (5.1-3.4 mg / l). According to Navarro and Maldonado (2004) waters with high content of sulfates and bicarbonates, calcium, sodium and silica are secondary in importance. The state of mercury contamination in the watershed, and the risk that this metal to the health of local people aggravates the situation of conflict in the region. You need to identify the state of pollution of local ecosystems and the health risk posed to humans. In this context, the Sustainable Water NGO has contracted with the Faunagua Association for the analysis of secondary information available on the state of pollution in the watershed.

Keywords. Water quality, mercury pollution from mining.

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. Planteamiento del problema

La cuenca del río Suchez se encuentra parcialmente contaminada por mercurio debido a la explotación aurífera desarrollada en la región. La zona presenta un alto potencial aurífero, el cual es explotado de forma artesanal o semi-artesanal, lo que implica que en algunos casos se empleó mercurio para la separación final del oro de otros minerales. Con esta técnica la recuperación de oro es parcial (55%) y la recuperación de mercurio depende de los procesos de manipulación, cuando su recuperación es ineficiente es liberado al medioambiente, alcanzando cuerpos de agua, suelos, biota y humanos, el mercurio es el metal pesado más tóxico conocido debido a que incluso a bajas concentraciones afecta el nivel psico-motor de los humanos.

El problema tiene un impacto que se nota con mayor relevancia en la cuenca del río Suchez, así según el informe del SER (2007), desde hace varios años, la explotación minera informal viene produciendo un grave daño ambiental en la región de Puno; siendo los más afectados los pobladores que viven alrededor de la cuenca. En todo este tiempo, han sido muchas las movilizaciones, reuniones, comisiones y decretos emitidos alrededor de este tema, sin que se haya logrado obtener ningún resultado concreto.

Por otro lado, la contaminación del lago Titicaca por los ríos afluentes es un problema que es evidente, pero pocos estudios científicos se han realizado para conocer la

contaminación y transporte de contaminantes y destino de sustancias tóxicas en un cuerpo de agua en un área de investigación.

El recurso hídrico está bajo presiones crecientes como consecuencia del crecimiento de la población, el incremento de las actividades pecuarias y el establecimiento de asentamientos humanos en zonas no adecuadas, lo cual ha llevado a una competencia por los recursos limitados de agua dulce.

Una combinación de problemas económicos y socioculturales sumados a una carencia de programas de superación de la pobreza, ha contribuido a personas que viven en condiciones precarias a sobreexplotar los recursos naturales, lo cual afecta negativamente la calidad del recurso agua; las carencias de medidas de control de la contaminación dificultan el uso sostenible del vital líquido.

Según los actores, la causa de los problemas es la destrucción del bosque por incendios forestales, uso no adecuado del suelo, la falta de conciencia de conservación de los recursos naturales, y baja escolaridad de los pobladores. Sobre las consecuencias del problema, casi todos coinciden en la contaminación e insalubridad existente como efecto inmediato de la degradación de los recursos.

El deterioro de la calidad del agua causado por la contaminación influye sobre el uso de las aguas curso abajo, amenaza la salud humana y el funcionamiento de los sistemas acuáticos, reduciendo así la efectiva disponibilidad e incrementando la competencia por el agua de calidad.

La contaminación de los ríos afluentes del lago Titicaca, se ha convertido en una amenaza para la salud siendo la fuente de contaminación la explotación minera y los relaves mineros, metales pesados como el arsénico, plomo, mercurio, cobre, etc., tienen su origen natural, antropogénico, industrial, agropecuario, doméstico, minero o

de acuerdo a determinantes geológico mineros.

Se ha reconocido dos zonas mineras representativas: zona Minera Norte (Cerro Lunar, Rinconada, Ananea y Crucero) y zona Minera Centro y Sur (San Antón, Progreso, Asillo, Pucará, Azángaro, Tirapata), Juliaca, Puno.

El agua es un elemento esencial para la vida y todos somos conscientes que es necesaria para todos los seres vivos, para la producción de alimentos, electricidad, mantenimiento de la salud. También es requerida en el proceso de elaboración de muchos productos industriales, medios de transporte y es esencial para asegurar la sostenibilidad de los ecosistemas de la tierra (ONU/WWAP 2003).

El agua forma parte de todos los procesos naturales de la tierra, por lo que tiene un impacto en todos los aspectos de la vida.

Debido a que cada organismo depende del agua, ésta se ha convertido en el eje primordial del desarrollo de la sociedad a través de la historia. Pero también el agua es un recurso limitado, muy vulnerable y escaso en los últimos años, y no existe una conciencia globalizada sobre el manejo razonable que se debe ejercer sobre el mismo.

Esto origina crisis por el uso del agua, que provoca enfermedades de origen hídrico, desnutrición, crecimiento económico reducido, inestabilidad social, conflictos por su uso y desastres ambientales, por lo que es necesario mantener un monitoreo constante de la calidad del agua y conocer el uso de tecnologías o factores que afectan su calidad.

Sin la seguridad de tener acceso a agua de calidad, los humanos no podríamos sobrevivir por mucho tiempo. Las enfermedades relacionadas con el agua están entre

los más comunes malestares y la mayoría de los casos se presentan en los países en desarrollo (ONU/WWAP 2003)

Se ha estimado que para el año 2000, más de 2 billones de personas fueron afectadas por la escasez del agua en unos 40 países, de estos 1,1 billón no tuvo suficiente agua para tomar (WHO/UNICEF 2000).

En Centroamérica conforme a la clasificación de la Organización Meteorológica Mundial (OMM), los países de la región cuentan con recursos hídricos suficientes y no debieran afrontar problemas de abastecimiento, pues utilizan menos del 10% de los mismos (PACADIRH 2001) (Ver Cuadro 1).

Sin embargo la distribución temporal y espacial de la lluvia, evidencia un déficit hídrico durante 5 a 7 meses en la Vertiente del Pacífico, donde vive cerca del 70 % de la población, pero escurre cerca del 30% del agua de lluvia, limitando la producción, la seguridad alimentaria y conflictos entre usuarios del agua.

Por otra parte, toda la región tiene problemas de contaminación de aguas, con afectaciones serias a la salud humana y animal. En nuestro país, la mayoría de los recursos hídricos de las cuencas hidrográficas a nivel superficial están alterados desde sus características físicas, químicas y microbiológicas, por efecto de la disposición de residuos líquidos y sólidos, domésticos, agrícolas e industriales.

Se estima que sólo cerca de un 5% de las aguas residuales reciben algún tratamiento y que el 50% de los desechos sólidos producidos son dispuestos directamente en fuentes de agua. Se desconocen los índices de contaminación química, pero anualmente se importan gran cantidad de insumos agrícolas.

Adicionalmente, los patrones de asentamiento humano reducen las zonas de recarga hídrica y ponen en riesgo la calidad de las aguas subterráneas, al ubicarse en las partes altas de las cuencas, sin sistemas efectivos de desinfección y tratamiento de aguas residuales.

La microcuenca suchez presenta muchos de estos problemas de contaminación a pesar que abastece de agua a seis comunidades que cuentan con 2559 habitantes; existe una debilidad en la administración del recurso por falta de aplicación y control de los sistemas de regulación, esto como efecto de la baja capacidad local para darle un uso correcto al agua y conservar sus propiedades para consumo humano.

El rio Suchez, mediante el presente trabajo tiene como objetivo determinar el grado de contaminación existente, identificar su origen, evaluar su procedencia aguas arriba, y así mismo caracterizar qué tipo de contaminantes y tecnologías están causando este fenómeno, jerarquizar las tecnologías que contaminan menos hasta las que contaminan más, para poder recomendar medidas de mitigación, teniendo como objeto disminuir el grado de contaminación de la cuenca a través de la implementación de tecnologías de bajo costo y apropiadas a las condiciones de la zona.

La realización de este análisis se generó a través de una metodología participativa. Esta permitió identificar nuevas prácticas de manejo de aguas para proteger y recuperar la calidad del recurso hídrico, para satisfacer las necesidades actuales y requerimientos de la población, mejorando sus condiciones de vida y salud, impulsando de esa forma el desarrollo de la región.

1.2. Justificación

Una de las principales amenazas a las que se encuentra sujeta la cuenca del río Suchez es la contaminación por mercurio, ocasionada por la extracción minera de oro desarrollada tanto en Perú como Bolivia.

Por otra parte, el lago Titicaca, tiene una importancia arqueológica y antropológica, además de la particularidad de sus ecosistemas relacionados con el mayor cuerpo de agua a una altitud superior a los 3800 msnm. Este ecosistema presenta una fauna acuática propia de la zona, así como una avifauna diversa y con numerosas especies endémicas. Su flora, que aporta con la Titora un elemento central de los ecosistemas del lago, junto con la fauna, estos constituyen recursos de importancia socioeconómica para la población.

Es conocida, que a nivel mundial es evidente el incremento en el deterioro de la calidad del agua de los ríos. En los países en desarrollo el problema se agrava, ya que las fuentes de financiamiento son insuficientes, así como las opciones o los recursos tecnológicos para el monitoreo de la calidad del agua.

Por otro lado, los datos obtenidos de las estaciones de monitoreo, generalmente son irregulares en tiempo y calidad, por lo que la información generada carece de confiabilidad al pretender generar estrategias para el adecuado manejo de los recursos acuáticos y para el control de la contaminación (Mustow, 2002).

Por lo que ha surgido, ha resurgido el interés sobre técnicas de evaluación rápida para el monitoreo de la calidad del agua en varios países en desarrollo (Chessman, 1995). En esos métodos emplean a las comunidades biológicas existentes en el sistema

acuático y hacen énfasis en el bajo costo de la investigación, un muestreo reducido y un análisis más eficiente de los datos.

Entre las comunidades más utilizadas están los macro invertebrados, y su utilidad como indicadores para evaluar la calidad del agua se ha incrementado significativamente; su muestreo es simple y resulta menos costoso que la mayor parte de las técnicas analíticas de laboratorio.

En muchos países se ha adoptado su identificación a nivel familia en estudios de monitoreo biológico para la evaluación de los grados de contaminación en ríos, sin ser necesaria la identificación a nivel especie (Payne, 1986; Chessman, B.C. 1995; Barbour et al, 1999).

Cada vez, la calidad del agua es más baja, lo que puede contribuir a transmitir gran cantidad de enfermedades diarreicas agudas (EDA) (Otero 2002). Estas constituyen uno de los principales problemas de salud en la población infantil por que representan la primera causa de muerte en niños de 1 a 5 años de edad, en quienes ocasionan 3,2 millones de defunciones anuales en el mundo (Prieto et al. 1997).

1.3. Objetivos del estudio

1.3.1 Objetivo general

Analizar la calidad del agua para contribuir a la identificación y caracterización de zonas contaminadas del ecosistema a fin de mejorar la calidad del agua para consumo de los animales, uso de riego y consumo de los pobladores de la cuenca del río Suchez.

1.3.2 Objetivos específicos

Evaluar de la calidad del agua en los diferentes puntos de descarga y de qué manera afectan a la salud de los pobladores de la cuenca del río Suchez.

Determinar el estado de contaminación mercurial de los diferentes componentes del ecosistema de la cuenca del río Suchez.

CAPITULO II.

MARCO CONCEPTUAL

2.1. Índice Biótico Extendido (IBE)

López, Ramos y Hernández (2002), en su estudio aplicaron el índice biótico extendido (IBE), el cual se califica como un sistema rápido para evaluar contaminación orgánica. El modelo incluye profundidad, velocidad de corriente, color, olor y temperatura como parámetros físicos y pH, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto, nitrógeno total y fósforo total como parámetros químicos, que a su vez indican las condiciones ambientales.

La técnica empleada por López, Ramos y Hernández (2002), resultó económica, no requiere de conocimientos biológicos especializados, y los parámetros fisicoquímicos con los que se trabajó son de fácil determinación.

Los moluscos, crustáceos, insectos acuáticos y anélidos de agua dulce que forman parte del macrobentos, se usan más que ningún otro grupo de animales o plantas como indicadores biológicos de contaminación del agua, ya que cada población tiene un nivel de tolerancia a los contaminantes, reflejando en su composición y abundancia las variaciones del medio acuático debidas a la entrada y permanencia de contaminantes, aún tiempo después de su ocurrencia; también sirven para ubicar fuentes de contaminación e indican diferentes tipos de ella (López, 1997; Wilhm, 1975; Hawkes, 1979; Hellawell, 1986).

A partir de la identificación y abundancia de los organismos, se calculan matemáticamente los Índices Biológicos o Bióticos, con base en valores numéricos de

cada grupo de organismos (familias de moluscos, crustáceos, anélidos e insectos acuáticos) que corresponden a sus particulares grados de sensibilidad o tolerancia a la contaminación. Los índices así obtenidos, corresponden en forma significativa con el grado de impacto antropogénico (Thorne y Williams, 1997).

2.2. Evaluación de calidad de agua de ríos

ITCR (2000), emplearon una metodología, para la recolección de muestras. Ubicaron puntos en el cauce principal en los primeros 500 metros de la desembocadura de cada uno de los cauces secundarios donde se tomaron muestras durante un año. En los cauces secundarios, de acuerdo con los datos obtenidos y la ubicación de las comunidades participantes, lo muestrearon en el segundo año.

Los parámetros determinados por ITRC (2000) fueron: temperatura, oxígeno disuelto, demanda bioquímica de oxígeno, sólidos totales, pH, fosfatos nitritos y nitratos, residuos de plaguicidas. Los aspectos microbiológicos determinados fueron: coliformes totales y fecales. En cada punto de muestreo colectaron bentos de roca y sedimentos, los que se cuantificaron e identificaron a nivel de orden según los métodos y claves descritos en Water Quality Indicators Guide.

2.3 Escasez de agua

Los recursos hídricos se encuentran en peligro, los más importantes y estratégicos están sometidos a un alto grado de vulnerabilidad, por negligencia, falta de conciencia y desconocimiento de la población acerca de la obligación de protegerlos y la carencia de autoridades, profesionales y técnicos, a los que les corresponde cuidarlos y utilizarlos (Reynolds 2002).

Cerca de una tercera parte de la población del planeta vive en países que sufren una escasez de agua alta o moderada. Unos 80 países, que representan el 40% de la población mundial, sufrían una grave escasez de agua a mediados del decenio de los noventa, y se calcula que en menos de 25 años las dos terceras partes de la población mundial estarán viviendo en países con escasez de agua.

Se prevé que para el año 2020, el aprovechamiento de agua aumentará en un 40%, y que aumentará un 17% adicional para la producción alimentaria, a fin de satisfacer las necesidades de una población en crecimiento (CEPAL 2002).

Honduras tiene abundantes recursos hídricos. Existen dos sistemas fluviales que drenan desde las montañas centrales hasta el Mar Caribe y otras hacia el Océano Pacífico. A pesar de contar con estos recursos persisten los problemas relacionados a la cobertura y eficiencia de la calidad de los abastecimientos de agua y servicios de salud, su desenfrenada contaminación, el agotamiento de las fuentes subterráneas, el deterioro de las aguas dulces se ha convertido en un problema serio, ya que aproximadamente solo el 30% de la población consume agua con los estándares establecidos por la Organización Panamericana de la Salud (OPS).

2.4 Calidad del agua

El problema de la calidad de agua es tan importante como aquellos relativos a la escasez de la misma, sin embargo, se le ha brindado menos atención. El término calidad de agua se refiere al conjunto de parámetros que indican que el agua puede ser usada para diferentes propósitos como: doméstico, riego, recreación e industria.

La calidad del agua se define como el conjunto de características del agua que pueden afectar su adaptabilidad a un uso específico, la relación entre esta calidad del agua y

las necesidades del usuario. También la calidad del agua se puede definir por sus contenidos de sólidos y gases, ya sea que estén presentes en suspensión o en solución (Mendoza 1976).

La evaluación de la calidad del agua es un proceso de enfoque múltiple que estudia la naturaleza física, química y biológica del agua con relación a la calidad natural, efectos humanos y acuáticos relacionados con la salud (FAO 1993).

El análisis de cualquier agua revela la presencia de gases, elementos minerales, elementos orgánicos en solución o suspensión y microorganismos patógenos. Los primeros tienen origen natural, los segundos son procedentes de las actividades de producción y consumo humano que originan una serie de desechos que son vertidos a las aguas para su eliminación (Sáenz 1999).

La contaminación causada por efluentes domésticos e industriales, la deforestación y las malas prácticas de uso de la tierra, están reduciendo notablemente la disponibilidad de agua. En la actualidad, una cuarta parte de la población mundial, que principalmente habita en los países en desarrollo, sufre escasez severa de agua limpia, lo que provoca que haya más de diez millones de muertes al año producto de enfermedades relacionadas a la contaminación hídrica (OPS 1999).

Muchas de las actividades humanas contribuyen a la degradación del agua, afectando su calidad y cantidad. Entre las causas de mayor impacto a la calidad del agua en las cuencas hidrográficas de mayor importancia, está el aumento y concentración de la población, actividades productivas no adecuadas, presión sobre el uso inadecuado, mal uso de la tierra, la contaminación del recurso hídrico con aguas servidas domésticas sin tratar, por la carencia de sistemas adecuados de saneamiento,

principalmente en las zonas rurales. De igual manera, la contaminación por excretas humanas representa un serio riesgo a la salud pública (OMS, 1999).

Es de vital importancia, tanto para la salud humana como para el bienestar de la sociedad, contar con un abastecimiento seguro y conveniente, de satisfacción para el consumo humano, y la higiene personal debe ceñirse a normas adecuadas en cuanto a disponibilidad, cantidad, calidad y confiabilidad del abastecimiento. Dado que el agua es un líquido vital para los seres vivos, debe poseer un alto grado de potabilidad que puede resumirse en:

Condiciones físicas: que sea clara, transparente, inodora e insípida. Condiciones químicas: que disuelva bien el jabón sin formar grumos, que cueza bien las legumbres. Condiciones biológicas: que esté libre de organismos patógenos, con alto contenido de oxígeno y una temperatura que no debe sobrepasar más de 5°C a la del ambiente, pH no menor de seis ni mayor de ocho.

2.5 Los conceptos y tipos de contaminación del agua

Contaminación es la acción y efecto de introducir materias o formas de energía, o inducir condiciones en el agua que, de modo directo o indirecto, impliquen una alteración perjudicial de su calidad en relación con los usos posteriores o con su función ecológica (Gallego, 2000).

Dado que el agua rara vez se encuentra en estado puro, la noción de contaminante del agua comprende cualquier organismo vivo, mineral o compuesto químico cuya concentración impida los usos benéficos del agua (Sagardoy 1993).

Las categorías de contaminación que impactan a los recursos hídricos se derivan de fuentes puntuales y no puntuales. Éstas afectan y alteran las características naturales

de los recursos hídricos, ocasionalmente por actividades naturales, pero en su mayoría el mayor de los impactos es de carácter antropogénico (FAO, 1993).

Dependiendo de su origen existen dos tipos de contaminación de las aguas:

Contaminación puntual: es aquella que descarga sus aguas en un cauce natural, proviene de una fuente específica, como suele ser un tubo o dique. En este punto el agua puede ser medida, tratada o controlada. Este tipo de contaminación está generalmente asociada a las industrias y las aguas negras municipales.

Contaminación difusa: es el tipo de contaminación producida en un área abierta, sin ninguna fuente específica; este tipo de contaminación está generalmente asociada con actividades de uso de tierra tales como, la agricultura, urbanizaciones, pastoreo y prácticas forestales.

La contaminación puntual es fácil de eliminar, si se cuenta con los medios para almacenar el agua vertida, contaminada y tratarla. Generalmente se utilizan tanques de sedimentación, donde se depositan los sedimentos en el fondo y luego se trata con químicos el agua para ser vertida a las aguas naturales. El sedimento luego se utiliza como abono orgánico y se estabiliza en un lugar seguro.

En el caso de la contaminación difusa, su control es más difícil debido a su naturaleza intermitente y su mayor cobertura. Entre las fuentes de mayor dificultad de controlar, y que causan mayor impacto, se encuentran las fuentes no puntuales de contaminación, caso de parcelas donde fluye el agua sobre la superficie de la tierra arrastrando nutrientes, fertilizantes, plaguicidas y otros contaminantes aplicados en las actividades agropecuarias y forestales (FAO, 1993).

Este tipo de contaminación es causado por escorrentías de tierras agropecuarias, silvicultura, y ocupación urbana. No se produce de un lugar específico y único, sino

que resulta de la escorrentía, precipitación y percolación, se presenta cuando la tasa a la cuál los materiales contaminantes que entran en el cuerpo de agua, exceden los niveles naturales (Villegas 1995).

Las fuentes puntuales de contaminación se desplazan por la superficie terrestre o penetran en el suelo arrastrado por el agua de lluvia. Estos contaminantes consiguen abrirse paso hasta las aguas subterráneas, tierras húmedas, ríos, lagos, y finalmente hasta los océanos en forma de sedimentos y cargas químicas. La repercusión de estos contaminantes puede ir desde pequeños trastornos hasta graves catástrofes ecológicas sobre peces, aves, mamíferos y salud humana.

La característica principal de estas fuentes es que responden a las condiciones hidrológicas (Ongley 1997). Como ejemplo de este tipo de contaminación se pueden mencionar las actividades industriales y la contaminación de origen doméstico como excretas humanas, grasas, y jabones (Repetto y Moran 2001).

2.6. Importancia de la calidad del agua

Cada vez la disponibilidad de agua para consumo humano es menor, debido al crecimiento poblacional, incremento en el consumo per cápita, contaminación de las fuentes de agua en general y al manejo inadecuado de las cuencas hidrográficas (Randulovich 1997).

“Tomando como ejemplo los países del Continente Africano, si en Honduras no se define una estrategia de preservación del agua, en los próximos 50 años se quedará sin agua, aunque tenga el suficiente recurso hídrico”, advirtió el coordinador de la Plataforma del Agua del PNUD, Julio Cárcamo, quien sugirió que los distintos sectores del país, involucrados en el tema, tomen acciones inmediatas (El Heraldo 2004).

Aunque el recurso hídrico sea constante, la calidad de la misma va disminuyendo rápidamente, como consecuencia de la contaminación de las fuentes de agua, lo cual genera el estrés hídrico. En la región Centroamericana, la magnitud del problema de la contaminación es alarmante ya que a estas alturas es imposible solucionar el problema mediante la dilución por efecto del aumento del caudal (Ongley 1997).

