

Bolivia Ecológica

EDICIÓN TRIMESTRAL REVISTA Nº 32

AÑO 2003



CONTAMINACIÓN DEL AGUA

- Introducción
- ¿Qué es la contaminación del agua?
- Tipos de contaminación del agua
- Fuentes de contaminación
- Ruta de entrada de los contaminantes potenciales hacia los ambientes acuáticos
- Principales contaminantes utilizados en el sector industrial
- Alteraciones del agua
- Cadena trófica contaminada por pesticidas
- Autodepuración
- Indicadores de la contaminación de aguas
- Características de los bioindicadores
- Biomonitoreo de la calidad del agua
- Métodos biológicos para monitorear la calidad del agua
- Métodos de prevención y limpieza
- Efectos de la contaminación en la salud
- Contaminantes del agua que causan daños en la salud humana
- Contaminación de aguas en Bolivia
- Glosario
- Bibliografía

FUNDACIÓN SIMÓN I. PATIÑO

CENTRO DE ECOLOGÍA SIMÓN I. PATIÑO - Departamento de Difusión
Calle Independencia N° 89 - Tef. / Fax: (+591-3) 337 5726 - 333 2345- Casilla 1674 - Santa Cruz - Bolivia
E-mail: cedsipbiblio@fundacionpatino.org / edifusion@fundacionpatino.org - www.cedsip.org

INTRODUCCIÓN

El crecimiento urbano e industrial con grandes necesidades de agua para su abastecimiento, además de irrigación y placer, hace que todas las actividades realizadas por el hombre sean cada vez más dependientes de la disponibilidad de aguas continentales; siendo las demandas mayores en las regiones altamente industrializadas donde la gran parte de los efluentes de desechos industriales y domésticos son vertidos directamente a los cuerpos de agua.

La utilización de fertilizantes químicos y pesticidas ha modificado en muchos casos las características naturales de los ecosistemas acuáticos, a tal punto que se pueden observar sustancias tóxicas en aguas subterráneas, sin mencionar las que se manifiestan en aguas superficiales.

Esta situación se ve agravada si tomamos en cuenta que las cuencas hidrológicas están sujetas a intensa deforestación, para la implantación de tierras agrícolas o ciudades, convirtiéndose en áreas de captación de sustancias contaminantes producidas o vertidas sobre ellas.

Por otro lado la contaminación atmosférica también contribuye a la contaminación de las aguas, arrastrando sus contaminantes mediante la lluvia hacia los cuerpos de agua, inclusive aquellos localizados a grandes distancias del lugar de contaminación.

Razón por la cual se están tomando medidas preventivas y de control en todos los países del mundo, para resguardar este recurso de vital importancia para los organismos que habitan este planeta.

¿QUE ES LA CONTAMINACIÓN DEL AGUA?



Contaminación de ríos.

Cardona, Jaime

La palabra *contaminación* proviene del latín "contaminare" que significa mezclar y/o infectar por contacto, en este sentido contaminar se refiere al "contagio" a través del agua y no a los aspectos dinámicos y ecológicos de la polución.

Por lo tanto contaminación se refiere a la simple transmisión por el agua de elementos compuestos o microorganismos que pueden perjudicar la salud del hombre o de los animales que la beben. En este caso, el agua desempeña el papel de vehículo del agente contaminante y no del ambiente ecológico alterado en otras palabras, la calidad del agua puede ser alterada sin que el ecosistema como tal sea perturbado.

Según la Ley de Aguas, contaminación es la acción y el 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 sus usos posteriores o con su función ecológica.

TIPOS DE CONTAMINACIÓN DEL AGUA

La contaminación del agua puede ser producida por:

Compuestos minerales: sustancias tóxicas como los metales pesados (plomo, mercurio, etc.). Otros elementos como el cobre, el hierro, etc afectan las propiedades organolépticas del agua éstos son bioacumulables y pueden llegar a ser letales (ver cuadro siguiente).

Procesos industriales en los cuales se utilizan metales pesados

Proceso industrial	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Pb	Ni	Sn	Zn
Papel		X	X		X		X	X		X
Petroquímica		X	X		X	X	X		X	X
Soda cáustica		X	X		X	X	X		X	X
Fertilizantes		X	X	X	X	X	X	X		X
Refinería		X	X	X	X		X	X		X
Metalurgia		X	X	X	X	X	X	X	X	X
Metales diferentes al Fe			X	X		X	X			X
Industria automotriz y aviones		X	X	X	X			X		
Vidrio, cemento y asbesto			X							
Textiles