El peligro de que ciertos elementos solubles se incorporen al agua, y aún más peligroso, si estos elementos están en contacto directo con estas fuentes de agua, provocarán enfermedades en la salud pública. Las implicaciones de consumir agua contaminada son:

En el contexto de la salud pública se establece que aproximadamente un 80% de todas las enfermedades y más de una tercera parte de las defunciones en los países en vías de desarrollo tienen principal causa la ingestión del agua contaminada. Se estima que el 70% de la población que vive en áreas rurales de países en desarrollo, está principalmente relacionada con la contaminación de agua por heces fecales (OPS 1999).

Lo anterior tiene una estrecha relación con la escorrentía superficial, una forma de contaminación difusa o no localizada. La contaminación por fuentes no localizadas contribuye significativamente con niveles altos de agentes patógenos en las fuentes de aguas superficiales, especialmente por coliformes fecales de origen humano y animal.

En este sentido, un suministro seguro de agua para uso potable en cantidad, calidad y continuidad, contribuye a la reducción de la probabilidad de enfermedades transmitidas por la vía fecal y oral (OPS 1999).

2.7 Calidad y cantidad de agua en una cuenca hidrográfica

La cuenca hidrográfica es la unidad de análisis y planificación para darle el enfoque integrado al estudio del recurso hídrico superficial y subterráneo. Es el territorio o espacio de terreno limitado por cerros, partes elevadas y montañas, de los cuales se configura una red de drenaje superficial, que en presencia de precipitación de lluvias, forma el escurrimiento de un río para conducir sus aguas a un río más grande o a otro río principal, lago o mar (Faustino,2001).

En una cuenca hidrográfica se da el deterioro de los suelos, bosques y agua, daño a las aguas superficiales, los cuales de se reflejan como una respuesta inmediata de la cuenca a las alteraciones en la ocurrencia temporal del flujo y el deterioro de la calidad de las aguas de ríos.

Los recursos naturales de una cuenca (agua, suelo, biodiversidad) son renovables si se pueden reemplazarse por la vía natural o mediante la intervención humana. Por el contrario, son no renovables cuando no se les puede reemplazar en un periodo de tiempo significativo en términos de las actividades humanas a que están sometidos (Ramakrishna 1997).

2.8 Factores que influyen en la cantidad y calidad del agua

2.8.1 Uso de la tierra y su relación con la calidad del agua

Los cambios en el uso de la tierra sobre la calidad del agua han sido ampliamente comprobados. Éstos provocan alteraciones en los regímenes hídricos, cambios dramáticos de la calidad y cantidad del agua, especialmente al uso potable. Las prácticas de manejo en el uso de la tierra tienen una influencia muy fuerte en la calidad y cantidad del agua (Mitchell et al, 1991).

Se dice que el 80% del deterioro de la calidad del agua, se debe a sedimentos suspendidos, en su mayoría provenientes de la erosión de suelos como producto de presencia de urbanizaciones, deforestación, actividades agrícolas y ganaderas, siendo este tipo de actividades las que mayor impacto causa en la calidad del agua (Sinhg 1989).

El uso de la tierra tiene efectos sobre los procesos hidrológicos y de sedimentación, y está relacionada con la escorrentía, inundaciones, recarga de agua subterránea, erosión y carga de sedimentos.

El tamaño de los granos del suelo, su ordenamiento y su contenido de materia orgánica son factores íntimamente ligado a la capacidad de infiltración y de retención de humedad, por lo que el tipo de suelo predominante en la cuenca, así como su uso, influye de manera notable en la magnitud y distribución de los escurrimientos.

Los impactos de las prácticas del uso de la tierra se pueden agrupar en dos categorías: impactos sobre los valores de uso y valores de no uso. Los valores de uso pueden ser consuntivos, por ejemplo, el riego y el uso doméstico, y no consuntivos, como el transporte. Las masas de agua y las zonas de ribera pueden tener también valores de usos no significativos, por ejemplo como almacén de biodiversidad.

La incertidumbre existente en las relaciones entre las actividades del uso de la tierra en la cuenca alta y los impactos sobre los usuarios de los recursos de la cuenca baja, crea a su vez una incertidumbre en los valores económicos.

2.8.2. La actividad ganadera y su relación con la calidad del agua

La ganadería es una de las prácticas de uso de la tierra más comunes, con impactos sobre la calidad del recurso hídrico. Cuando se da un sobrepastoreo, es un efecto muy negativo desde el punto de vista bacteriológico y químico (Brooks et al. 1991).

Generalmente este efecto se observa en lugares de alta precipitación, fuertes pendientes, cercanos a fuentes de agua. Los contaminantes provenientes de estas áreas son arrastradas con facilidad y rapidez hacia los cuerpos de agua. El impacto más significativo se da en el caso de que estas fuentes hídricas estén desprovistas de cobertura vegetal que les de protección, o la ausencia de una zona de amortiguamiento, ya que estas corrientes arrastran microorganismos patógenos, nutrientes y sólidos suspensos (Brooks et al. 1991).

Los incrementos de bacterias en el agua se evidencian cuando el ganado pasta en áreas muy cercanas a las fuentes de agua. En un estudio realizado, la cantidad de bacterias en el suelo fue en función del tipo y del número de ganado, y la forma en que los desechos fueron tratados o almacenados (Brooks et al. 1991). Asimismo, la contaminación de las aguas superficiales por nutrientes provenientes de áreas de pastoreo afecta la calidad del agua (Wagner 1996).

Es por ello que un efecto sobre la calidad del agua se da por la intensidad del sobrepastoreo, ya que afecta la densidad del suelo, con el incremento del pisoteo, de tal forma que al ocurrir una lluvia o riego, la capacidad de almacenamiento del suelo es superada fácilmente, e inevitablemente ocurrirá arrastre de nutrientes por efecto de la escorrentía y lixiviación a las fuentes de agua. Se ha estimado que en áreas de ganadería con 1% de pendiente basta con 8 toneladas de peso seco por hectárea de

estiércol para que las aguas superficiales sean enriquecidas por nitrógeno y fósforo (Vidal et al. 2000).

Los factores que controlan y disminuyen los efectos de la contaminación por el estiércol están íntimamente relacionados a la capacidad de absorción de los cultivos al nitrato la capacidad de absorción del amonio por parte del suelo. Siendo afectada esta última por la compactación del suelo, lo que provoca una baja liberación de amonio en el suelo y seguido por el transporte a las fuentes de agua mediante la escorrentía (Vidal et al. 2000).

2.8.3 La agricultura y su influencia en la calidad del agua

La agricultura constituye una de las actividades más practicadas en el mundo, particularmente en áreas rurales. Su impacto sobre la calidad del agua es de mucha importancia.

Aproximadamente el 70% de los recursos hídricos del mundo son usados por la agricultura, lo cual significa el principal factor de la degradación de éstos, como consecuencia de la erosión y de la escorrentía química (FAO 1993).

Según Ongley (1997), la agricultura es el mayor usuario del agua dulce a escala mundial y el principal factor de degradación de los recursos hídricos superficiales y subterráneos, debido a la erosión y la escorrentía con productos proveniente de agroquímicos.

Esto justifica la preocupación existente por sus repercusiones en la calidad del agua a escala mundial.

La agricultura tiene un fuerte impacto sobre el ambiente, especialmente sobre las condiciones de las aguas superficiales y subterráneas, es considerada como una

fuente importante de contaminación en las aguas dulces de América Latina. Las principales fuentes agrícolas contaminantes la constituyen los fertilizantes, pesticidas y la ausencia del manejo de desechos sólidos.

La agricultura no es solamente el mayor consumidor de los recursos hídricos, sino que debido a las ineficiencias en su distribución y aplicación sus efluentes que retornan a los recursos de aguas superficiales o subterráneas contienen grandes cantidades de sales, nutrientes, productos agroquímicos que también contribuyen al deterioro de su calidad (FAO 1993).

La expansión agrícola y la deforestación en países tropicales son causas de degradación del agua. Se ha demostrado que plaguicidas asociados con sedimentos son una fuente muy común en países del trópico.

En la actualidad, los organismos dedicados a determinar la calidad de agua realizan muestreos más diversos, incluyendo agua, sedimento y biota, con la finalidad de determinar con mayor precisión los plaguicidas que se encuentran en el medio acuático (IICA 1997).

En la mayor parte de los países latinoamericanos, uno de los problemas más fuerte es la contaminación derivada de las fuentes no puntuales, como es el caso de la agricultura, dada por el uso de fertilizantes, plaguicidas, insecticidas y residuos que son arrastrados por las lluvias a las fuentes de agua (Wagner et al. 2000).

La contaminación de aguas superficiales está íntimamente relacionada con el proceso de pérdida de suelos, por el arrastre de sedimentos debido a la agricultura. Ésta posee dos dimensiones principales: la dimensión física, consistente en la pérdida de la capa arable del suelo, y la degradación de la tierra como consecuencia de la erosión laminar y cárcavas que provocan los altos niveles de turbidez.

El nitrato es típicamente lixiviado desde los campos cultivados y se mueve a poca profundidad, subterráneamente, hacia las fuentes superficiales; esta lixiviación se reduce hasta en un 15% cuando se dan prácticas de manejo de conservación de suelos y agua (Wagner 1996, Shilling y Libra 2000).

De igual manera al usar estiércol de ganado como abono en la agricultura, una porción significativa de amonio puede ser transportada a los cuerpos de agua por escorrentías de los campos agrícolas (Chambers et al. 2002).

También se han encontrado altos niveles de nitrato en aguas debajo de las tierras de cultivo; el uso excesivo de fertilizantes, así como las corrientes de agua de tormentas conteniendo nitratos de fertilizantes, parece ser la causa (OPS 1999).

2.8.4 Actividades humanas

El uso inapropiado que el hombre ha hecho de la tierra, eliminado las masas boscosas, ha sido causa principal en relación con el caudal de los ríos. Es decir, se refleja en la más rápida evacuación del agua y en la calidad de la misma.

La recepción de aguas contaminadas se da a través de dos fenómenos: las aguas de lluvias que discurren por el suelo y el subsuelo, que luego de su contacto con ella arrastran sub productos de las actividades humanas que cambian su calidad natural, y las aguas que luego de ser usada y transformada su calidad físico- química, son reintegradas a los cuerpos de aguas naturales. El receptor de todas las aguas que discurren por el territorio de la cuenca es el océano.

De igual forma, los acuíferos que son otras fuente de abastecimiento de agua pueden ser contaminadas por las actividades del ser humano (Mendoza 1989).

El deterioro de la calidad causado por la contaminación influye sobre el uso de las aguas curso abajo, amenaza la salud humana y el funcionamiento de los sistemas acuáticos, induciendo así la efectiva disponibilidad e incrementando la competencia por agua de calidad (GWP 1996).

2.8.5 Cobertura vegetal

Goldman, citado por Rosal (1982), pone de manifiesto que la falta de cobertura vegetal aumenta la escorrentía superficial, agrava el efecto de la lluvia sobre el suelo, haciendo que se aumente la escorrentía superficial, que se rompan los agregados del suelo y que con mayor facilidad las aguas las transporten.

Esto evidencia que el estado del suelo y de la vegetación eleva la tasa de sedimentos arrastrados. La alta cantidad de sedimentos que transportan estas corrientes por la erosión de las zonas agua arriba significa una calidad inferior del recurso agua, limitando su uso en procesos industriales, hidroenergéticos, de irrigación en zonas agua abajo y un mayor costo en su purificación para el consumo humano (Contreras 1982).

2.8.6 Actividades forestales

Otros factores que afectan la cantidad y calidad del agua son las prácticas de manejo forestal que se realizan en terrenos. Esto se da cuando el manejo forestal cambia la producción del área afectando los niveles de las corrientes externas e internas provocando sedimentación de los canales de riego, incremento de avenidas, riesgos y daños por inundaciones (Serrano, 1990).

Una atención singular merece la cobertura forestal y principalmente la boscosa, la cual es fundamental para garantizar la calidad de agua y niveles aceptables de escorrentía y conservación de suelos.

Cuando el bosque está intacto el agua se mantiene limpia, pero cuando existe la necesidad de talar los árboles con el objetivo de sembrar, la necesidad de leña, la quema en los terrenos, erosión por la necesidad de infraestructura, manejo de la ganadería al aire libre, se tiene un agua con exceso de sedimentos.

La cuenca poco a poco se va degradando a tal nivel que hay cauces donde ya no corre el agua.

2.9. Procesos que afectan la calidad de agua en una microcuenca

Existen procesos y actividades que se dan en las microcuencas derivadas de sus usos actuales, que causan efectos en la calidad del agua dentro de los más importantes están:

Existe una sobreutilización de productos agroquímicos en áreas pequeñas, lo que está contribuyendo al deterioro de los suelos y por consiguiente, a la contaminación de las fuentes superficiales.

No existe un manejo ni conocimiento en la disposición de los desechos sólidos provenientes, tanto de las actividades agrícolas como de las domésticas, que tienen como destino final el cauce del río.

La compactación de los suelos comprende procesos que afectan principalmente sus características físicas y constituyen una de las causantes de los procesos de erosión hídrica. También modifican la capacidad de infiltración y alteran el escurrimiento superficial. Cuando el escurrimiento es rápido por no existir cobertura vegetal ni

trabajo de conservación de suelos no hay infiltración adecuada y como consecuencia el caudal de los nacimientos baja considerablemente en perjuicio de los habitantes que abastece.

En las cuencas hidrográficas existen relaciones recíprocas entre el agua, vegetación y el suelo, las cuales al ser alteradas o modificadas por la acción del hombre provocan cambios en su sistema hidrológico que pueden ser apreciados a través de su régimen de caudales y su respuesta hidrológica.

El uso de la tierra es uno de los factores que más influyen en la escorrentía de un área; si una cuenca posee una cobertura vegetal adecuada sobre el suelo, la lluvia no impactará directamente en el mismo, entonces no sólo habrá una alta interceptación sino que la escorrentía llegará a los canales de drenaje en forma lenta y sin mayor arrastre de sedimentos.

La contaminación del agua debido a la actividad del beneficiado de café se caracteriza por un elevado consumo de agua y la consecuente generación de grandes cantidades de agua residual, debido al proceso de beneficiado húmedo del café por el arrastre de las aguas mieles, agua de despulpado, aguas del proceso de lavado (Córdoba 2002).

Las actividades económicas que se realizan generalmente en las cuencas principalmente el cultivo de café y la ganadería, tienen un alto impacto en las partes altas de las cuencas. La consecuencia de estas actividades son principalmente el vertido de las aguas mieles sobre los ríos, panorama muy común en el área rural, donde existe la costumbre y en muchos casos la necesidad, por parte de la población, de utilizar los ríos como fuente de agua para consumo humano.

Las malas prácticas desarrolladas a través del tiempo han provocado un desequilibrio ambiental; los suelos presentan alto nivel de degradación, pobres con fuertes

pendientes donde se cultivan granos básicos y hortalizas, provocando el arrastre de agroquímicos residuales por la escorrentía superficial proveniente del cultivo de café que se encuentra en las partes altas de las microcuencas.

A esto se le suma una fuerte deforestación en las zonas de laderas para el establecimiento de sistemas de ganadería, café y granos básicos; también en las riberas de los ríos la vegetación es aún más escasa, lo que facilita el arrastre de los residuos utilizados en las prácticas agrícolas.

Entre los problemas más graves que se visualizan están el arrastre por arroyos y quebradas de desechos provenientes de productos químicos que los productores dejan en las parcelas, basura y detergentes, asociados principalmente por el lavado de ropa en los ríos; a esto se le suma la contaminación por plaguicidas producto del lavado de bombas, mochilas y el vertido de aguas mieles y pulpa de café. Sumado a los problemas anteriores, existe un fuerte limitante para el desarrollo y manejo de las microcuencas, debido a la falta de información real de la calidad del agua.

2.10. Criterios de calidad de agua

2.10.1 Principales indicadores físicos, químicos y biológicos de calidad de agua

Los indicadores deberían ser explicados bajo el concepto de sostenibilidad dentro de un proceso lógico, fusionando los aspectos ecológicos, económicos y sociales. Estos se definen ante una situación única y dentro de un escenario específico (Villegas 1995).

Los parámetros de calidad de agua se diferencian según sus orígenes biológicos, químicos y físicos; por causas principalmente de carácter antropocéntricos como el

caso del uso de la tierra. Entre ellos se mencionan el pH, turbidez, oxígeno disuelto, nitrato, fosfato, temperatura, demanda bioquímica de oxígeno, sólidos totales, coliformes fecales.

Los indicadores seleccionados para la calidad del agua en cualquier estudio se definirán en dependencia de los usos actuales y potenciales de la cuenca. Entre las categorías de usos recomendadas para los diversos usos del agua están: provisión de agua para consumo doméstico e industrial, recreación, protección de organismos acuáticos fauna y flora, usos agrícolas y pecuarios, uso comercial hidroelectricidad, navegación, entre otros.

2.10.2 Indicadores microbiológicos del agua

Este tipo de contaminación se relaciona con la presencia de microorganismos patógenos de heces humanas y animales. Es común encontrárselo en los recursos hídricos superficiales, debido a su exposición.

Es importante conocer el tipo, número y desarrollo de las bacterias en el agua para prevenir o impedir enfermedades de origen hídrico. Es difícil detectar en una muestra organismos patógenos como bacterias protozoarios y virus debido a sus bajas concentraciones.

Por esta razón, es que se utiliza el grupo de coliformes fecales, como indicador de la presencia de microorganismos (OPS 1999).

Coliformes fecales: la bacteria coliforme fecal presente en las heces humanas y animales de sangre tibia. Puede entrar en los cuerpos de agua por medio de desechos directos de mamíferos y aves, así como corrientes de agua, acarreado desechos y del agua de drenaje.

Los organismos patógenos incluyen la bacteria Coliforme fecal, así como bacterias, virus y parásitos que causan enfermedades (Mitchell et al. 1991).

2.10.3. Indicadores físicos y químicos del agua

Los parámetros químicos son más relacionados con los agroquímicos, metales pesados y desechos tóxicos. Este tipo de contaminación es más usual en las aguas subterráneas en comparación con las aguas superficiales.

Relacionado por la dinámica del flujo de agua, los contaminantes son más persistentes y menos móviles en el agua subterránea, como es el caso de la contaminación con nitratos por su movilidad y estabilidad, por la presencia de asentamientos urbanos o actividades agrícolas aledañas (Canter 2000).

2.10.4. Oxígeno disuelto

El oxígeno disuelto es uno de los parámetros más relevantes a la hora de evaluar la calidad del agua. Está asociado a la contaminación orgánica. Su concentración aumenta al disminuir la temperatura y la salinidad y posee una relación directa con la pendiente y la aireación del cauce.

Cuando existen condiciones aeróbicas se produce una mineralización que consume oxígeno y produce gas carbónico, nitratos y fosfatos. Una vez que se consume todo el oxígeno comienza la descomposición anaeróbica que produce metano, amonio, sulfuro de hidrógeno y mercaptanos.

2.10.5. Demanda Bioquímica de Oxígeno

Es un parámetro que representa la materia orgánica biodegradable. Es la más usada para determinar la eficiencia de los tratamientos que se aplican a los líquidos residuales. Se da cuando ciertas sustancias presentes en las aguas residuales, al verterse a un curso de agua, captan el oxígeno existente debido a la presencia de sustancias químicas reductoras.

Esta es una medida de la estimación de las materias oxidables presentes en el agua, cualquiera que sea su origen orgánico o mineral como el hierro, nitritos, amoníaco, sulfuro y cloruros.

2.10.6. pH o concentraciones de iones hidrógeno

Es la concentración relativa de los iones hidrógeno en el agua, es la que indica si ésta actuará como un ácido débil, o si se comportará como una solución alcalina. Es una medición valiosa para interpretar los rangos de solubilidad de los componentes químicos.

Esta mide la acidez o la alcalinidad del agua. La actividad del ión hidrógeno puede afectar directa o indirectamente la actividad de otros constituyentes presentes en el agua, la medida del pH constituye un parámetro de importancia para la descripción de los sistemas biológicos y químicos de las aguas naturales.

2.10.7. Turbidez

Es un estimador simple de los sólidos en suspensión. Se aplica a las aguas que contienen materia en suspensión en tal medida que interfiere con el paso de la luz a través del agua. A mayor penetración de la luz solar en la columna de agua, es menor la cantidad de sólidos o partículas en suspensión en la columna de agua y viceversa.

Esto relacionado con el uso del suelo, tipo de suelos, cobertura del suelo, y periodos de muestreos, entre otros.

2.10.8. Sólidos totales disueltos

Es una medida de las sales disueltas en una muestra de agua después de la remoción de sólidos suspendidos; también se define como la cantidad de residuos remanentes después que la evaporación del agua ocurre. Es común observarlos en terrenos agrícolas que han sufrido procesos fuertes de escorrentía.

2.10.9. Conductividad

La conductividad eléctrica en las aguas naturales se puede correlacionar con la cantidad de sólidos disueltos ya que estos son en su mayoría compuestos iónicos de calcio y magnesio. La presencia de altas concentraciones de estas sales afecta la vida acuática y en el caso del riego afecta a la vida de la planta y a la calidad de los suelos.

2.11. Agua y salud

Disponer de agua limpia para todos los seres vivos de la tierra haría que muchas de las enfermedades ahora existentes se redujeran considerablemente debido a que la biología gira fundamentalmente en torno al problema del agua, pues no hay vegetal ni animal que pueda prescindir de este elemento.

Está probado, que tales enfermedades adquieren mayor importancia sanitaria en los países que suelen considerarse como subdesarrollados, precisamente por la insuficiencia de los abastos públicos de agua. Se considera que la contaminación de los abastos de agua con residuos humanos es la causa de propagación de enfermedades entéricas. La experiencia vivida en algunos países, permite poner de

manifiesto la eficiencia de instalaciones higiénicas de abastos de agua para evitar las enfermedades de origen hídrico.

Tifoidea, paratifoidea, disentería (bacilar y amébrica) y otras enfermedades infecciosas constituyen la causa principal de muchas muertes, particularmente en infantes. En muchos países la diarrea representa la primera o segunda causa de muerte en niños. Lo peor de todo es que sucede con el conocimiento de la ciencia y que podía haberse evitado al contar con agua desinfectada.

En el caso del cólera, enfermedad que apareció en los años sesenta en Indonesia, Pakistán y La India, y que fue causa de grandes epidemias, la clave de su control se basa en el mejoramiento de las condiciones ambientales y suministro de agua pura

La malaria, cuyo vector es el mosquito, es otra de las más conocidas enfermedades relacionadas al suministro de agua potable. Es tan conocida que la Asamblea Mundial de la Salud en 1995 declaró su erradicación en el mundo. Sin embargo a pesar de grandes esfuerzos, esta enfermedad sigue causando estragos en muchas partes del mundo.

Bilariasis o sistosomiasis es reconocida como amenaza en países subtropicales y tropicales; estimaciones de la Organización Mundial de la Salud sugieren que el número de personas que sufren esta enfermedad podría llegar a 150 millones, una de cada veinte personas en el mundo. Muchas de sus víctimas son imposibilitadas, quedando inválidas y en algunos casos causando la muerte prematura. Otras enfermedades como Trocoma, Typhus, Hepatitis infecciosa y Jaws están también asociadas al uso del agua.

El control de muchas enfermedades originadas de la contaminación de aguas es todavía un dilema. La mineralización del agua y la contaminación afectan su

composición química. Existen químicos que pueden estar presentes en el agua y que son definitivamente tóxicos, tales como Arsénico, Bario, Cadmio, Cromo, Cianuro, Flúor, Plomo, Selenio, Plata y Nitratos. Otras sustancias presentes en el agua pueden deteriorar grandemente su calidad, como los detergentes, químicos orgánicos, cloruros, Cobre, Hierro, Manganeseo Fenoles, Sulfatos y Zinc.

El agua conteniendo excesivas cantidades de estas sustancias puede hacer cambiar sus propiedades como sabor, capacidad para hacer espuma y capacidad para decolorar utensilios.

La importancia de agua pura para la vida y la salud de las personas, así como la economía de los países, no es totalmente reconocida por los gobiernos y personas encargadas de tomar decisiones. Por supuesto agua pura no evitará que la gente se continúe enfermando; esto debe ser acompañado de hábitos de higiene, saneamientos, control de vectores, y dietas balanceadas. Se tiene que reconocer que el desarrollo del agua requiere una amplia variedad de aportes políticos y tecnológicos para cumplir con los requerimientos de calidad establecidos.

2.12. Tecnologías apropiadas para desinfección del agua

Son tecnologías sencillas, de bajo costo y de fácil implementación que permiten alcanzar niveles aceptables de descontaminación en regiones rurales, de escasos recursos hídricos y económicos que resulten aceptables y sean socios económicamente viables.

El más importante requerimiento individual del agua bebida es que debe estar libre de cualquier microorganismo que pueda transmitir enfermedades al consumidor. Procesos tales como almacenamiento, sedimentación coagulación, floculación y filtración

rápida, reducen en grado variable el contenido bacteriológico del agua. Sin embargo, estos procesos no pueden asegurar que el agua que producen sea bacteriológicamente segura. Frecuentemente se necesitará una desinfección final, la cual se encarga de la destrucción o al menos la desactivación completa de los microorganismos dañinos. Se realiza usando medios físicos o químicos.

2.12.1 Desinfección física

Hervido es una práctica segura y tradicional que destruye virus, bacterias, quistes y huevos. Es un método efectivo como tratamiento casero, pero no es factible para abastecimientos públicos; se puede usar el hervido como medida temporal en situaciones de emergencia.

Desinfección por ebullición. Una recomendación típica para desinfectar el agua mediante desinfección es la de hacer que el agua hierba vigorosamente por 10 a 12 minutos.

En realidad, un minuto a 100 °C, destruirá la mayoría de los patógenos, incluidos los del cólera y muchos mueren a 70 °C. Las desventajas principales de hervir el agua son las de utilizar combustible y es una labor que consume mucho tiempo.

Radiación solar Es un método efectivo para aguas claras, pero su efectividad es reducida cuando el agua es turbia o contiene constituyentes tales como el nitrato, sulfato, hierro en su forma ferrosa. Este método no produce ningún residuo el agua contra una nueva contaminación ha sido usados en países en desarrollo, pero muy poco aplicado en países en desarrollo (Rojas et al. 2002).

La desinfección solar utiliza la radiación solar para inactivar y destruir a los patógenos que se hallan presentes en el agua. El tratamiento consiste en llenar recipientes transparentes de agua y exponerlos a plena luz solar por unas cinco horas (dos días

consecutivos bajo un cielo que está 100% soleado). La desinfección ocurre por una combinación de radiación y tratamiento térmico (la temperatura del agua no necesita subir muy por encima de 50 °C). La desinfección solar requiere agua relativamente clara (turbidez inferior a 30 NTU) (CEPIS, 2002).

La aireación puede lograrse agitando vigorosamente un recipiente lleno de agua hasta la mitad o permitiendo al agua gotear a través de una o más bandejas perforadas que contienen pequeñas piedras. La aireación aumenta el contenido de aire del agua, elimina las sustancias volátiles tales como el sulfuro de hidrógeno, que afectan al olor y el sabor, y oxida el hierro y el manganeso a fin de que formen precipitados que puedan eliminarse mediante sedimentación o filtración.

Coagulación y floculación. Si el agua contiene sólidos en suspensión, la coagulación y la floculación pueden utilizarse para eliminar gran parte del material. En la coagulación, se agrega una sustancia al agua para cambiar el comportamiento de las partículas en suspensión. Hace que las partículas, que anteriormente tendían a repelerse unas de otras, sean atraídas las unas a las otras o hacia el material agregado. La coagulación ocurre durante una mezcla rápida o el proceso de agitación que inmediatamente sigue a la adición del coagulante.

El proceso de floculación que sigue a la coagulación, consiste de ordinario en una agitación suave y lenta. Durante la floculación, las partículas entran más en contacto recíproco, se unen unas a otras para formar partículas mayores que pueden separarse por sedimentación o filtración. El alumbre (sulfato de aluminio) es un coagulante que se utiliza tanto al nivel de familia como en las plantas de tratamiento del agua. Los coagulantes naturales incluyen semillas en polvo del árbol Moringa olifeira y tipos de arcilla tales como la bentonita.

Desalinización. Las sales químicas excesivas en el agua le dan mal sabor. La desalinización mediante destilación produce agua sin sales químicas y pueden utilizarse varios métodos al nivel de familia; por ejemplo, para tratar el agua de mar. La desalinización también es eficaz para eliminar otros productos químicos tales como el fluoruro, el arsénico y el hierro.

La filtración incluye el tamizado mecánico, la absorción y la adsorción y, en particular, en filtros de arena lentos, los procesos bioquímicos. Según el tamaño, el tipo y la profundidad del filtro, y la tasa de flujo y las características físicas del agua sin tratar, los filtros pueden extraer los sólidos en suspensión, los patógenos y ciertos productos químicos, sabores y olores. El tamizado y la sedimentación son métodos de tratamiento que preceden

Útilmente a la filtración para reducir la cantidad de sólidos en suspensión que entran en la fase de filtración. Esto aumenta el período en el cual el filtro puede operar antes de que necesite limpieza y sustitución. La coagulación y la floculación también son tratamientos útiles antes de la sedimentación y mejoran aún más la eliminación de sólidos antes de la Almacenamiento y sedimentación.

Al almacenar el agua en condiciones no contaminantes por un día se puede conseguir la eliminación de más del 50% de la mayoría de las bacterias. Los períodos más largos de almacenamiento conducirán a reducciones aún mayores. Durante el almacenamiento, los sólidos en suspensión y algunos de los patógenos se depositarán en el fondo del recipiente. El agua sacada de la parte superior del recipiente será relativamente clara (a menos que los sólidos sean muy pequeños, tales como partículas de arcilla) y tendrá menos patógenos.

El sistema de tratamiento de tres ollas en las que se echa agua sin tratar a la primera olla, donde se decanta en la segunda olla después de 24 horas y se echa en la tercera olla después de 24 horas adicionales, aprovecha los beneficios del almacenamiento y la sedimentación.

Tamizado. Echar el agua a través de un paño de algodón limpio eliminará una cierta cantidad de sólidos en suspensión o turbidez. Se han construido telas de filtro de monofilamento especial para uso en las zonas en las que prevalece la enfermedad del nematodo de Guinea. Las telas filtran los copépodos que son los huéspedes intermedios de las larvas del nemátodo de Guinea.

2.12.2. Desinfección química

La cloración es el método más ampliamente utilizado para desinfectar el agua. Se empezó a utilizar a inicios del siglo XX; y fue quizás el evento tecnológico más importante en la historia del tratamiento del agua. La fuente de cloro puede ser el hipoclorito de sodio (tal como blanqueador casero o electrolíticamente generado a partir de una solución de sal y agua), la cal clorada o el hipoclorito hiperconcentrado (comprimidos de cloro).

El yodo es otro desinfectante químico excelente que se utiliza a veces. El yodo no debería utilizarse por períodos prolongados (más de unas cuantas semanas). Tanto el cloro como el yodo deben agregarse en cantidades suficientes para destruir todos los patógenos, pero no tanto que el sabor se vea adversamente afectado.

Puede ser difícil decidir cuál es la cantidad apropiada debido a que las sustancias en el agua reaccionarán con el desinfectante y la potencia del desinfectante puede reducirse con el tiempo según la forma en que se almacene.

2.13. Participación comunitaria

Podría definirse el concepto de participación como toda acción colectiva de individuos orientada a la satisfacción de determinados objetivos. La consecución de tales objetivos supone la existencia de una identidad colectiva anclada en la presencia de valores, intereses y motivaciones compartidas que dan sustento a la existencia de un «nosotros».

Es un proceso mediante el cual se gana más o menos grados de participación, desde una pasividad casi completa al control de su propio proceso. Esto es válido tanto en las relaciones entre los miembros de la comunidad y la institución de desarrollo, como dentro de las organizaciones comunitarias (Geilfus 1998).

La participación es una forma más integradora de promover el desarrollo. En esta estrategia, la definición de la problemática, las soluciones potenciales, las actividades a ejecutar, la generación de conocimientos y la ejecución de proyectos, deben ser realizadas en conjunto con las personas (hombres y mujeres), que son los sujetos del desarrollo.

Para realizar este proceso, existen una serie de métodos participativos como: el Diagnóstico Rural Participativo con Enfoque de Género (DRPEG), Diagnóstico Rural Rápido (DRR), Investigación-Acción Participativa, “Farming Systems Research”.

El denominador común de todos estos métodos es la participación completa de las personas en el proceso de aprendizaje sobre sus necesidades y en la toma de decisiones sobre la acción necesaria para enfrentarlas (Fassaert 2000)

La investigación participativa ofrece una serie de alternativas para la integración de este complejo grupo de factores en el diseño y en la implementación del manejo de

los recursos naturales. Debido a que este tipo de investigación se enfoca en los usuarios y grupos sociales, la participación en el desarrollo se vuelve crucial.

Los enfoques de investigación participativa que utilizan el análisis de género y de los participantes proporcionan a los profesionales una mejor oportunidad para identificar actores sociales claves y desarrollar con ellos mecanismos para lograr una retroalimentación oportuna sobre innovaciones tecnológicas y/o institucionales (Magrath et al. 1997).

El diagnóstico no es un fin, sino que debe contribuir a un proyecto, que la comunidad considere como propio. Realizar un diagnóstico participativo provoca muchas expectativas, si éstas no se cumplen, o si no se continúa en el camino de la participación iniciado con el diagnóstico, puede llevar a sentimientos de gran frustración en la población y puede hasta ser contraproducente para el proyecto. También puede crear resentimientos contra el uso de métodos participativos (Fassaert 2000).

Los métodos participativos deben estar previstos para ser utilizados en forma grupal, para que se adapten mejor a un enfoque interdisciplinario, que integre los diferentes puntos de vista de técnicos, investigadores, extensionistas, planificadores y miembros de la comunidad.

Estos se desarrollan directamente en las comunidades con los agricultores aprendiendo con y de la gente enfocando las prácticas y conocimientos locales. La información obtenida representa en forma cualitativa y/o cuantitativa las condiciones existentes en el campo (Geilfus, 1998).

CAPITULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

•3.1 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA ESTUDIO

La cuenca del río Suchez se encuentra al oeste de la Cordillera Oriental (Cordillera de Apolobamba y Cordillera Real). En su recorrido recoge las aguas de deshielo de los glaciares de esta cordillera ubicados a más de 5450 m.s.n.m. hasta los 3800 m.s.n.m. a la altura de su desembocadura en el Lago Titicaca.

• **Ubicación Geográfica**

Cuenca	Río Suchez
Longitud aproximada	120 km
Área aproximada	2825 km ²
Coordenadas	Longitud oeste 69°00'17"-69°33'35"
Coordenadas	Latitud sur 14°36'37"-15°39'34"

UBICACIÓN DE LA CUENCA DEL RÍO SUCHEZ

FUENTE: ANMI- Apolobamba. Figura tomada Pauquet (2005)



• MATERIALES Y EQUIPOS

Los materiales y equipos utilizados para la obtención de la información de campo y procesamiento de datos en el presente trabajo son los siguientes:

Materiales

- 01 Carta 1/100,000 como mínimo (recomendable 1/25,000).
- 04 Tableros de plástico A-4 con sujetador metálico
- 01 Unidad de Transporte: camioneta todo terreno.
- Rollos de Película de 36 mm.
- Útiles de escritorio: Papel bond 75 grs. (A-4, A-3 y A-2).

Equipos

Calidad de Aguas

- 01 Medidor Multiparametrico; pH, CE, TDS, T°.

Georeferenciales

- 01 GPS con la mayor precisión posible; marca ETREX.
- 01 Altímetro.

Audiovisuales

- 01 Cámara fotográfica (digital). Computo
- 01 Equipo de cómputo (c/u CPU, pantalla y teclado).
- Impresora de inyección a tinta y ploter.
- 01 Scanner A-4 Scanner.

Servicios

- Revelado Fotográfico.
- Fotocopiado y anillados.

Insumos

- Combustible
- Lubricantes

3,2 METODOLOGÍA

Para la caracterización de puntos de descarga se ha procedido a la ejecución de los siguientes pasos:

- Planificación de los trabajos en función a los objetivos trazados.
- Definición de los sectores de trabajo.
- Desplazamiento hacia las zonas definidas.
- Recorrido sobre el curso del río. De la Cuenca
- Obtención de información de campo (caracterización de puntos de descargas).
- Procesamiento de información.
- Interpretación de resultados.

Planificación de los trabajos

Para el desarrollo de la planificación de estrategias, planes, cronogramas, metodología y criterios de optimización de los recursos se consideró los siguientes aspectos:

- El ámbito o amplitud del terreno a cubrir (cartas 1/25,000 de ser posible).
- El tiempo establecido para lograr los trabajos programados.
- La fecha tentativa de inicio de los trabajos de campo.

- Factores externos (clima, reuniones de las organizaciones locales, etc.)
- Equipos de campo: GPS.
- Movilidad: camioneta y/o motocicleta.

La información en primera instancia se obtuvo de la biblioteca del Instituto Nacional de Recursos Naturales (INRENA), Administración Técnica del Distrito

3.2.1. Temperaturas medias anuales

La temperatura en la cuenca del río Suchez se caracteriza por ser baja, los meses más fríos son junio, julio y agosto, el periodo libre de heladas abarca dos meses (enero y febrero). Existe una marcada variación en los promedios de temperatura anual en relación la altitud respecto al mar.

En la zona de Ulla Ulla (provincia Franz Tamayo) la temperatura media anual es de aproximadamente de 5°C, siendo la mínima -5 °C y la máxima 12°C (Muñoz 2009). En la cuenca baja cerca de la desembocadura al lago Titicaca (provincia Camacho) la temperatura media anual es de aproximadamente de 7.4 °C, siendo la mínima de -2 °C y máxima de 15.7 °C (Eizaguirre *et al.* 2004).

3.2.2. Precipitación pluvial

El régimen de precipitaciones en la cuenca es de tipo monomodal, con mayores precipitaciones entre los meses de diciembre a marzo (Muñoz 2009). En general las precipitaciones en la cuenca alta se presentan en forma de nieve y granizo con una máxima de más de 100 mm (enero) y una mínima de 5 mm (julio) (Muñoz 2009) en la cuenca baja las precipitaciones son mayores (media anual de 629 mm) (Eizaguirre *et al.* 2004).

Las bajas temperaturas y los cambios en el ciclo hidrológico (p.e. heladas, granizadas, sequías e inundaciones) determinan que la cuenca no sea apta para el desarrollo de agricultura (Eizaguirre *et al.* 2004).

Otro factor climático importante de la zona es la evapotranspiración, cuyos valores son más elevados que los valores de precipitación por lo que la cuenca se clasifica como evaporítica (Muñoz 2009).

3.2.3. Humedad relativa

La humedad relativa media anual en el contorno de la cuenca Suchez varía de 50 a 65%, para temperaturas de 8 a 100 °C. Los valores más bajos son de 50 a 45% en el sur de la cuenca; de manera general, aumentan con la altitud, con un valor máximo de 83% en cuenca Suchez (5 200 msnm). La variación anual sigue con las precipitaciones, con un máximo en enero o febrero, y un mínimo en julio.

Los vientos dominantes, de fuerza moderada, generalmente perturbados por brisas locales, son de sectores Nor-Este durante la época de lluvias y de sector Oeste a Sur-Oeste el resto del año.

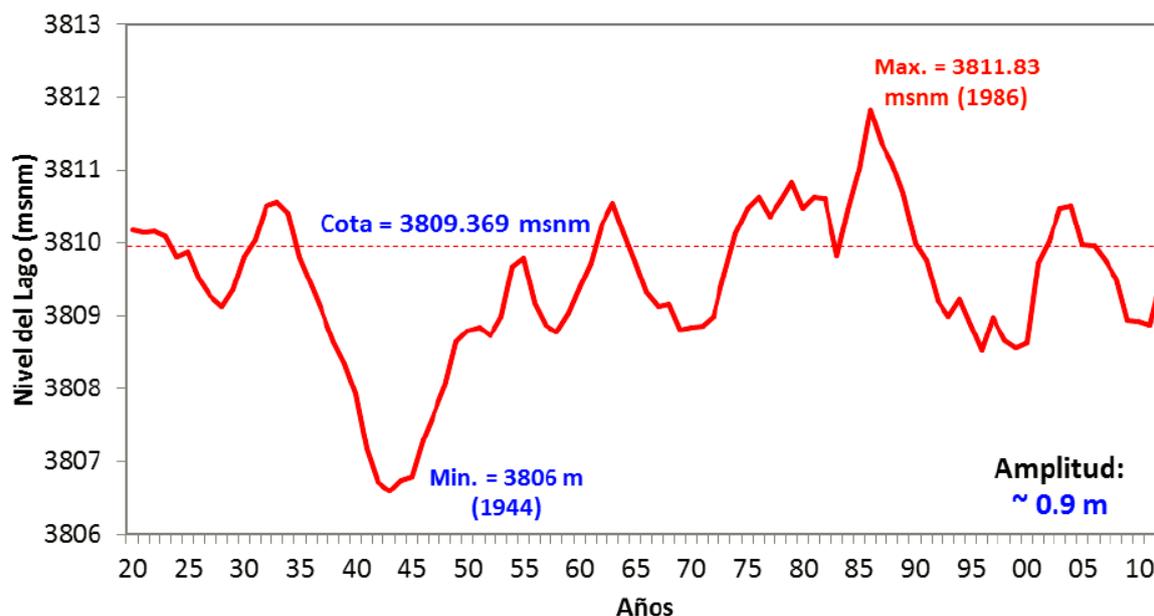
3.2.4. Tiempo de insolación

La insolación a proximidad de la cuenca es de 2915 h/año y 3 000 h/año en Puno. Se observan valores mínimos de respectivamente 167 y 180 h en enero y febrero, durante el máximo de las precipitaciones, mientras que valores máximos de 298 y 296 h se notan a mediados del invierno. La radiación solar global medida en el Altiplano tiene un valor medio de 8,8 mm/día.

3.2.5. Niveles del Lago Titicaca

En la información registrada sobre los niveles del lago Titicaca, en el periodo de 1915 – 2009; para este mismo período, la amplitud interanual de variación del nivel fue de 6,37 m, con un mínimo de -3,72 m en diciembre de 1943 y un máximo de 2,65 m en abril de 1986, con relación al cero de la escala limnimétrica. Las amplitudes de ciclo anual variaron entre 1,80 m (1986) y 0,04 m (1983).

Las diferencias de nivel en el curso de un mes son, en general, máximas en febrero, con un valor medio de 0,26 m. Corresponden entonces al fuerte ascenso de las aguas provocado por el máximo de los aportes globales de las lluvias y de los tributarios. Las diferencias mensuales mínimas de nivel tienen lugar generalmente en diciembre y abril, correspondiendo a los escalonamientos de los niveles mínimo y máximo anuales. El ascenso es más acentuado que el descenso debido al aporte concentrado esencialmente sobre 5 meses mientras que las pérdidas por evaporación están más regularmente repartidas a lo largo del año.



Fuente: Instituto del Mar del Perú – Laboratorio Continental Puno, 2012

FIGURA 01

VARIACIÓN DEL NIVEL DEL LAGO TITICACA 1920 al 1986

3.2.6. Geología y geomorfología

La evolución geológica descrita explica la gran variedad de formaciones litoestratigráficas identificadas al interior de la cuenca del lago Titicaca

a. El Paleozoico

El Paleozoico inferior aflora principalmente al norte de la cuenca, en las vertientes de las cordilleras Palomani y de Apolobamba. También se le encuentra al norte del lago Titicaca, en la región de Lampa y Ayaviri, donde está constituido por una secuencia de lutitas arenosas intercaladas con cuarcitas masivas y areniscas finas micáceas y con lutitas amarillentas verdosas depositadas en el Ordovícico Superior y en el Silúrico-Devónico. Al suroeste de Juliaca, en el Perú, la secuencia Silúrica-Devónica

alcanza hasta 2 500 m de espesor. El Paleozoico Superior se encuentra al norte y al noroeste del lago y a lo largo del flanco suroccidental de la cordillera Oriental entre Nuñoa, Crucero, Ananea, Puerto Acosta y Escoma. También en Juliaca, Lampa, Península de Copacabana, Isla del Sol, estrecho de Tiquina, Islas Taquiri y Paco, en Cumaná, Yaurichambi y Colquencha.

b. Mesozoico

El Mesozoico inferior y medio están prácticamente ausentes en la cuenca del lago Titicaca. No así el Cretáceo, que se encuentra bien desarrollado en el altiplano y en la Cordillera Oriental. Los afloramientos del Jurásico marino se limitan a los observados en Puno, conocidos como Grupo Lagunillas, los cuales ofrecen una secuencia de calizas fosilíferas, lutitas y margas bituminosas y, en la parte superior, un manto delgado de areniscas. En el resto de la cuenca los afloramientos jurásicos están ausentes, lo que muestra que la zona estuvo emergida durante más de 120 millones de años (Lanbacher, 1977, citado en el Plan Director), formando una plataforma estable que sólo fue interrumpida por movimientos epirogénicos que favorecieron el emplazamiento de los batolitos de la Cordillera Oriental y de la Cordillera Real de Bolivia. Las formaciones Sipin y Muni, aflorantes en la parte sur del altiplano, en territorio peruano, se atribuyen al Jurásico superior - Cretáceo inferior.

c. Terciario

El límite Cretáceo-Terciario es difícil de establecer en la cuenca. El Eoceno-Oligoceno está representado por las formaciones Tiwanacu, Coniri y Kollu-Kollu. En la Serranía de Tiwanacu esta formación tiene un espesor de 2 200 m. Estas formaciones se correlacionan con el Grupo Puno, formado por conglomerados, areniscas y lutitas

rojas, en general mal seleccionadas y con poco transporte. Al oeste de la cuenca, los niveles vulcano-sedimentarios del Grupo Puno están

recubiertos de una espesa serie volcánica calcoalcalina, compuesta por andesitas, basaltos, tobas e ignimbritas conocidas como Grupo Tacaza.

d. Cuaternario

Los depósitos pleistocénicos yacen en discordancia sobre el Plioceno ligeramente deformado y corresponden a depósitos glaciares, fluvio-glaciares y lacustres. En diferentes lugares de la ribera sur y oriental del lago Titicaca se encuentran terrazas que podrían corresponder al período lacustre del lago Minchín. Las terrazas más recientes se encuentran en Taraco (Bolivia) y al sur del lago Arapa, a una altura de 3815 m.s.n.m. y representan el nivel superior del lago Tauca.

3.2.7. Hidrología de la cuenca del Lago Titicaca

Los ríos de la vertiente del Titicaca nacen en la falda de las cordilleras Occidental, Vilcanota, Oriental y Real, entre los 4 000 y 6 000 msnm, alimentan sus cursos de agua, principalmente, con las precipitaciones estacionales que ocurren en la parte alta, dando origen a un régimen de escurrimiento irregular y de carácter torrencioso, concentrándose entre 3 a 5 meses al año, principalmente de diciembre a abril periodo durante el cual se estima que fluye del 60 al 80 % del escurrimiento total anual.

Durante el resto del año, presenta una sequía extrema. El deshielo de los nevados es también una fuente de agua de relativa importancia aún nivel de cuencas, destacándose la presencia de los nevados de Quelcayo, Quenamari, Ananea, Jatun Puerta, Jatucachi y Cucacerca.

El relieve general de las cuencas de los ríos de la vertiente del Titicaca es variable, pudiendo establecerse dos zonas diferenciadas: una alta, en la cual la hoya hidrográfica es escarpada, fondo profundo y quebrado y de pendiente relativamente fuerte; y otra baja y gradual, pero de cause ancho y profundo.

El discurrir de la mayoría de los ríos principales es muy sinuoso en su parte alta y radial en la parte baja, drenando éstos en diversas direcciones, pero confluyendo hacia el gran colector constituido por el lago Titicaca.

Según el Inventario Nacional de Aguas Superficiales, a la vertiente del Titicaca le corresponde 10 171,94 Hm³ (322,66 m³/s) que representa el 0,50% del total nacional. La disponibilidad hídrica por habitante año en la vertiente del Titicaca es de 10 174 m³/hab-año

CUADRO 01

DISPONIBILIDAD HÍDRICA DE LA VERTIENTE DEL TITICACA

Vertiente	Cuencas	Disponibilidad Hídrica m ³ /s
Titicaca	Suches	8,4
	Huancané	23,7
	Ramis	88,2
	Coata	39,3
	Illpa	7,5
	Ilave	40,1
	Maure	3,7
	Zapatilla	3,2
	Ccallaccame	7,8
TOTAL		221,8

Los ríos en la vertiente del Titicaca tienen un caudal equivalente a 221,8 m³/s, entre los que destacan son: el Ramis (88,2 m³/s) e Ilave (40,1 m³/s).

El área estudiada presenta (06) unidades geomorfológicas claramente definidas: Afloramientos rocosos, rocas intrusivas, depósitos morrenicos, depósitos glacio-fluvial, depósitos aluviales y depósitos fluviales; se ha inventariado 2 228 pozos, de los cuales 53 son tubulares y 2 187 a tajo abierto. Asimismo del total de pozos inventariados; 1 952 son utilizados (operativos), 258 utilizables y 18 no utilizables.

El número total de lagunas inventariadas en la vertiente del Titicaca es de 841 de las cuales 75 tiene un tamaño mayor a 4 km²; sobresalen las cuenca de Ramis con 410, Coata 146 e Ilave 120 lagunas.

La laguna Lagunillas es la principal fuente regulada en la vertiente del Titicaca es que sustenta el “Proyecto Integral Lagunillas”, que está concebido para regular los recursos hídricos de las cuencas Coata e Illpa, incorporando 30 132 ha bajo riego de 07 módulos: Huataquita, Cabana, Vilque, Mañazo, Cabanillas; Yanarico y Cantería.

El volumen total anual de agua utilizada en la vertiente de Titicaca es de 11 139 Hm³, de los cuales el 88% es de uso consuntivo y el 12% no consuntivo. Dentro de los usos consuntivos más importantes por el volumen es el agrícola (75%) siguiendo en orden de importancia el poblacional (13%), pecuario (10%), minero (1,0 %) e industrial (0,1%). El único uso no consuntivo es el energético. En la vertiente del Titicaca el uso consuntivo está dado por principalmente en las unidades hidrográficas del Maure (29%), llave (24%), Ramis (17%), Huancané (14,7%) y Coata (14%).

3.3. Características socioculturales

3.3.1. Población

En la cuenca del Lago Titicaca se estima 1 273 014 habitantes, que representa el 91,60% de la población regional Puno y 4,18% de la población nacional. La densidad de población en la cuenca es de 26,03 hab/km².

3.3.2. Nivel de vida

El departamento de Puno, presenta bajos niveles de vida en comparación a nivel nacional, lo cual se expresa en los principales indicadores sociales registrados durante los últimos años; caso de pobreza, pobreza extrema, índice de desarrollo humano, índice de desarrollo social, tasa de analfabetismo, tasa de desnutrición crónica infantil, tasa bruta de mortalidad, tasa de mortalidad infantil y servicios básicos; cifras que resultan inferiores a los registrados al promedio nacional; como consecuencia de las condiciones socioeconómicas de la población, en especial la rural y urbano marginal, quienes se encuentran en estado de subempleados, debido por la estacionalidad de la actividad agropecuaria y por otra parte, esta actividad no garantiza una vida digna a la población, por ser alto por las condiciones climáticas adversas que se presentan

en el periodo vegetativo de las plantas, constituyéndose en una actividad de subsistencia.

El departamento de Puno, presenta altos niveles de pobreza (56%) y extrema pobreza (23,9%), expresada en la carencia de las necesidades básicas insatisfechas de la población; esta situación aún no ha sido revertida, pese a las acciones y esfuerzos que vienen realizando las diversas instituciones públicas y privadas; caso de Programa Nacional de Apoyo Directo a los las Pobres JUNTOS, Programa Nacional de Asistencia Solidaría Pensión 65, programa y prioridades de Salud, Programa de Cooperación Perú – UNICEF, Fondo Nacional de Compensación para el Desarrollo Social – FONCODES, QALIWARMA, CUNA MAS, Programa Sierra Sur, Programas de Vaso de Leche y otros.

Así mismo, en cuanto se refiere a educación, el departamento de Puno, presenta una tasa de analfabetismo de 11,1%, cifra que resulta superior al promedio nacional (7,1%), debido que la población adulta mayores de 50 años, en especial las mujeres del medio rural, las mismas no tenían acceso a los servicios de educación por dedicarse a los quehaceres del hogar desde temprana edad.

El ámbito territorial del departamento de Puno, tiene enormes potencialidades en cuanto se refiere a recursos naturales, actividades productivas, infraestructura vial, que constituyen elementos dinamizadoras del desarrollo.

3.4. Características económicas

El producto bruto interno (PBI) del departamento de Puno, generado por la economía regional en el año 2010, fue de 4 046 682 miles de nuevos soles precios constantes de 1994, que representa el 1,93 del PBI nacional. La actividad económica de mayor

importancia por su aporte al PBI regional constituye Otros servicios con 17,98%, que comprende las actividades siguientes: financiero y seguros, alquiler de vivienda, servicios prestados a las empresas servicios mercantes y no mercantes prestados a las hogares, salud y educación privada; seguido de agricultura, caza y silvicultura, comercio, manufactura, transportes y comunicaciones y, servicios gubernamentales. En la cuenca del Lago Titicaca, se han emitido derechos de uso de agua: 764 permisos, 36 autorizaciones y 1 942 licencias de uso de agua.

3.4.1. Agropecuaria

La actividad agropecuaria se considera fundamental dentro de la económica regional por su significativa participación en el PBI regional, esta actividad se sustenta principalmente en un total de 60 cultivos y la explotación de tres especies de animales de mayor frecuencia: vacunos, ovinos y camélidos sudamericanos.

El valor bruto de la producción agropecuario del departamento de Puno, durante el año 2011, totalizó 1 mil 167,3 millones de nuevos soles de 1994, incrementándose en 2,5% con relación al año 2010.

a. Sub sector Agrícola

Constituye una de las actividades principales de la región, sobre todo para la población rural, que se dedica a esta actividad. Es necesario resaltar que entre los productos más importantes son quinua, cañihua, habas, oca, papa, grano de cebada, haba de grano verde, y pastos cultivados, etc., que tienen una muy buena perspectiva a nivel mundial por tratarse de productos agroecológicos.

La región Puno, a nivel nacional en cuanto a cultivos andinos, posee una especial importancia, si consideramos la magnitud de las áreas cosechadas; tal es así que el cultivo de la papa, ocupó el primer lugar a nivel nacional en el año 2007 con un total

de 49 119 ha (18%) de la superficie total cosechada; le siguen en orden de importancia, son los departamentos de Huánuco 33 128 ha (12%), Cusco 29 712 ha (11%), Cajamarca 28 946 ha (10,7%) y La Libertad con 23 373 ha (9%). En la actualidad Puno es líder en producción a nivel nacional de cañihua (98,41%), quinua (80,74%), oca (36,57%), cebada grano (16,73%), haba grano (16,45%) y finalmente papa con un (14,35%)⁷

b. Sub sector Pecuario

La economía en las áreas rurales es sustentada por en la actividad pecuaria, complementariamente con la actividad agrícola. La actividad pecuaria constituye una fuente de alimento para la familia (carne, leche y sus derivados), medio de liquidez e ingresos monetarios (venta de animales en pie, carne, fibra, derivados lácteos, etc.), como tracción animal para actividades agrícolas y fuente de fertilizante natural.

En las zonas rurales de la Región, la ganadería está basada principalmente en el ganado vacuno y ovino, así como también se tiene la presencia de los camélidos sudamericanos que desde tiempos inmemoriales son el sustento de la población puneña.

La ganadería alto andina actualmente se basa en las praderas naturales y en la presencia de abundantes bofedales y puquios que son los que brindan abundante forraje fresco para los periodos críticos en la crianza de estas especies, así como para los periodos de celo, crianza y parición.

3.4.2. Producción.

Las pequeñas y medianas empresas en la Región de Puno, se encuentran constituidas sobre la base familiar y representan el 99% de la industria manufacturera, generando mano de obra directa no calificada, consecuentemente sus productos son

de baja calidad y tradicional, a pesar de contar en su mayoría con tecnología media, la producción es poco diversificada y de bajo valor agregado, por lo que no tienen relación con el mercado nacional e internacional exigente.

En la región puno el 60% de las microempresas, están asentadas en la provincia de San Román, se estima que las empresas informales ascienden a 11 700, la que se debe básicamente a factores del mercado. Algunas líneas de producción manufacturera vienen demostrando crecimiento progresivo, tales como fabricación de prendas de vestir (polos, buzos, jeans y otros), productos metálicos para uso estructural, fabricación de muebles metal y madera, imprentas, fabricación de calzados, re-aserríos de madera, producción de industria alimentaria, productos de panadería, elaboración de bebidas alcohólicas y otros.

La artesanía es otra de las principales actividades, que mantiene carácter ancestral y que actualmente gozan de una buena perspectiva de desarrollo, sin embargo, es importante resaltar que la actividad artesanal está ligada con la actividad turística, puesto que los turistas en cada lugar que visitan comparten expresiones culturales con los pobladores de Puno.

Las prácticas ancestrales de manejo de totora desarrollados por el grupo originario Uro ubicado en el Lago Titicaca, fue declarado por el Ministerio de Cultura como Patrimonio Cultural de la Nación, en tato estos elementos del patrimonio cultural inmaterial demuestran la capacidad creativa de este grupo para su adaptación al habitat mediante soluciones originales, construyendo una expresión de la identidad cultural del referido grupo Uro.

3.4.3. Minería

La Región Puno cuenta con reservas de plata que constituyen el 5% de las reservas nacionales; en cobre posee el 0,5% y en estaño el 100%, ocupando el primer lugar a nivel nacional, Así mismo, es importante indicar las reservas de uranio que se tienen en la provincia de Carabaya, actualmente en etapa de exploración.

La exploración aurífera se ubica principalmente en la zona de Ananea, especialmente en la Rinconada y Lunar de Oro. La explotación minera no metálica es relevante en cuanto a producción de cemento y cal en Caracoto – San Román, además de la producción de yeso y piedra laja.

Las reservas mineras en la región Puno posee recursos polimetálicas y no metálicos, los más importantes productos metálicos son originarios de los yacimientos auríferos; la minería aurífera que desarrollan los pequeños productores y productores de minería artesanal en su mayor parte es realizada en yacimientos tipo veta y aluviales, con tecnología convencional y artesanal por mineros formales e informales en las provincias de Carabaya, Sandía y San Antonio de Putina.

En la región Puno se estima que dentro de las principales áreas mineras artesanales, que representa el 17% de oro a nivel nacional, en Puno existen aproximadamente 30 000 mineros calificados como pequeños productores y productores artesanales entre formales e informales con alrededor de 70 000 personas que se dedican a la minería de estos estratos en sus diferentes condiciones.

La informalidad de la minería es uno de los problemas ambientales que enfrenta la cuenca del Lago Titicaca, las cuales han sido identificadas en las cabeceras de las cuencas de los ríos Azángaro, Suches y Coata, principalmente.

La descarga descontrolada de grandes cantidades de relaves directamente a los ríos es practicada en operaciones mineras informales, cuya evacuación se realizan a los ríos de la cuenca del Lago Titicaca. Sin embargo, en algunas de las minas se han construido presas de relaves en un intento de mantener a éstos fuera de los arroyos y ríos; dichas presas han tenido un éxito relativo¹⁰.

a. Concesiones mineras en la Región Puno

En la región Puno por la contaminación de las principales cuencas se determinó mediante Decreto Supremo N° 033 – 2011 – EM, suspender toda admisión de petitorios mineros por un lapso de 36 meses en el ámbito del departamento; en tal entender, solo podrá solicitar petitorios mineros a partir del mes de Junio del año 2014. Haciendo unos seguimientos más detallados sobre la distribución de los derechos mineros por provincia y categorización por derechos titulados en trámite, extinguidos y otros se presenta en cuadro siguiente actualizado hasta setiembre del año 2012.

Haciendo una evaluación de la cobertura del territorio departamental nos encontramos que del total territorial de la región Puno, los derechos mineros en general cubren el 36,52% del territorio, esto también evidencia al gran potencial minero del departamento.

3.4.4. Hidrocarburos

En la cuenca del Lago Titicaca se localizan 03 Lotes con concesiones petrolíferas con contratos de exploración para fines petrolíferos, que alcanzan un área de 1 434 736,846 ha que representa el 29,33% de la cuenca del Lago Titicaca.

3.4.5.. Pesquería

La composición del grupo de peces registradas en el Lago Titicaca, está constituida por 15 especies agrupadas en 4 órdenes y 4 familias, de las cuales 13 especies son nativas, representadas por la familia Cyprinodontidae con 11 especies del género *Orestias* (73,3%), y por la familia Trichomycteridae con 2 especies del género *Trichomycterus* (13,3%); y 2 especies son introducidas, las cuales pertenecen a la familia Salmonidae con 1 especie del género *Oncorhynchus* (6,7%), y a la familia Atherinopsidae con 1 especie del género *Odontesthes* (6,7%)¹².

El pejerrey predomina en la zona Norte y en el Lago Pequeño; el Carachi amarillo sobresale en Bahía de Puno y Zona Norte (Moho); Ispi predomina en Zona Sur (Ilave) y Bahía de Puno (Yapura y Ilachón); Mauri en Zona Norte (Pusi) y Zona Sur (Villa Ccama). Y Trucha sobresale en zona sur (Juli) y Norte (Conima)

a. Truchicultura

La producción de truchas en Puno, se viene incrementando potencialmente en el año 2012 se registra en 17 112,34 toneladas de producción de trucha fresca, creciendo en un 13,25%, con relación al año anterior. Para lograr el desarrollo sostenido de esta especie íctica de interés económico,

La Dirección Regional de la Producción Puno, promueve el asociativismo en las unidades productivas, considerando este como una herramienta útil de desarrollo para reducir costos, articular esfuerzos, mejorar su proyección en el mercado; apertura de nuevos mercados, proponiendo sobre la línea de base experimental del año anterior, mejorar la calidad de truchas producidas en Puno con fines de alcanzar la anhelada exportación, para cumplir este último objetivo se ha venido coordinando con

SANIPES, institución que permitirá certificar el producto, lo que finalmente permitirá fortalecer la cadena productiva de la truchas.

Teniendo conocimiento las bondades y potencialidad de recursos hídricos, que tiene la región de Puno, considerando el cumplimiento de objetivos estratégicos del Plan Nacional de Desarrollo Pesquero, y Plan Estratégico Concertado del Sub Sector Pesca de la Dirección Regional de la Producción Puno 2011 – 2021, se estima una proyección de 54 399 TM de trucha fresca al 2021.

La Región de Puno, desde el año 2007, es el primer productor de trucha a nivel nacional, sin embargo, se tiene debilidades en la cadena productiva de trucha, cuenta a la fecha con catastro Regional, los derechos acuícolas en materia de truchicultura, a la fecha se registrada un total de 1082 derechos acuícolas, se tiene habilitada un total de 20 172,95 hectáreas.

3.4.6. Turismo

La región Puno, se constituye a nivel nacional en el cuarto destino después de Lima-Callao, Cusco y Arequipa, porque cuenta con potencial de recursos y atractivos turísticos, dentro de las cuales destaca el lago Titicaca y sus islas Los Uros, Taquile y Amantani, Complejo Arqueológico Sillustani, Complejo Arqueológico y Museo Lítico Pukara, Centro Arqueológico Cutimbo, templos coloniales de San Juan Letrán, Nuestra Señora de Asunción y San Pedro de Juli; Santiago Apóstol de Pomata, Catedral y San Juan de Puno; Santo Domingo y Asunción de Chucuito; San Pedro de Zepita; Santa Francisco de Asís de Ayaviri; San Santiago de Santiago de Pupuja; Santa Isabel de Pucará; San Gerónimo de Asillo; Nuestra Señora de Asunción de Azángaro; entre otros.

La fiesta más importante es la Virgen Candelaria de Puno, seguida de fiestas patronales y carnavales que se festejan en todo el ámbito departamental; por otra parte, existen una variedad de paisajes, caso cañones, caída o cataratas de aguas, nevados, Reserva Nacional del Titicaca, Parque Nacional Bahuaja Sonene y otras.

3.5. Diversidad biológica

El lago Titicaca, como uno de los más grandes lagos montañosos, contiene endemismos importantes en la fauna acuática. La región circunlacustre muestra un clima un poco más benigno que el resto de la cuenca del TDPS, lo que explica que sea la zona más densamente poblada del altiplano, y que miles de años de civilización hayan cambiado completamente el eco región.

La vegetación originaria de bosques de Polylepis, Buddleja, Duranta y otras especies que fueron mayormente destruidas para el desarrollo de áreas de cultivo, andenes, ganadería de ovinos y vacunos, explotación de minerales y más recientemente por el turismo intensivo¹⁴.

La Puna Norteña es un eco región distribuida en el sudeste del Perú y el noroeste de Bolivia. Especialmente en la región del lago Titicaca, brinda un buen potencial natural permitiendo una agricultura bastante productiva.

En toda la cuenca por las características topográficas, ambientales, climáticas, se han generado patrones bastante homogéneos de diversidad biológica, riqueza de especies y endemismos. Los grandes cambios ambientales ocurridos en el mundo, sobre todo en el régimen hídrico, son causas de impactos sobre los ecosistemas y las oportunidades de mejoramiento de la calidad de vida del hombre.

La Isla de los Uros es reconocida como pueblo indígena con todas sus tradiciones y costumbres culturales, en concordancia con el convenio N° 169° de la OIT15

La Región Puno, fue declarado libre de semillas y productos transgénicos (OMG y/o OVM) en las actividades agrícolas, pecuarias, forestales y piscícolas, a fin de proteger, preservar y conservar su diversidad biológica, su riqueza ecológica, así como el respeto a los valores culturales, sociales y económicas asociados a su situación de centro de origen, domesticación de cultivos y crianza regional.

3.5.1. Áreas Naturales Protegidas

En la cuenca del lago Titicaca se encuentra ubicada la Reserva Nacional del Titicaca RNT y la Reserva Paisajística Khapia.

a. Reserva Nacional del Titicaca (RNT)

La Reserva Nacional del Titicaca (RNT) es una de las 72 Áreas Naturales Protegidas (ANP) de administración nacional, adscrita al Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado – SERNANP, tiene una extensión de 36 180 ha dividida en dos sectores, Ramis con 7 030 ha y Puno con 29 150 ha, uno de los objetivos de creación de esta ANP es de conservar la excepcional flora y fauna y la belleza paisajística que guarda esta muestras representativas del lago Titicaca.

Para garantizar el cumplimiento de este objetivo, la administración de la RNT realiza actividades de control y vigilancia y un monitoreo constante de los recursos naturales, dando énfasis a las aves y a los totorales. En la RNT y su zona de amortiguamiento se han registrado alrededor de 109 especies de aves, tanto residentes como migratorias, muchas de estas consideradas cinegéticas, además de especies ocasionales; se tienen también especies protegidas por la legislación nacional y

organizaciones internacionales; así como una especie endémica, *Rollandia microptera* comúnmente llamada “zambullidor del Titicaca” o “k’ëñola” la misma que en los últimos cinco años ha tenido un incremento en su población.

Los totorales en la RNT representan aproximadamente el 60% del área total, esta es la formación vegetal más notable compuesta por la especie *Schoenoplectus tatora* “totora”, importante para la anidación, reproducción, refugio de aves, además de ser lugar de desove de peces y anfibios; la evaluación de la totora se da a través de datos de biomasa y densidad, las mismas que están en relación directa al nivel del lago.

Son muchas las amenazas que tienen estos recursos naturales, como la quema de totorales, caza, pesca artesanal, colmatación por extracción limitada, pastoreo extensivo, agricultura, etc., que vienen mermando el equilibrio eco sistémico que por años se ha mantenido y que pone en riesgo la vida silvestre en la Reserva Nacional del Titicaca.

b. Reserva Paisajística Khapia (RPK)

Mediante Decreto Supremo N° 008 – 2011 – MINAM (28.05.11) se ha establecido la Zona Reservada “Reserva Paisajística Cerro Khapia”, cuyo ámbito de influencia comprende los distritos de Yunguyo, Copani y Cuturapi de la provincia de Yunguyo, y los distritos de Zepita y Pomata de la provincia de Chucuito, del departamento de Puno.

El objetivo general de la reserva es conservar los valores de la diversidad biológica, cultural paisajística y de ecosistemas, en una relación armoniosa entre las actividades económicas de la población y los recursos naturales, fomentando el desarrollo sostenible de la zona que constituye una muestra de la biodiversidad en el altiplano peruano.

Teniendo como objetivos específicos: Promover la investigación priorizando las zonas con vacíos de información y las que posibiliten la recuperación de las zonas degradadas; - Promover el turismo responsable que fomente la conservación de la biodiversidad y se integre a la economía local; Promover bionegocios; Promover el uso de los instrumentos de aplicación para el desarrollo local y regional, relacionados a la gestión sostenible de sus ecosistemas y; Consolidar los mecanismos de participación de la población en el ámbito de la Zona Reservada.

El establecimiento de la Zona Reservada “Reserva Paisajística Cerro Khapia” no limitará la ejecución de obras de infraestructura vial o de servicios, así como el desarrollo de actividades o proyectos en su interior. Dicha actividades estarán sujetas a los objetivos de la Zona Reservada y a las normas de protección ambiental.

El establecimiento de la Zona Reservada reconoce los derechos de propiedad de las comunidades campesinas así como el aprovechamiento de los recursos naturales renovables de acuerdo a sus prácticas culturales, religiosas, espirituales y agropecuarias tradicionales o ancestrales, conforme a lo establecido en la Ley N° 24656 Ley de Comunidades Campesinas y el Convenio N° 169 “Sobre Pueblos Indígenas y Tribales en Países Independientes” de la Organización Internacional del Trabajo - OIT.

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Evaluación de la calidad del agua en los diferentes puntos de descarga y de qué manera afectan a la salud de los pobladores de la cuenca del río

Suchez.

En la cuenca del río Suchez dos son los factores principales que determinan el estado de contaminación mercurial en la zona: el proceso histórico de explotación de oro en la región y las actividades mineras actuales que emplean mercurio para la extracción de oro.

Los primeros registros de actividad minera en la zona datan de la época del incaico; sin embargo en el siglo XVI se intensifica la explotación en la zona, debido a la presencia de españoles.

Esta extracción histórica se ha realizado en diversas minas que en la actualidad se encuentran inactivas; es posible que en estas zonas el mercurio haya quedado capturado en los suelos y sedimentos.

En la actualidad se han identificado 147 shutes, de los cuales, 91 están en funcionamiento, 4 en construcción, 12 abandonados, 39 paralizados y 1 desatado. En el lado boliviano se encuentran 85 operaciones (Cancillería de Bolivia 2011).

El proceso de recuperación del oro aplicado en la región en varios casos emplea mercurio inorgánico (14% de todas las minas en el corredor Vilcabamba-Amboro; Conservación internacional 2003). El mercurio que se emplea en la minería del oro se encuentra en la forma metálica, este mercurio es mezclado con los sedimentos que

por proceso gravimétrico se separan de sedimentos más livianos con concentraciones despreciables de oro.

El mercurio y el oro forman una amalgama la cual es separada de resto de los sedimentos por proceso de filtración o por gravimetría en platos para lo que se emplea agua. Una vez separada la amalgama del agua y sedimentos, ésta es expuesta a calor, lo que determina la evaporación del mercurio metálico, estos vapores son altamente tóxicos para los seres vivos y presenta una alta solubilidad en agua.

El uso de retortas permite que el mercurio evaporado se recupere, reduciendo los riesgos de contaminación ambiental y de los operarios, en la cuenca del río Suches al menos 20 operaciones mineras (de un total de 91) se encuentran aplicando sistemas de retorta.

El vapor de mercurio es altamente móvil en la atmósfera, lo que le permite viajar grandes distancias, antes de que las condiciones meteorológicas promuevan su deposición. Esto implica que el mercurio evaporado en una zona determinada tenga impactos directos en la zona donde se realiza la quema e impactos indirectos en una amplia región.

En general todos los estudios realizados sobre mercurio en la cuenca de río Suchez muestran que la biota presenta valores que están por debajo de los límites permisibles; sin embargo, en sedimentos y suelos de la región, principalmente de las zonas de Rayo Rojo y Sunchulli los valores sobrepasan los límites permisibles, lo que puede ser entendido como contaminación mercurial de suelos,

Esta contaminación está presente en las zonas en las que se realiza quema de mercurio; sin embargo, en la zona de Sunchulli la contaminación de suelos se ha detectado de forma generalizada en suelos, siendo mayor en zonas de quema.

Los valores reportados para estas zonas son de alto riesgo para las poblaciones humanas, debido a que permite indagar que el mercurio está siendo liberado en grandes cantidades a la atmósfera en forma de vapores (volatilización), así como depositándose en suelos, agua y en vegetación circundante.

En los suelos el mercurio puede ser traslocado por erosión hacia cuerpos de agua o absorbido por las raíces de las plantas, lo que incrementa el riesgo de contaminación vegetal debido a la absorción de mercurio a través de los estomas de las hojas (procesos de evapotranspiración y respiración) así como por las raíces (mercurio asociado a moléculas orgánicas).

En los ecosistemas acuáticos el mercurio puede biodisponibilizarse mediante su transformación a metil-mercurio, debido a que los cuerpos de agua son los lugares propicios para su metilación. Esto promueve su ingreso en la cadena trófica, potenciando la capacidad de bioacumulación (incremento de las concentraciones de mercurio a lo largo del tiempo de exposición) y biomagnificación (incremento de las concentraciones de mercurio a lo largo de la cadena trófica).

Este proceso describe el proceso teórico de transferencia del mercurio entre compartimentos ecosistémicos (abióticos y bióticos)

Este proceso teórico se encuentra condicionado por factores externos característicos de cada ecosistema: Clima, geomorfología, calidad del agua, características fisicoquímicas de los suelos y sedimentos, diversidad biológica y relación humano-naturaleza. A continuación analizaremos cada uno de los compartimentos ecosistémicos en el contexto de la cuenca del río Suches.

CUADRO 02

ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO DEL AGUA DEL RIO SUCHEZ 2014

	pH	CE	Dureza Total	Alcalinidad	Cloruros	Sulfatos	Nitratos	Calcio	Magnesio	Solidos Totales
			CaCO ₃	CaCO ₃	Cl					
M1	5.57	0.8	95.00	13.12	17.02	39.02	0.01	7.60	18.38	112.02
M2	5.32	0.11	121.60	26.24	19.85	36.00	0.02	5.32	26.13	141.45
M3	5.60	0.13	136.80	32.80	22.69	44.00	0.02	3.80	30.72	159.49
M4	5.55	0.24	174.80	39.60	21.27	49.00	0.01	5.80	26.6	196.07

Fuente. Laboratorio de Aguas y Suelos FCA UNA-Puno (17/06/2014)

4.1.1. pH

Los resultados del pH del presente trabajo, en cuanto se refiere al contenido de pH se aproxima en un término medio, por lo que se debe prevenir antes de que se baje más es decir puede el agua volver a ser muy ácido, lo cual sería muy perjudicial para los ecosistemas de la cuenca del río Suchez.

Sin embargo, la calidad del agua y el pH son a menudo mencionados en la misma frase. El pH es un factor muy importante, porque determinados procesos químicos solamente pueden tener lugar a un determinado pH. Por ejemplo, las reacciones del cloro solo tienen lugar cuando el pH tiene un valor de entre 6,5 y 8.

Sabemos que, el pH es un indicador de la acidez de una sustancia. Está determinado por el número de iones libres de hidrógeno (H^+) en una sustancia.

La acidez es una de las propiedades más importantes del agua. El agua disuelve casi todos los iones. El pH sirve como un indicador que compara algunos de los iones más solubles en agua.

Como el resultado de una medición de pH viene determinado por una consideración entre el número de protones (iones H^+) y el número de iones hidroxilo (OH^-). Cuando el número de protones iguala al número de iones hidroxilo, el agua es neutra. Tendrá entonces un pH alrededor de 7.

El pH del agua puede variar entre 0 y 14. Cuando el pH de una sustancia es mayor de 7, es una sustancia básica. Cuando el pH de una sustancia está por debajo de 7, es una sustancia ácida. Cuanto más se aleje el pH por encima o por debajo de 7, más básica o ácida será la solución.

El pH es un factor logarítmico; cuando una solución se vuelve diez veces más ácida, el pH disminuirá en una unidad. Cuando una solución se vuelve cien veces más ácida, el pH disminuirá en dos unidades. El término común para referirse al pH es la alcalinidad.

CUADRO 03

VALORES DE Ph Y MERCURIO REPORTADOS PARA LA CUENCA DEL RIO SUCHEZ

Valores	Zona afectada por minería		Zona no afectada por minería	
	pH.....	Hg mg/Kg	pH.....	Hg mg/Kg
Media	5.08	0.401	5.66	0.437
Maximo	5.35	0.530	6.51	0.570
Minimo	4.60.....	0.320	5.10	0.310

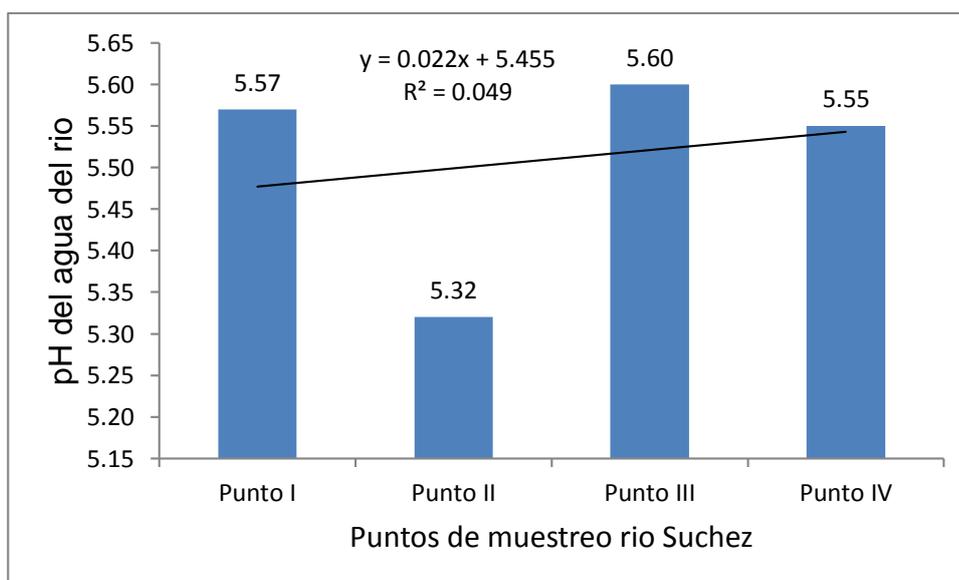


FIGURA 02

VALORES DE pH PARA DIFERENTES PUNTOS DE MUESTREO DEL RIO SUCHEZ

4.1.2. Conductividad eléctrica (CE)

Por otro lado, la conductividad es una variable que se controla en muchos sectores, desde la industria química a la agricultura. Esta variable depende de la cantidad de sales disueltas presentes en un líquido y es inversamente proporcional a la resistividad del mismo.

Con los instrumentos convencionales, la medida de la conductividad se obtiene aplicando un voltaje entre dos electrodos y midiendo la resistencia de la solución. Las soluciones con conductividad alta producen corrientes más altas. Para contener la intensidad de la corriente en una solución altamente conductiva, es necesario disminuir la superficie de la sonda o incrementar la distancia entre los polos.

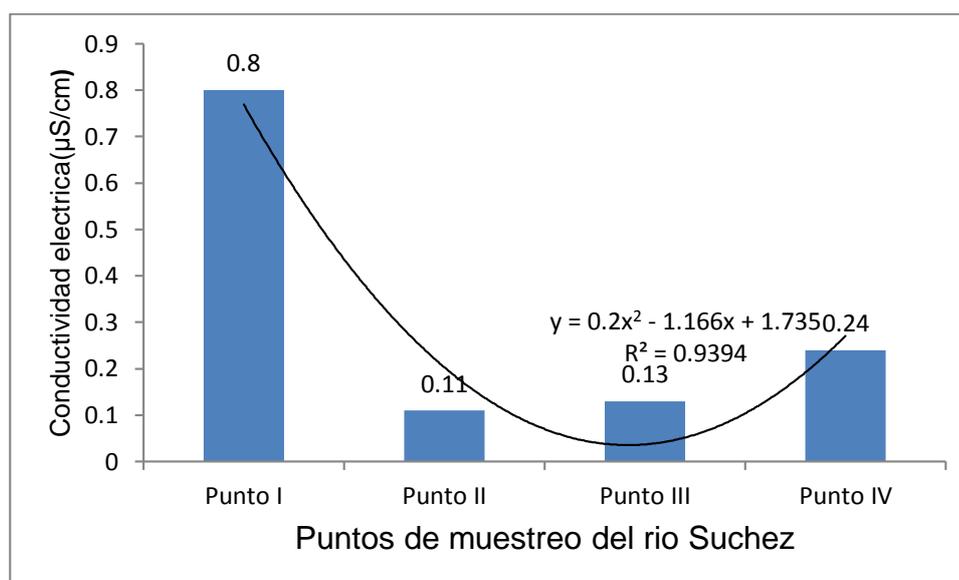


FIGURA 03

VALORES DE CONDUCTIVIDAD ELECTRICA PARA DIFERENTES PUNTOS DE MUESTREO DEL RIO SUCHEZ

Por esta razón se deben usar sondas diferentes para rangos de medida diferentes.

Sólo el método de 4 anillos puede medir distintos rangos usando una única sonda. Las ventajas de este método respecto al de dos puntas (método amperimétrico) son numerosas: lecturas lineales en un amplio rango, sin ninguna polarización, y sin necesidad de limpiezas exhaustivas por las incrustaciones. INFOAGRO ofrece una amplia gama de medidores Amperimétricos y Potenciométricos. Están disponibles modelos particulares para la medida de muchos parámetros con un solo instrumento (CE, TDS, pH y temperatura), o estudiados para aplicaciones específicas (por ejemplo: la termo-hidráulica y la agricultura).

CUADRO 04

CLASIFICACIÓN DE LAS AGUAS SEGÚN LA SALINIDAD DE AGUA DE RIEGO

(JAMES, et al, 1982)

Clase de agua	CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	TDS (mg/l)
Excelente	250	175
Buena	250 - 750	175 – 525
Permisible	750 - 2000	525 – 1400
Uso dudoso	2000 - 3000	1400 – 2100
Inapropiada	3000	2100

La conductividad se define como la capacidad de una sustancia de conducir la corriente eléctrica y es lo contrario de la resistencia.

La unidad de medición utilizada comúnmente es el Siemens/cm (S/cm), con una magnitud de 10 elevado a -6 , es decir microSiemens/cm ($\mu\text{S}/\text{cm}$), o en 10 elevado a -3, es decir, miliSiemens (mS/cm).

Conductividad del agua: Agua pura: $0.055 \mu\text{S/cm}$; Agua destilada: $0.5 \mu\text{S/cm}$; Agua de montaña: $1.0 \mu\text{S/cm}$; Agua para uso doméstico: 500 a $800 \mu\text{S/cm}$; Máx. para agua potable: $10055 \mu\text{S/cm}$; y Agua de mar: 52 mS/cm .

En el caso de medidas en soluciones acuosas, el valor de la conductividad es directamente proporcional a la concentración de sólidos disueltos, por lo tanto, cuanto mayor sea dicha concentración, mayor será la conductividad.

La relación entre conductividad y sólidos disueltos se expresa, dependiendo de las aplicaciones, con una buena aproximación por la siguiente regla:

grados ingleses

grados americanos

$1.4 \mu\text{S/cm} = 1\text{ppm}$ o $2 \mu\text{S/cm} = 1 \text{ ppm}$ (partes por millón de CaCO_3)

donde $1 \text{ ppm} = 1 \text{ mg/L}$ es la unidad de medida para sólidos disueltos.

Además de los normales conductivímetros, existen instrumentos que convierten automáticamente el valor de conductividad en ppm, ofreciendo directamente las medidas de la concentración de sólidos disueltos.

4.1.3. Dureza total (CaCO_3)

Se define la dureza total del agua como la cantidad de sales de elementos alcalino-térreos (berilio, magnesio, calcio, estroncio, bario y radio) presentes en el agua y que normalmente se asocia a la formación de incrustaciones calcáreas.

Si bien el concepto de dureza incluye diversos elementos, en la práctica, la dureza de un agua se corresponde únicamente con la cantidad de calcio y magnesio existentes.

En este sentido destaca la importancia del magnesio en la formación de incrustaciones calcáreas ya que habitualmente se tiende a asociar las incrustaciones (Ca) únicamente con el calcio presente en el agua y generalmente todas las incrustaciones están constituidas por sales tanto de calcio como de magnesio.

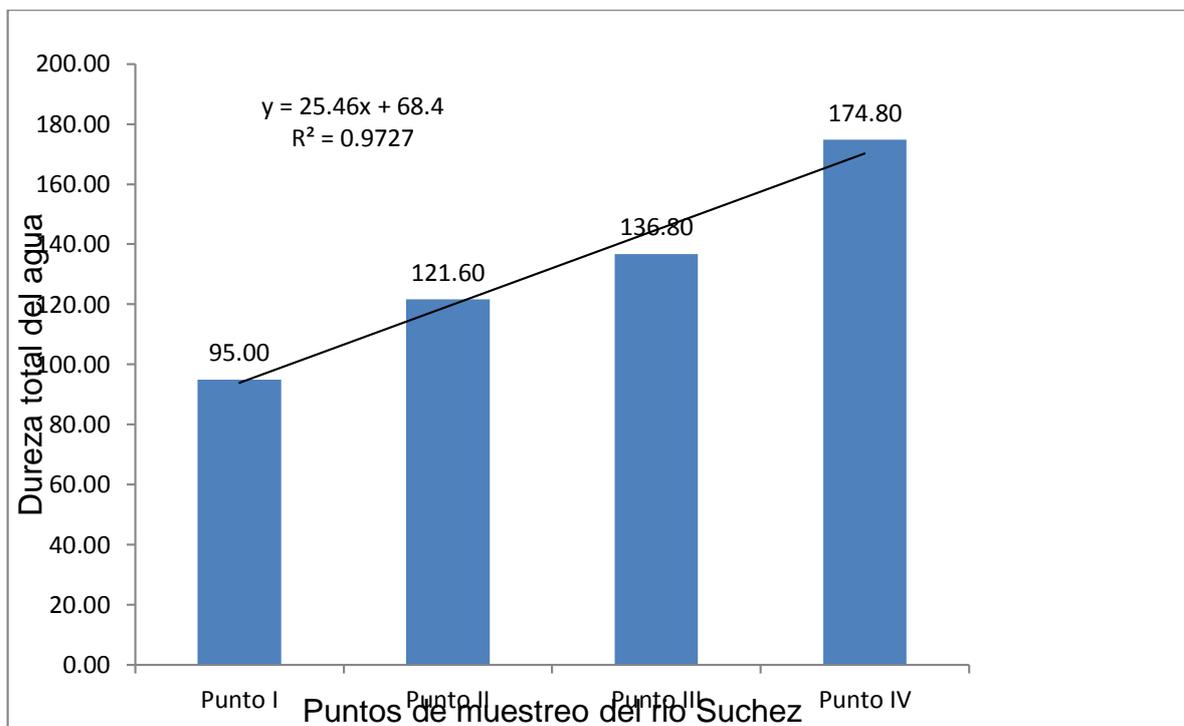


FIGURA 04

VALORES DE DUREZA TOTAL DEL AGUA PARA DIFERENTES PUNTOS DE MUESTREO DEL RIO SUCHEZ

De acuerdo a la concentración de carbonatos contenidos en el agua esta puede clasificarse en niveles de dureza, la siguiente tabla indica las cantidades de sales:

CUADRO 05
INDICE DE DUREZA DEL AGUA

Denominación	ppm de CaCO ₃
Muy suaves	0 – 15
Suaves	16 – 75
Medias	76 – 150
Duras	150 – 300
Muy duras	Mayor a 300

4.1.4. Alcalinidad (CaCO₃)

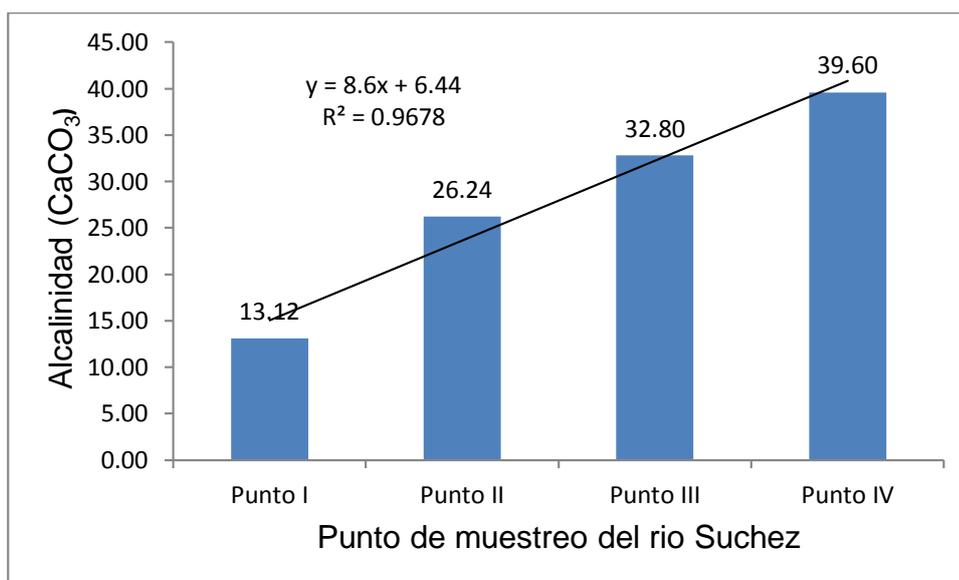


FIGURA 05
VALORES DE ALCALINIDAD DEL AGUA PARA DIFERENTES PUNTOS DE MUESTREO DEL RIO SUCHEZ

El agua dura conduce a la conformación de incrustaciones en los calentadores industriales y en las tuberías conductoras. Estas sólidas incrustaciones de CaCO_3 , MgCO_3 , $\text{Fe}(\text{OH})_3$ y CaSO_4 , por ser malas conductoras de calor, dificultan la transmisión de calor desde la chapa del calentador al agua. Como consecuencia, la chapa se sobrecalienta, lo que conduce a que se presenten en el calentador abolladuras y resquebrajaduras.

También las tuberías pueden ser obstruidas por las incrustaciones que se desprenden de la chapa, originando el peligro de que el calentador estalle. El agua dura conforma con el jabón precipitaciones escamosas de calcio graso acidulado que conducen al amarillamiento de la ropa que se lave y que le quitan toda su efectividad al jabón. El jabón no da espuma en el agua dura.

4.1.5. Cloruros (Cl)

Los cloruros son sales que resultan de la combinación del gas cloro (ion negativo) con un metal (ion positivo). El cloro (Cl_2) es altamente tóxico y es usualmente utilizado como desinfectante, sin embargo en combinación con un metal, como el sodio (Na), es esencial para la vida, dado que, pequeñas cantidades de cloruros son requeridas para la función celular en los seres vivos.

En la naturaleza las sales de cloruro de sodio, cloruro de potasio, y cloruro de calcio están ampliamente distribuidas, su solubilidad en agua fría es: 357, 344, 745 g/L, respectivamente. El cloruro, en forma de ion Cl^- , es uno de los aniones inorgánicos principales en el agua, su contenido procede de fuentes naturales, aguas residuales y vertidos industriales. El efecto antropogénico está mayormente asociado con el ion sodio (Iowa Department of Natural Resources, 2009).

El ion cloruro es uno de los iones más difundidos en las aguas naturales. No suele ser un ion que plantee problemas de potabilidad a las aguas de consumo, aunque sí que es un indicador de contaminación de las aguas debido a la acción del hombre. Esto es así porque, aunque la concentración de cloruro en aguas naturales es muy variable pues depende de las características de los terrenos que atraviesan, dicha concentración es menor comparada con la concentración del ion en aguas residuales ya que la actividad humana incrementa necesariamente dicha concentración⁽¹⁾.

Los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano están establecidos en el Real Decreto 140/2003. La concentración de cloruros máxima⁽²⁾ permisible para aguas de consumo humano es de 250 mg/L.

Una muestra que contenga esta cantidad de cloruros puede tener un sabor salado fácilmente detectable si el anión está asociado a los cationes sodio o potasio, pero el sabor no es apreciable si la sal disuelta en agua es cloruro de calcio o magnesio ya que en estos casos el sabor salado no se aprecia incluso con concentraciones de cloruro de 1 g/L⁽¹⁾. No obstante, es de esperar que la concentración de cloruro en aguas corrientes y embotelladas sea sensiblemente inferior.

De hecho, la concentración en aguas minerales naturales oscila, según las marcas, desde unas décimas de miligramos por litro hasta varios centenares^(3,4).

Las diferencias encontradas entre diferentes fuentes respecto de las concentraciones de cloruro en una misma marca de agua se pueden deber a la diferencia de tiempo de los análisis a los que hacen referencia pues la concentración de un ión en agua no es una cantidad que deba permanecer constante con el tiempo⁽⁵⁾.

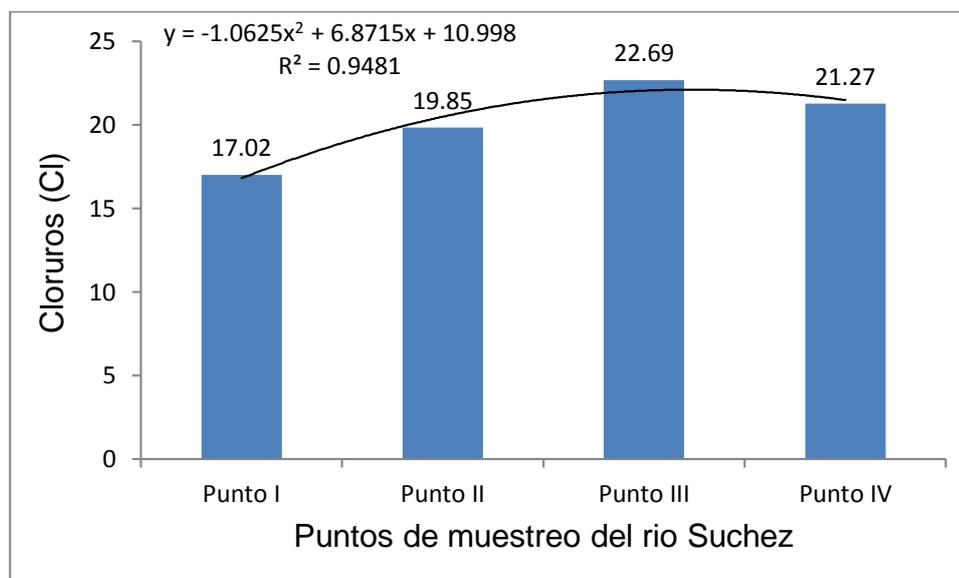


FIGURA 06

VALORES DE CLORUROS DEL AGUA PARA DIFERENTES PUNTOS DE MUESTREO DEL RIO SUCHEZ

Las aguas naturales tienen contenidos muy variables en cloruros dependiendo de las características de los terrenos que atraviesan pero, en cualquier caso, esta cantidad siempre es menor que las que se encuentran en las aguas residuales, ya que el ClNa es común en la dieta y pasa inalterado a través del aparato digestivo.

El aumento en cloruros de un agua puede tener orígenes diversos. Si se trata de una zona costera puede deberse a infiltraciones de agua del mar. En el caso de una zona árida el aumento de cloruros en un agua se debe al lavado de los suelos producido por fuertes lluvias. En último caso, el aumento de cloruros puede deberse a la contaminación del agua por aguas residuales.

Los contenidos en cloruros de las aguas naturales no suelen sobrepasar los 50-60 mg/l. El contenido en cloruros no suele plantear problemas de potabilidad a las aguas

de consumo. Un contenido elevado de cloruros puede dañar las conducciones y estructuras metálicas y perjudicar el crecimiento vegetal.

Los niveles de concentración de cloruros en agua no contaminada se encuentran a valores menores de 10 mg/L y en agua que se ha sometido a procesos de cloración ha reportado resultados de 40 a 63 mg/L.

En los alimentos los niveles de cloruros permanecen en niveles menores a 0.36 mg/g llegando a reportar valores de 100 mg/ día, sin embargo la adición ya sea en el procesado, al cocinar o comer llegan a incrementar los niveles resultando un consumo de 6 g/día lo cual se llega a incrementar a 12 g/día en algunos casos. En base a un consumo de 2 litros de agua con una concentración de 10 mg/L la ingestión diaria de NaCl es de 20 mg/L, llegando a reportarse valores de 100 mg/día, con estos datos y asumiendo un consumo de 6 g/día, el agua de beber aporta del 0.33 a 1.6 % del requerimiento diario. En los humanos el 88 % de cloruros es extracelular y contribuye a la actividad osmótica del cuerpo (WHO, 1996).

El ion cloruro es necesario en la dieta diaria ya que es importante en la salud de los riñones, el sistema nervioso y la nutrición. Sin embargo si el ion sodio asociado al ion cloruro como cloruro de sodio (NaCl) llega a causar problemas de salud a personas que sufren enfermedad del corazón o riñones, también se ha considerado que la formación de cálculos está relacionada con la salinidad y dureza del agua por la combinación de sales y calcio (WHO, 1996).

4.1.6. Sulfatos

Los sulfatos se producen de forma natural en las aguas subterráneas y están a menudo presentes en los suministros de agua potable para uso doméstico. Los niveles

normales de sulfatos y sulfuro de hidrógeno no tienen efecto sobre las personas que ingieren estas sustancias. Sin embargo, cuando la cantidad de sulfatos excede los niveles normales, las personas pueden sufrir efectos en su salud, en particular problemas gastrointestinales.

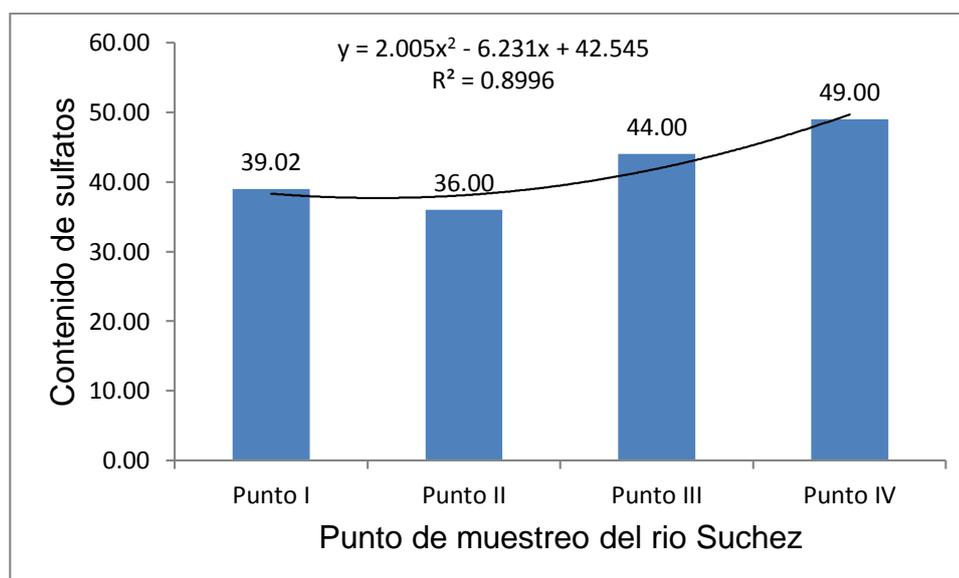


FIGURA 07

VALORES DE CONTENIDOS DE SULFATOS DEL AGUA PARA DIFERENTES PUNTOS DE MUESTREO DEL RIO SUCHEZ

Cuando los sulfatos que están naturalmente presentes en el agua se acumulan en las tuberías de agua, los niveles de sulfato en el agua potable pueden exceder el límite secundario de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de 250 miligramos por litro.

Cuando esto sucede, la cantidad de sulfatos en el agua potable puede tener un impacto en la salud pública, causando diarrea. En la mayoría de los casos, este problema se detiene en un corto período de tiempo ya que los consumidores se acostumbran a él. Sin embargo, puede ser más que un problema en los lactantes, los

ancianos y las personas con condiciones de salud subyacentes, ya que la diarrea prolongada puede causar deshidratación.

Los niveles excesivos de ácido sulfhídrico pueden también suponer una amenaza para la salud pública, a pesar de que los niveles elevados suelen ser más fáciles de detectar; producen un olor a huevo podrido y un sabor fuerte. La ingestión de altos niveles de sulfuro de hidrógeno puede causar náuseas y malestar. Los artículos del baño y la cocina que están hechos de materiales como la plata y el cobre pueden llegar a mancharse por el sulfuro de hidrógeno.

4.1.7. Nitratos

Los nitratos (NO_3^-) son sales muy solubles, derivadas del nitrógeno, que se pueden encontrar en alimentos y aguas de bebida. Derivan principalmente del empleo de fertilizantes nitrogenados, excretas de animales, descargas de desechos sanitarios e industriales, y del uso como aditivos alimentarios (conservas de pescado y carnes).

En las aguas superficiales, como los ríos y lagos, la concentración de nitratos es habitualmente baja, de algunos mg/l (excepto que exista un nivel importante de contaminación). En los acuíferos profundos también suele ser baja, aunque superior a la que encontramos en aguas superficiales.

La utilización de fertilizantes nitrogenados, que se infiltran en el suelo, y las descargas de desechos sanitarios e industriales en pozos ciegos o zanjas de absorción, que también terminan infiltrándose en el suelo, contribuyen al aumento de la concentración de nitratos en los acuíferos subterráneos.

A medida que todos estos compuestos nitrogenados son arrastrados por el agua hacia los acuíferos, a través del suelo, se producen reacciones químicas que terminan oxidando estos compuestos hasta el estado de nitratos.

De esta manera la concentración de nitratos puede aumentar en las napas subterráneas. Las características del suelo, las condiciones climatológicas, las cantidades de productos nitrogenados descargadas, las características de las napas subterráneas, etc. determinan los niveles de concentración a los que pueden elevarse los nitratos en estos acuíferos.

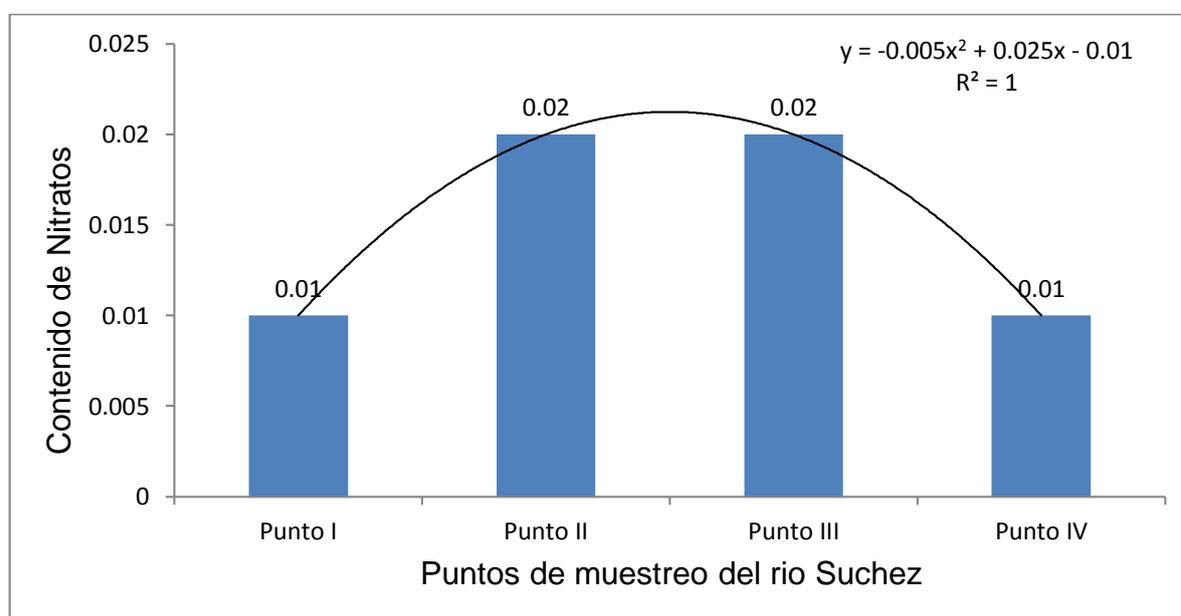


FIGURA 08

VALORES DE CONTENIDO DE NITRATOS DEL AGUA PARA DIFERENTES PUNTOS DE MUESTREO DEL RIO SUCHEZ

Los nitratos no son en si mismos tóxicos. Se sabe que se absorben rápidamente a nivel intestinal y se eliminan por orina. El peligro potencial de los nitratos radica en la eventual transformación en nitritos (NO_2^-) dentro del organismo. Esta transformación, que implica una reducción enzimática, puede ocurrir en la cavidad bucal y bajo ciertas condiciones, en el tubo digestivo.

El efecto mas conocido producido por una alta concentración de nitritos en sangre es la transformación de la hemoglobina a metahemoglobina. La hemoglobina se encuentra presente en los glóbulos rojos de la sangre y es la encargada de transportar el oxígeno a todo el organismo. La metahemoglobina es un tipo de hemoglobina no funcional que por lo tanto no es capaz de transportar oxígeno.

Hasta cierto punto el adulto sano posee mecanismos de compensación de esta transformación de la hemoglobina producida por los nitritos, pero ciertas afecciones preexistentes pueden agravar considerablemente el riesgo por la ingesta de nitratos y nitritos. Como ejemplo podemos citar el caso de hipertensión, diuresis mal equilibradas, disfunciones gástricas que modifican las condiciones de reactividad de los nitritos a nivel del estómago, mujeres embarazadas con ciertas disfunciones enzimáticas, adultos que carecen de la enzima necesaria para revertir el proceso de la metahemoglobinemia (que puede ser hereditario), etc. En los bebés (especialmente los menores de cuatro a seis meses) los mecanismos de compensación no se encuentran lo suficientemente maduros, motivo por el cual son particularmente sensibles a la intoxicación por nitritos.

En caso de intoxicación, la sintomatología tiene como rasgo característico la cianosis (coloración azul de la piel y mucosas causada por oxigenación insuficiente de la sangre) que se hace perceptible cuando la metahemoglobinemia excede aproximadamente el 10% de la población de glóbulos rojos. Es lo que se conoce como “síndrome del bebe azul”.

En el caso de los bebes un problema adicional es que la ingesta de agua en relación al peso corporal es muy superior a la de un adulto, lo que deriva en una incorporación relativa de nitratos muy superior.

4.1.8. Calcio

Elemento químico, Ca, de número atómico 20; es el quinto elemento y el tercer metal más abundante en la corteza terrestre. Los compuestos de calcio constituyen 3.64% de la corteza terrestre. El metal es trimorfo, más duro que el sodio, pero más blando que el aluminio. Al igual que el berilio y el aluminio, pero a diferencia de los metales alcalinos, no causa quemaduras sobre la piel.

Es menos reactivo químicamente que los metales alcalinos y que los otros metales alcalinotérreos. La distribución del calcio es muy amplia; se encuentra en casi todas las áreas terrestres del mundo. Este elemento es esencial para la vida de las plantas y animales, ya que está presente en el esqueleto de los animales, en los dientes, en la cáscara de los huevos, en el coral y en muchos suelos. El cloruro de calcio se halla en el agua del mar en un 0.15%.

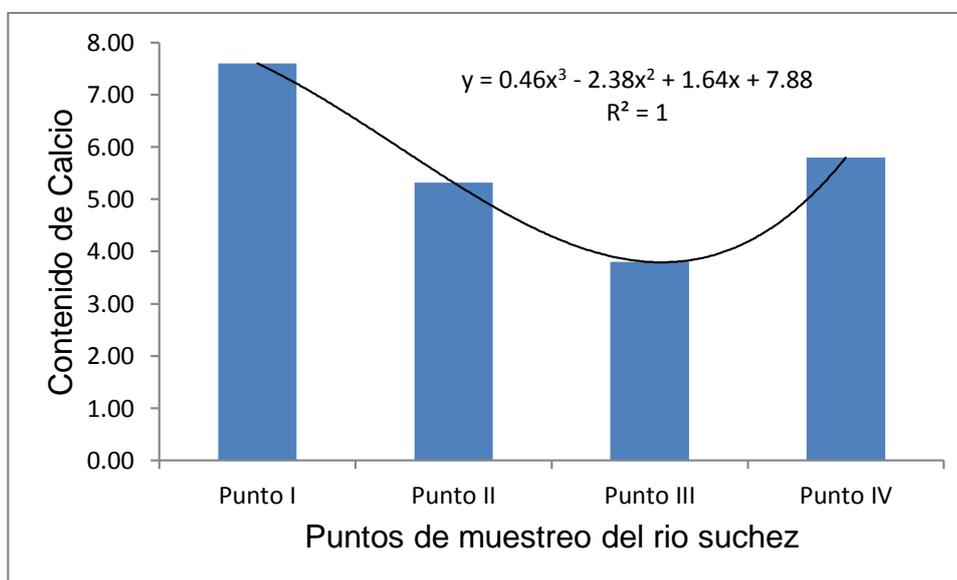


FIGURA 09

VALORES DE CONTENIDO DE CALCIO DEL AGUA PARA DIFERENTES PUNTOS DE MUESTREO DEL RIO SUCHEZ

Cuando hablamos del calcio algunas veces nos referimos a él con el nombre de cal. Es comúnmente encontrado en la leche y productos lácteos, pero también en frutos secos, vegetales, etc. Es un componente esencial para la preservación del esqueleto y dientes de los humanos. También asiste en funciones de los nervios y musculares. El uso de más de 2,5 gramos de calcio por día sin una necesidad médica puede llevar a cabo el desarrollo de piedras en los riñones, esclerosis y problemas en los vasos sanguíneos.

La falta de calcio es una de las causas principales de la osteoporosis. La osteoporosis es una enfermedad caracterizada por una fragilidad de los huesos producida por una menor cantidad de sus componentes minerales, lo que disminuye su densidad.

Al contrario de lo que mucha gente piensa, dentro de nuestros huesos se desarrolla una gran actividad biológica. Continuamente los huesos se están renovando y el tejido óseo viejo se está continuamente reemplazando por tejido nuevo. Durante la niñez y la adolescencia se crea más tejido óseo que el que se destruye. Sin embargo, en algún momento, posiblemente cercano a los 30 o 35 años de edad el proceso se invierte y comenzamos a perder más tejido óseo del que podemos reemplazar. En las mujeres al llegar la menopausia (cesación natural de la menstruación) se acelera el proceso ya que los ovarios dejan de producir la hormona femenina conocida como estrógeno, una de cuyas funciones es preservar la masa ósea.

La evidencia sugiere que, en condiciones normales, para preservar la masa ósea se necesitan unos 1.000 miligramos (mg) diarios de calcio tanto para hombres como para mujeres que no han llegado a la menopausia. Pasada la menopausia se necesitan unos 1.500 mg.

Las principales fuentes de calcio son los productos lácteos. Entre las fuentes de origen vegetal se encuentran vegetales verdes como el brécol y las espinacas. También contienen calcio la col, la coliflor, las habichuelas, las lentejas y las nueces.

El calcio trabaja conjuntamente con el magnesio para formar nueva masa ósea. Si se han de ingerir suplementos de calcio estos deben combinarse con magnesio en proporción de 2 a 1, es decir, si se ingieren 1.000 mg de calcio se deberán ingerir 500 mg de magnesio. Algunas buenas fuentes de magnesio en la dieta son los guineos o bananos, los mariscos, los granos integrales, las nueces, las habichuelas, el salvado de trigo, las semillas y los vegetales de color verde.

Las llamadas aguas cálcicas tienen un aporte de calcio igual o mayor a 150 mg por litro (la leche contiene 1200 mg de calcio por litro) y según los químicos muchas veces las sales de calcio vienen acompañadas de las de magnesio e integran lo que se conoce como "aguas duras".

Las aguas ricas en calcio han sido empleadas desde hace décadas para controlar el riesgo de padecer enfermedades cardiovasculares y en particular se recomienda a los hipertensos a quienes reduce significativamente sus niveles de tensión sistólica.

Para quienes toman estos consejos al pie de la letra, es importante que sepan que si bien las aguas cálcicas favorecen el funcionamiento de ciertos órganos, puede ser potencialmente peligrosas para quienes padecen, o tienen riesgo de padecer, cálculos renales pues incrementa el sedimento de sales en los riñones.

4.1.9. Magnesio

Un gran número de minerales contienen magnesio, por ejemplo la dolomita (carbonato de calcio y magnesio, $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) y la magnesita (carbonato de magnesio MgCO_3).

El magnesio se desprende de las rocas y va a parar al agua.

El magnesio tiene muchos propósitos y consecuentemente finaliza en en agua de maneras muy distintas.

La industria química añade magnesio a los plásticos y a otros materiales como una medida de protección contra el fuego o como material de relleno. También finaliza en el medio ambiente como fertilizante y como alimentación de ganados. El sulfato de magnesio se aplica en la industria de la cerveza, y el hidróxido de magnesio se aplica como floculante en plantas de tratamiento de aguas residuales.

El magnesio es también un laxante suave. Las aleaciones del magnesio se aplican en la construcción de coches y de aviones.

Durante la II Guerra Mundial el magnesio se aplicó como material de bombas, y causó un gran número de incendios en las ciudades. El desarrollo de estas bombas introdujo un método para extraer magnesio del agua de mar.

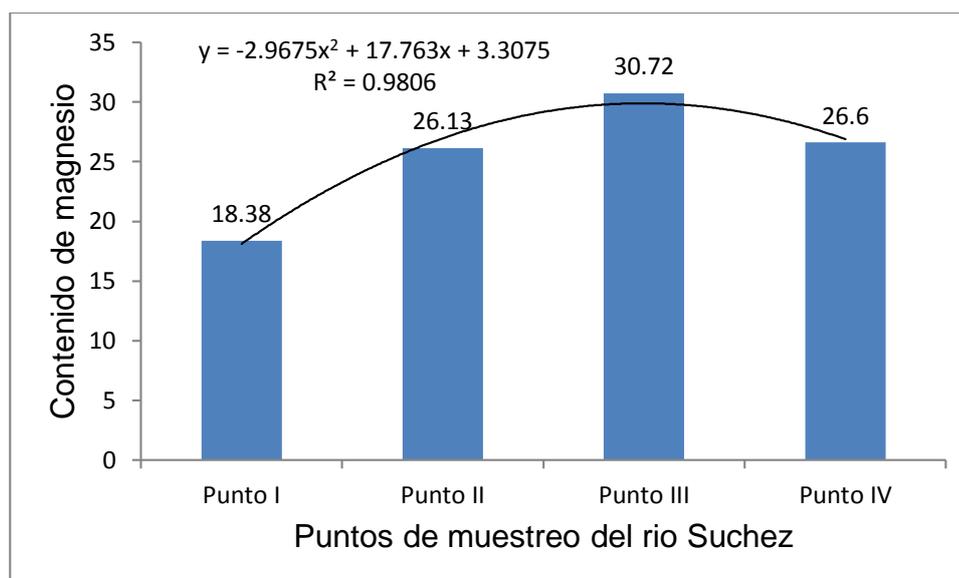


FIGURA 10

VALORES DE CONTENIDO DE MAGNESIO DEL AGUA PARA DIFERENTES
PUNTOS DE MUESTREO DEL RIO SUCHEZ

El magnesio es un mineral alimentario para todos los organismos excepto para los insectos. Es un átomo central de la molécula de la clorofila, y por lo tanto es una sustancia necesaria para la función fotosintética de las plantas. El magnesio no sólo se encuentra en el agua de mar sino también en ríos y agua de lluvia, y de esta forma se distribuye de forma natural en el medio ambiente.

Tres isótopos del magnesio se forman naturalmente, los cuales son estables y consecuentemente no radiactivos. También existen ocho isótopos inestables.

Las pautas que establecen el contenido máximo de magnesio en el agua potable son bastante relativas, ya que no se le atribuyen efectos negativos en seres humanos y en animales.

Los problemas ambientales provocados directamente por la presencia de magnesio en agua, hacen necesaria la utilización de ablandadores. Como se citó anteriormente,

la dureza es causada, en parte, por el magnesio. Los iones de calcio y magnesio (especialmente de calcio) influyen negativamente la capacidad de limpieza de los detergentes, ya que en el agua que contiene altas concentraciones de iones calcio y magnesio en disolución, cuando éstos se ponen en contacto con el jabón se forman precipitados en forma de sales insolubles, esto hace que el jabón no se disuelva totalmente en el agua, y por lo tanto se pierde cierta capacidad de limpieza. Debido a esta razón, se añade alrededor de un 40% de ablandador al jabón. Estos jabones solían ser fosfatos, pero se descubrió que estos compuestos eran difícilmente biodegradables, y causaban eutrofización.

Hoy en día se aplican agentes químicos alternativos, principalmente agentes acomplejantes como citrato de sodio, AEDT y ANT, o intercambiadores iónicos como zeolita A. Estas sustancias no provocan eutrofización y no son tóxicas. El ácido nitroacético (ANT) puede ser mutagénico, y es difícil de eliminar durante la purificación. La zeolita A aumenta la cantidad de lodo. Adicionalmente otros agentes acomplejantes como el AEDT tienen la capacidad de eliminar metales de compuestos que de otro modo serían difíciles de descomponer. Los metales pesados pueden finalizar en agua porque el AEDT es difícil de eliminar en las plantas de tratamiento de aguas residuales.

La dureza del agua difiere de una región a otra, por lo tanto la adición de ablandadores a los detergentes no es necesario en regiones que tienen aguas blandas. En regiones que tienen aguas de elevada dureza, deben aplicarse mayores cantidades de detergente, de esta forma se están añadiendo cierto poder ablandador.

Como consecuencia, otras sustancias presentes en los detergentes, se adicionan también en dosis más altas al aplicarse detergentes en grandes cantidades, esto hace que se compliquen los procesos de tratamiento de aguas residuales.

El cuerpo humano contiene alrededor de 25 g de magnesio, del cual el 60% está presente en los huesos y el 40% está presente en los músculos y en otros tejidos. Se trata de un mineral alimenticio para los seres humanos, es uno de los elementos que son responsables de la función de las membranas, transmisión de estímulos nerviosos, contracción de músculos, construcción de proteínas y de réplica de ADN. El magnesio es un ingrediente principal para la mayor parte de las enzimas. El calcio y el magnesio en muchas ocasiones realizan las mismas funciones en el cuerpo humano, y en muchos casos son antagónicos.

No se conocen casos de envenenamiento por magnesio. Con grandes dosis de magnesio se producen vómitos y diarrea. Las altas dosis de magnesio en medicinas y suplementos alimenticios pueden causar distensiones musculares, problemas nerviosos, depresiones y cambios de personalidad.

Como se mencionó anteriormente, no es frecuente introducir límites legales de magnesio en agua potable, ya que no hay una evidencia científica de la toxicidad del magnesio. En otros compuestos, por ejemplo asbestos, el magnesio resulta ser muy dañino.

4.1.10. Sólidos totales

TDS son las siglas inglesas de "Total Dissolved Solids", en español, Total de Sólidos Disueltos.

El Total de Sólidos Disueltos (TDS) es una medida de las sustancias orgánicas e inorgánicas, en forma molecular, ionizada o micro-granular, que contienen los líquidos, en nuestro caso, el agua. Para considerarse TDS, las sustancias deben ser lo suficientemente pequeñas como para pasar una criba o filtración del tamaño de dos micras.

Si las sustancias orgánicas e inorgánicas no pueden pasar una filtración de dos micras ni están indefinidamente suspendidas o disueltas, se llaman TSS (Total Suspended Solids o Total de Sólidos Suspendidos).

La medida TDS tiene como principal aplicación el estudio de la calidad del agua de los ríos, lagos y arroyos. Aunque el TDS no tiene la consideración de contaminante grave, es un indicador de las características del agua y de la presencia de contaminantes químicos, es decir, de la composición química y concentración en sales y otras del agua.

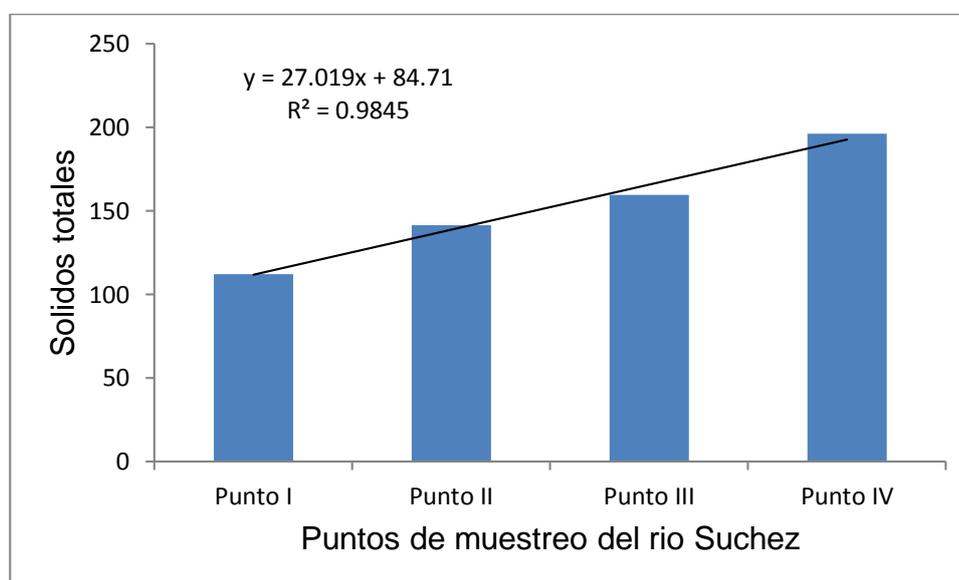


FIGURA 11

VALORES DE CONTENIDO DE SOLIDOS TOTALES DEL AGUA PARA
DIFERENTES PUNTOS DE MUESTREO DEL RIO SUCHEZ

Los sólidos totales es la suma de los sólidos disueltos y en suspensión que la muestra de agua pueda contener. Se puede decir que las aguas naturales son un conjunto de agua con sólidos disueltos y suspendidos,

Los sólidos disueltos lo constituyen las sales que se encuentran presentes en el agua y que no pueden ser separados del líquido por algún medio físico, tal como: sedimentación, filtración, etc. La presencia de estos sólidos no es detectable a simple vista, por lo que se puede tener un agua completamente cristalina con un alto contenido de sólidos disueltos.

La presencia de estos sólidos solo se detecta cuando el agua se evapora y quedan las sales residuales en el medio que originalmente contiene el líquido.

Analíticamente se miden pesando la cápsula con las sales residuales, una vez que el agua ha sido evaporada, y conociendo el peso neto de la cápsula es posible determinar la cantidad de sólidos disueltos por diferencia de peso.

También es posible cuantificar los sólidos disueltos midiendo la conductividad del agua: los sólidos disueltos se encuentran en forma de cationes y aniones, por lo que éstos como partículas con carga pueden conducir la corriente eléctrica, y así pueden ser cuantificados indirectamente, con cierta precisión, midiendo la conductividad del agua como se describe posteriormente

Sólidos en suspensión: Los sólidos en suspensión es el material que se encuentra en fase sólida en el agua en forma de coloides o partículas sumamente finas, y que causa en el agua la propiedad de turbidez. Cuanto mayor es el contenido de sólidos en suspensión, mayor es el grado de turbidez.

A diferencia de los sólidos disueltos, estos pueden separarse con mayor o menor grado de dificultad por procesos mecánicos como son la sedimentación y la filtración.

Analíticamente se determinan pasando un volumen medido de una muestra de agua a través de una cápsula la cual tiene una membrana o filtro con poros de 0.2 micrones dónde son retenidos los sólidos suspendidos, cuando se filtra la muestra de agua.

Las partículas o sólidos suspendidos se componen de material orgánico e inorgánico. El material orgánico es principalmente algas o microorganismos y el inorgánico son: arcillas, silicatos, feldespatos, etc.

Se ha efectuado el análisis de clúster a fin de determinar la similitud de los contenidos de contaminantes presentes en el agua y en la cual ha demostrado, los puntos de muestreo I y IV son diferentes, es decir en el análisis de agua ha demostrado contenidos diferentes en cantidades cuantitativas.

Sin embargo, los puntos de muestreo II y III, muestran contenidos contaminantes similares así como se demuestra en el dendrograma.

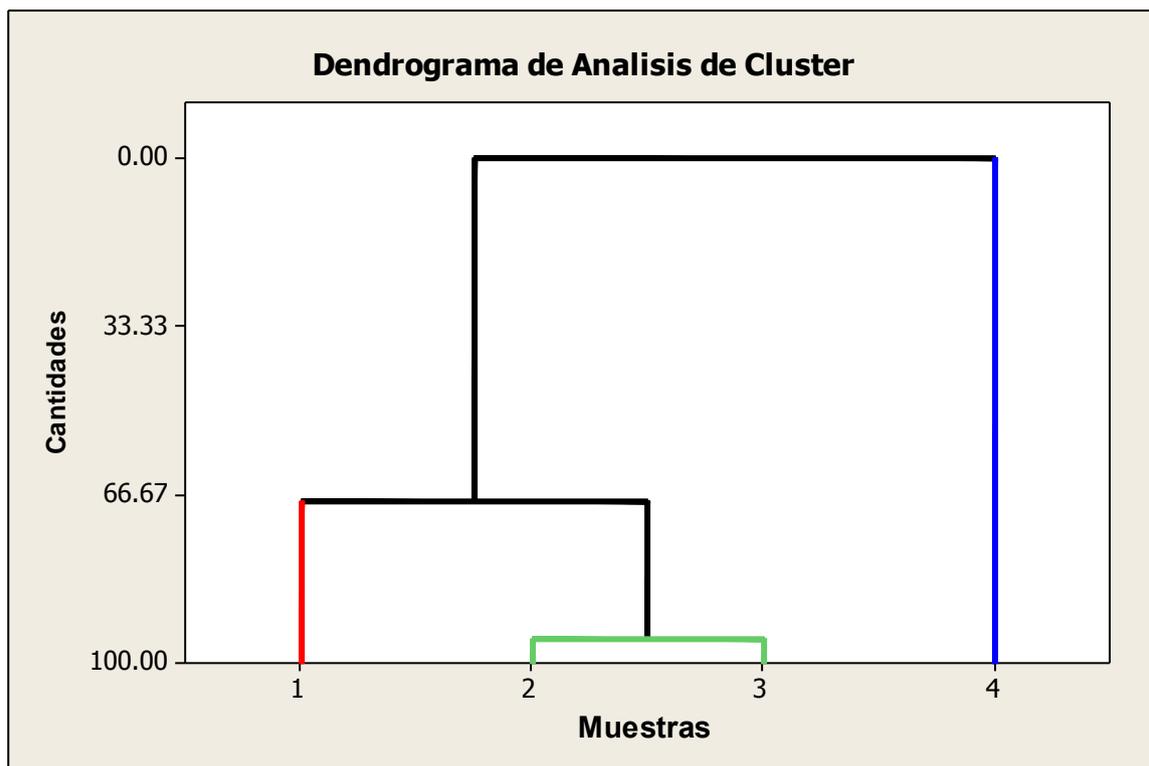


FIGURA 12

DENDROGAMA DE ANALISIS DE CLUSTER PARA VALORES SIMILARES DE
DIFERENTES PUNTOS DE MUESTREO DEL RIO SUCHEZ

4.2. Determinar el estado de contaminación del agua por mercurio de los diferentes componentes del ecosistema de la cuenca del río Suchez.

El recurso hídrico de la cuenca baja del río Suchez se encuentra bien caracterizada en términos de calidad de agua (localidad Escoma). La carga sedimentaria del río Suchez en el periodo 1976-1982 fue de 180 mg/l de material particulado en suspensión y de 60 mg/l de material disuelto entre 1983 y 1988 (Guyot *et al.* 1992). La salinidad media de sus aguas es de 1.66 mM/l, la composición iónica está dominada por carbonatos ácidos (HCO₃), seguidos por sulfatos (SO₄⁻²), calcio y sodio, otros iones presentes en el agua son cloro, sodio, potasio, magnesio y ácido silícico (H₄SiO₄) (Carmouze *et al.* 1981).

En el año 2004 Asevey *et al.* (2004) realizaron la caracterización de la calidad de agua de la cuenca baja del río Suchez, incluyendo el análisis del río Huayco y el lago Titicaca, el río Huayco es uno de los principales afluentes del río Suchez en la cuenca baja, con cabeceras en la cordillera Real (Muñecas).

El estudio abarcó alrededor de 35 km de tramo en el río Suchez a partir de su desembocadura, con un rango altitudinal entre los 3 904 y 3 844 m.s.n.m. Caracterizaron los cuerpos de agua en función a su contenido de sólidos suspendidos, conductividad eléctrica, iones mayores (sulfatos, sodio, potasio, calcio y magnesio) y pH.

En aguas del río Suchez encontraron que los sólidos suspendidos son bajos (< a 5 mg/l), con tendencia a incrementar a medida que hay menos pendiente, en la desembocadura, sin embargo los sólidos totales alcanzan los valores más elevados en relación a otras zona del sector 240 mg/l (Navarro y Maldonado 2004).

El anión más importante son los sulfatos (32.0-24.0 mg/l) y el calcio es el catión predominante (24.0-16.0 mg/l), otros iones cuantificados fueron sodio (6.4-6.9 mg/l) y magnesio (5.1-3.4 mg/l). Según Navarro y Maldonado (2004) las aguas presentan altos contenidos de sulfatos y bicarbonatos, el calcio, sodio y sílice son secundarios en importancia.

La conductividad eléctrica del río Suchez muestra valores cercanos a 200 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (máxima 260, mínima 160), siendo menor que en los otros cuerpos de agua estudiados en la región (Figura 6) y el pH tiende a ser ligeramente básico en la cuenca del río Suchez con valores en la desembocadura cercanos a los del lago Titicaca (9.04) las aguas presentan un estado de óxido-reducción de poco reducido a muy reducido -0.56, -0.32, -1.22 mv

En estudio realizado por Asevey *et al.* (2004) concluyeron que en el río Suchez según el Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica, Reglamento a la Ley del Medio Ambiente de Bolivia, pertenece a la categoría B de utilidad general. El ser humano puede consumirla previo tratamiento físico y desinfección bacteriológica.

La calidad del agua, así como la composición de la biota en una cuenca son los principales instrumentos empleados en la caracterización de las hidroecoregiones. La cuenca del río Suchez, incluida en la macrocuenca del lago Titicaca ha sido clasificada hidroregionalmente como (Navarro y Maldonado 2002):

La Llanura Altiplánica y el Sector Pluviestacional y considerando la clasificación biogeográfica se realiza en función de las series de vegetación características o potenciales. La cuenca del río Suchez, perteneciente a la cuenca del lago Titicaca, se encuentra clasificada como (Navarro y Maldonado 2002):

El distrito se constituye por tres pisos bioclimáticos: supratropical, orotropical y criorotropical.

Piso **supratropical o puneño** (2700-3800 m.s.n.m.) presenta un bioclima pluvialestacional (más de 3 meses de intensas precipitaciones al año), la vegetación característica de la zona son los bosques puneños subhúmedos-húmedos zonales con vegetación potencial de *Polylepis besseri* subespecie *incarium*, los cuales por el estado de degradación de los suelos, fruto de la actividad antrópica ha sido desplazada por pajonales higrófilos y comunidades palustres y acuáticas.

Piso **orotropical o altoandino** (3800 - 4600 m.s.n.m.) presenta:

i) pajonales climatófilos: serie potencial *Azorella disapensoides-Festuca dolichophylla*, serie presente *Deyeuxia nitidula* y *Azorella multifida*,

- ii) pajonales edafoxerófilos *Pycnophyllum molle*-*Aciachne acicularis*,
- iii) pajonales higrófilos: *Eleocharis albibracteata*-*Festuca humilior*,
- iv) bofedales planos: *Hypselo reniformis*-*Plantaginion rigidae*,
- v) bofedales pulvulares almohadillados: *Calamagrostio jamesonii*-*Distichion muscoidis*,
- vi) vegetación acuática emergente: *Schoenoplectus californicus* subespecie *tatora* (totora),
- vii) vegetación acuática sumergida: *Lilaeopsis macloviana*-*Myriophyllum quitense*,
- viii) vegetación acuática flotante: *Lemno minusculae*-*Lemnetum gibbae*,
- ix) vegetación saxícola: *Snecio rufenscens* y
- x) vegetación rupícola: *Saxifraga magellanica*.

Piso criorotropical o subnival (más de 4600 m.s.n.m.) la vegetación presente es:

- i) pajonales bajos: *Calamagrostion nitidula-chrysantae*,
- ii) vegetación geliturbada: *Wererio ciliolatae*-*Englerocharium peruviana* y
- iii) bofedales: *Werneria marcida*-*Distichia filamentosa*.

La cuenca del río Suchez cuya caracterización biológica más completa para la cuenca del río Suchez fue realizada por Asevey *et al.* (2004), Eizaguirre *et al.* (2004) y Coilaet *al.* (2010). Los dos primeros estudios se enfocan en la cuenca baja del río Suchez. Asevey *et al.* (2004) estudiaron cerca de 35 km de tramo de río (antes de su desembocadura en el lago Titicaca); mientras que Eizaguirre *et al.* (2004) focalizaron los esfuerzos en toda la provincia Camacho (Cuenca media) y Coilaet *al.* (2010)

analiza la cuenca alta del río Suchez. Solo Acebey *et al.* (2004) realizaron trabajos de campo para comprobar la información, mientras que los otros estudios se basaron en información secundaria y entrevistas con especialistas. A continuación se presenta la información compilada por estos estudios.

Las algas dominantes en el cauce bajo del río Suchez son las clorófitas, indicadores de contaminación antropogénica. Totoras (*Schoenoplectus californicus ssp.*) acompañadas de una mayor densidad de clorofitas se presentan en la desembocadura al lago Titicaca.

Las especies de peces nativos presentes en la cuenca baja del río Suchez son carachi negro (*Orestias agassi*), carachi amarillo (*O. luteus*), carachi blanco (*O. albus*), ispi (*O. ispi*), turunkila (*O. sp.*), mauris (*Trichomycterus spp.*), suche (*T. rivulatus*), pero de manera muy

escasa y rara. Las especies de peces introducidas en esta cuenca son: trucha (*Oncorhynchus mykiss* *Salmo gairdeniere irideus*), y pejerrey (*Basilichthys bonariensis*).

La herpetofauna se caracteriza por lagartija (*Liolaemus spp.*), presente en laderas rocosas con predominancia de cactáceas, rana gigante (*Telmatobius culeus*), *T. marmoratus* y sapo (*Bufo spinulosus*).

Las **aves** más representativas en la cuenca alta son: halcón María (*Accipiter bicolor*), huallata (*Chloephaga melanoptera*) y gaviota andina (*Chroicocephalus seranus*). Mientras que en la cuenca baja se presentan: flamencos altoandinos (*Phoenicoparrus andinus*, *P. jamesi* y *Phoenicopterus chilensis*), pisca (*Nothoprocta ornata*), patos (*Anas puna*, *A. specularioides*, *A. cyanoptera*, *A. georgica*, *A. flavirostris* y *Oxyura jamaicensis*), cóndor andino (*Vultur gryphus*), zambullidores (*Rollandia microptera* y

Podiceps occipitales), kiula o kivo (*Tinamotis pentlandii*), keñocoa (*Rollandia microptera*), garza blanca (*Egretta thula*), Ibis (*Plegadis ridgwayi*), Aguilucho (*Buteo poecilochrous*), Cernícalo (*Falco sparverius*), halcón común (*Falco femoralis*), halcón real (*Falco peregrinus*), Cara Cara (*Phalcoboenus megalopterus*) y huallata (*Chloephaga melanoptera*).

Los mamíferos nativos más representativos en la cuenca alta son: llama (*Lama glama*), vicuña (*Vicugna pacos*), zorro (*Pseudolopex culpaeus*) y vizcacha (*Viscacha lagidium*); especies que también se encuentran presentes en la cuenca baja acompañadas por otras especies como quirquincho (*Chaetopractus nationi*), zorrino (*Conepatus chinga rex*), puma (*Felis concolor*), topo (*Ctenomys sp.*), gato andino (*Oreailurus jacobita*), titi (*Lynchailurus colocolo*), tarauca (*Hippocamelus antisensis*) y Ch'iara achaco (*Akodon boliviensis*). Las especies de mamíferos introducidos son: vaca (*Bos aurus*), oveja (*Ovis aries*) y liebre (*Lepus capensis*).

CAPITULO V.

CONCLUSIONES

El estudio abarcó alrededor de 35 km de tramo en el río Suchez a partir de su desembocadura, con un rango altitudinal entre los 3 904 y 3 844 m.s.n.m. Caracterizaron los cuerpos de agua en función a su contenido de sólidos suspendidos, conductividad eléctrica, iones mayores (sulfatos, sodio, potasio, calcio y magnesio) y pH.

En las aguas del río Suchez encontraron que los sólidos suspendidos son bajos (< a 5 mg/l), con tendencia a incrementar a medida que hay menos pendiente, en la desembocadura; sin embargo los sólidos totales alcanzan los valores más elevados en relación a otras zona del sector 240 mg/l.

El anión más importante son los sulfatos (32.0-24.0 mg/l) y el calcio es el catión predominante (24.0-16.0 mg/l), otros iones cuantificados fueron sodio (6.4-6.9 mg/l) y magnesio (5.1-3.4 mg/l). Según Navarro y Maldonado (2004) las aguas presentan altos contenidos de sulfatos y bicarbonatos, el calcio, sodio y sílice son secundarios en importancia.

La conductividad eléctrica del río Suchez muestra valores cercanos a 200 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (máxima 260, mínima 160), siendo menor que en los otros cuerpos de agua estudiados en la región y el pH tiende a ser ligeramente básico en la cuenca del río Suchez con valores en la desembocadura cercanos a los del lago Titicaca (9.04) las aguas presentan un estado de óxido-reducción de poco reducido a muy reducido - 0.56, -0.32, -1.22 mv

El efecto indirecto de la minería del oro sobre las concentraciones de mercurio en suelos es que facilita la erosión de los suelos, debido a que los sedimentos son removidos y la cobertura vegetal es retirada, lo que permite su movimiento hacia zonas con menor pendiente, principalmente cuerpos de agua, cambiando la turbidez de las aguas y afectando la biodiversidad de estos ecosistemas, lo cual no se encuentra relacionado con elevadas concentraciones de mercurio en agua (ver más abajo); sin embargo podría estar afectando las concentraciones naturales de este metal en las aguas de la cuenca.

La variabilidad de las concentraciones de mercurio entre estudios conducidos en distintas escalas temporales podría deberse a un incremento de las actividades mineras desde el año 2006 y la variabilidad de resultados entre diferentes estudios con la misma escala temporal puede estar relacionada con la metodología de análisis y el diseño experimental de toma de muestras.

La contaminación del agua en la cuenca alta y media del río Suchez reportada en el año 2002 se encuentra por debajo de los valores de referencia; sin embargo en el año 2010 se presentó un nivel mayor al límite de detección mínimo; sin embargo se encuentra por debajo de los valores permisibles.

En sedimentos la contaminación de la cuenca del río Suchez es alta, con una tendencia al incremento en los últimos años.

La tendencia espacial de las concentraciones de sedimentos y agua muestran un incremento a medida que la pendiente disminuye, por lo que cuerpos de agua en la cuenca baja que reciben agua de este río posiblemente presentan elevadas concentraciones de mercurio. Principalmente el lago Titicaca como se verá más adelante.

Las aguas de relave no presentan contaminación aparente, lo que podría estar condicionando que los ecosistemas acuáticos naturales presenten un buen estado de conservación.

CAPITULO VI.

RECOMENDACIONES

Es muy importante que la ejecución de un Diagnóstico Participativo sea la base para un proceso de planificación y ejecución participativa, no basta realizar un diagnóstico y que los resultados queden en un cajón del escritorio para después seguir con un proyecto, al igual que muchas prácticas paternalistas de siempre.

Implementar el sistema de monitoreo en coordinación con el Ministerio del Ambiente, gobierno Regional, y Gobiernos locales, tanto las aguas subterráneas y superficiales así como sedimentos de relave en operaciones que emplean mercurio.

Realizar inventario de los principales componentes de los ecosistemas de toda la cuenca hidrográfica del río Suchez

CAPITULO VII.

BIBLIOGRAFÍA CITADA

- Alanoca C.L. 2001. Estudio de la contaminación por mercurio desechado por actividades auríferas en la cuenca del río Beni desde las cabeceras andinas hasta Rurrenabaque. Tesis de grado para obtener el título de licenciatura en ciencias químicas. UMSA. La Paz. Bolivia. 89 pp.
- ALT. 2004. Manejo integrado de la cuenca del río Suchez. Informe central. Proyecto de conservación de la biodiversidad en la cuenca del lago Titicaca – Desaguadero – Poopo – Salar de Coipasa. 245pp. .
- Arce B.O. 2009. Metalliferous Ore deposits of Bolivia. Empresa Minera Unificada. 2da Edición. La paz Bolivia. p. 88-90
- Barberi, F. 2006. Exposición al mercurio en una población del Bajo río Beni, temporada seca 2005. Tesis de grado para obtener el título de magister en salud pública – mención salud ambiental y ocupacional. UMSA .La Paz. Bolivia. 82 pp.
- Barbosa A.C., de Souza J., Dorea J.G., Jardim W.F. y Fadini P.S. 2003. Mercury biomagnification in a tropical Black Water, Rio Negro, Brazil. Arch. Environ. Contam. Toxicol. 45: 235-246
- Bastos W.R.; Rebelo M.deF., Fonseca M.deF., De Almeida R. yMalm O. 2008. A description of mercury in fishes from the Madeira River Basin, Amazon, Brazil. Acta Amazonica. 38(3): 341-346

- Bergmann H. Enriquez R., Flores M., Driver H. y D S.N. 1979. Investigación de morrenas auríferas y placeres de río entre la Cabaña y lago Suchez (Prov. Ulla Ulla). Sergeotecmin.
- Brooks W.E., Sandoval E., Yopez M.A. y Howard H. 2007. Peru mercury inventory 2006. U.S. Geological Survey Open-File Report 2007-1252, 55 p., Disponible en: <http://pubs.usgs.gov/of/2007/1252/>.
- Cancillería de Bolivia 2011. Informe integral de la situación actual de la cuenca del río Suchez. Informe Interno Preliminar. LA Paz. Bolivia. 66 pp.
- Compeau G.C. y Bartha R. 1985. Sulfate-Reducing Bacteria: Principal Methylators of Mercury in Anoxic Estuarine Sediment. Applied and environmental microbiology. 50(2): 498-502
- Deza N.E.A. 1997. Mercury accumulation in fish from Madre de Dios, a gold mining area in Amazon basin, Peru. Thesis for Master of Science. Oregon State University.p.34
- Doario V.A.L. 2004.Ecotoxicología y acción toxicológica del mercurio. Anales de la Real Academia Nacional de Farmacia.4(4): 933-959
- Dorea, J.G.; Barbosa A.C. y Silva G.S. 2006. Fish mercury bioaccumulation as a function of feeding behavior and hydrological cycles of the Rio Negro, Amazon.
- Farella N., Lucotte M., Davidson R. y Daigle S. 2006. Mercury release from deforested soils triggered by base cations enrichment.The Science of the Total Environment. 368: 19-29

- Gammons C.H., Slotton D.G., Gerbrandt B., Weight W., Young C.A., McNearny R.L. y Cámac E., Caldero R. y Tapia H. 2006. Mercury concentrations of fish, river water, and sediment in the Río Ramis-Lake Titicaca watershed, Peru. *Science of the Total Environment* 368: 637– 648
- Gobierno regional de Puno. 2008. Plan estratégico de desarrollo regional. Gobierno regional de Puno. Sub Gerencia de Planeamiento e Informática. 2da edición. 119pp.
- Goyzueta G. y Trigos C. 2009. Riesgos de salud pública en el centro poblado minero artesanal la rinconada (5200 msnm) en puno, Perú. *Rev Peru Med Exp Salud Publica*.26(1): 41-44.
- Guyot, J., Wasson J., Quintanilla J. y Calle H. 1992. Los flujos de materias disueltas y en suspensión en algunos tributarios y en el río Desaguadero. En: *El lago Titicaca*, Ed.HISBOL. p. 127- 132
- Herrero C.A. 2007. Estudio sobre la capacidad de resuspensión de las corrientes de densidad. Aplicación al caso del embalse de Flix. Tesis para optar al grado de licenciatura en d'Enginyeria Hidràulica, Marítima i Ambiental. Universitat Politècnica de Catalunya. p. 25-33
- Holmes C.D., Jacob D.J. y Xin Yaang. 2006. Global lifetime of elemental mercury against oxidation by atomic bromine in the free troposphere. *Geophysical research letters*. 33: 1-5
- Hualpa E. 2012. La negligencia estatal frente a la minería ilegal en Puno, Cabildo Abierto. 63: <http://www.noticiasser.pe/07/03/2012/informe/mineria-ilegal-e-informal-en-la-cuenca-ramis-y-Suchez>

- Hylander, L.D., J. Gröhn, M. Tropp, A. Vikström, H. Wolpher, E. De C. E Silva, M. Meili y L.J. Oliveira. 2006. Fish mercury increase in Lago Manso, a new hydroelectric reservoir in tropical Brazil. *Journal of environmental Management*. 81: 155-166
- Jiménez M. Cabero J. *et al.* 1974. Exploración del distrito Ulla Ulla-Suchez-Palechuco Provincia F. Tamayo y B. Saavedra, Departamento de La Paz. Corporación minera de Bolivia. Oruro. 30 pp.
- Laboratorio de Calidad Ambiental. 2010. Cuenca del río Suchez: Resultados de análisis de laboratorio de agua. Informe final. LCA. IE. UMSA. 54pp.
- LIDEMA. 2010. Informe del Estado Ambiental de Bolivia 2010. LIDEMA. La Paz, Bolivia. 348 pp.
- Malm O. 2001. Evaluación de los estudios de la contaminación ambiental y humana con mercurio en la Amazonía y perspectivas. En: Jornada Internacional sobre el impacto ambiental del mercurio utilizado por la minería aurífera artesanal en Iberoamérica. Lima, Perú. 9 p.
- Mamani V.E.N. 2004. Evaluación de la calidad de agua. MINAM-DGCA. Perú.
<http://cuencas.minam.gob.pe/cuencas/home/lista-de-cuencas/cuenca-del-lago-titicaca/>
- Maurice-Bourgoin L. 2001. Le mercure dans les eaux de surface du bassin amazonien: Transfert du mercure des sols aux milieux aquatiques, spéciation, transport et sédimentation dans les rivières et plaines d'inondation. In: Le mercure en Amazonien. Ed: JP. Carmouze, M. Lucotte y A. Boudou. IRD Editions. Annexed 3.

- Moreno, D. 2003. Toxicología Ambiental: Evaluación de riesgo para la salud humana. Ed. McGraw-Hill/Interamericana. España. pp. 214– 220.
- Muñoz G.A. 2009. Caracterización de los recursos suelo y vegetación relacionados con la distribución de la vicuña en Apolobamba (Bolivia): Calidad edáfica y Biodiversidad. Tesis doctoral presentada al departamento de Ciencia y Tecnología agraria. Universidad Pontificia de Cartagena. España. 388 pp.
- Mutter J., Naumann J. y Guethlin C. 2007. Comments on the Article “The Toxicology of Mercury and Its Chemical Compounds” by Clarkson and Magos (2006). *Critical Reviews in Toxicology*. 37(6): 537-549
- Navarro G. y Maldonado M. 2002. Geografía ecológica de Bolivia: Vegetación y ambientes acuáticos. Fundación Simón I. Patiño. Cochabamba – Bolivia. pp. 595 – 604
- Ovando A.L. 2008. Behind the pathways of mercury in the Iténez-Guaporé basin, mapping the potential deposition and transformation zones. Thesis of mastery. International Institute for geo-information science and earth observation enschede, the Netherlands. Holanda. pp.: 9-35
- Paterson, M.J., P.J. Blanchfield, C. Podemski, H.H. Hintelmann, C.C. Gilmour, R. Harris, N. Ogrinc, J.W.M. Rudd y K.A. Sandilans. 2006. Bioaccumulation of newly deposited mercury by fish and invertebrates: an enclosure study using stable mercury isotopes. *Can. J. Aquat. Sci.* 63: 2213-2224 42
- Pérez R.T. 2008. Bioacumulacion y biomagnificación del mercurio en peces de la cuenca del Iténez (Bolivia). Trabajo de Investigación presentado para obtener el Título de Magister en Ciencias Ambientales. UMSS. 92 pp.

- PNUD (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo). 2003. Plan Maestro para la biodiversidad del el sistema TDPS. Proyecto Conservación de la biodiversidad en la cuenca del lago Titicaca – Desaguadero – Poopó – Salar de Coipasa (TDPS). Bolivia. 486 pp.
- Ryaboshapko A., Ilyin I., Gusev A. y Afinogenova O. 1998. Mercury in the atmosphere of europe: concentrations, deposition patterns, transboundary fluxes. Meteorological Synthesizing Centre – EAST. p. 22-31
- Rojas O.J. 2010. Recursos hídricos - Bolivia 2010. Centro del agua para América Latina y el caribe. 52 pp.
- ONU. 1990. Exploración de oro en la zona de Suchez, Bolivia. Informe final. Anexo 1-9. Fondo rotatorio de la ONU para la exploración de los recursos Naturales. 100 pp.
- Tucer E. 2003. La minería en el área natural de manejo integrado Apolobamba. Agencia española de cooperación. 19 pp.
- UNESCO. 2010. Reservas de la Biósfera. Su contribución a la provisión de servicios de los ecosistemas. UNESCO. Chile. 80 pp. 43
- Universidad Pontificia de Cartagena. 2010. Evaluación de los recursos naturales y biodiversidad en Apolobamba (Bolivia): Análisis de riesgos por actividades mineras y recomendaciones de áreas afectadas. Bolivia. 42 pp.
- Weinberg J. 2007. Introducción a la contaminación por mercurio para las ONG. Proyecto mundial de mercurio. Suiza. 162 pp.

Zahir F., Rizwi S.J., Haq S.K. y Khan R.H. 2005. Low dose mercury toxicity and human health. *Environmental Toxicology and Pharmacology*. 20: 351-360

ANEXOS



Foto 01. Analisis fisicoquímico en el Laboratorio de la Facultad de Ciencias Agrarias.



Foto 02. Analisis fisicoquímico en el Laboratorio de la Facultad de Ciencias Agrarias.



Foto 03. Analisis fisicoquímico en el Laboratorio de la Facultad de Ciencias Agrarias.



Foto 04. Analisis fisicoquímico en el Laboratorio de la Facultad de Ciencias Agrarias.



Foto 05. Parte Chequepampa pastizal. De la cuenca suches parte alta



Foto 06. cuenca del río Suches, parte Piñuni de residuos solidos en suspensión dejados por los mineros Bolivianos.



Foto 07. Feria Internacional de Chequepampa, 18 y 19. Donde contaminan directamente al río suches



Foto 08. Desechos dejados después de realizar la Feria semanal.

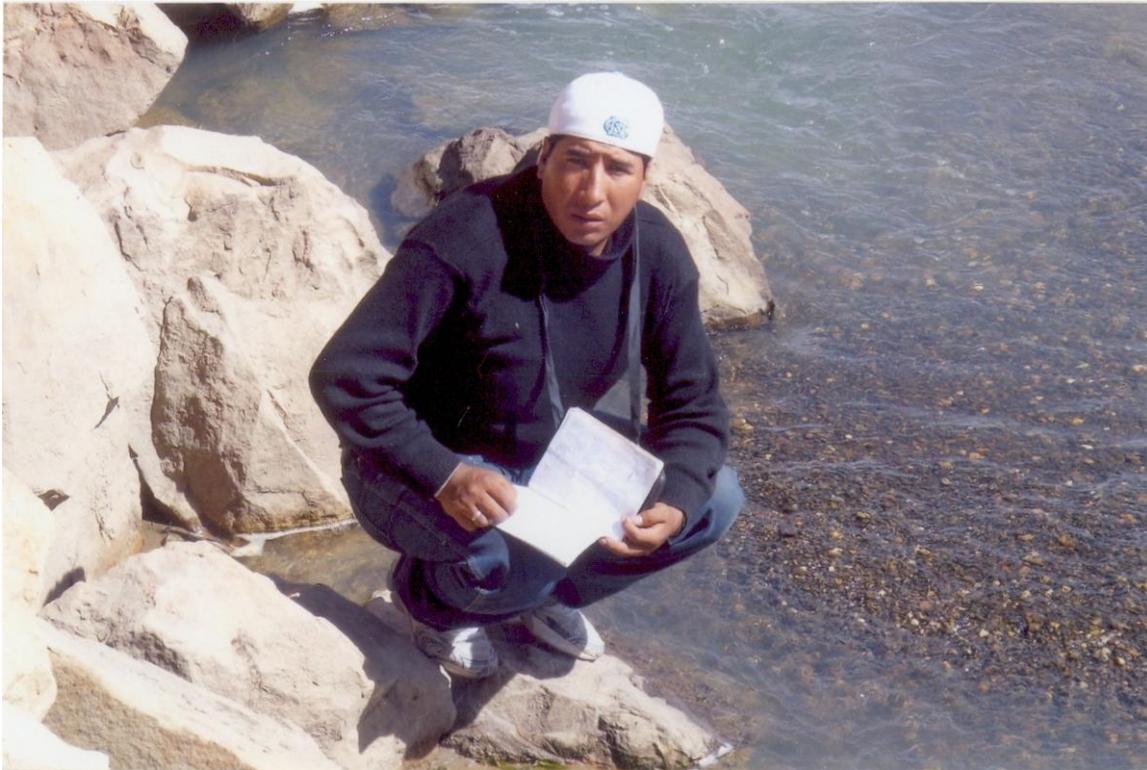


Foto 09. Toma de datos en el curso del río Paria.



Foto 10. Toma de datos en el Puente Ramón Castilla.



Foto 11. Sólidos en suspensión de lamas dejados por la minería informal. Perte perlas (palomani)



Foto 12. Puente parte baja de Palomani.



Foto 13. Imagen de parte tripartita parte Huancasaya



Foto 14. Contaminación del río Suches provocado por la actual actividad minera, parte distrito de Cojata.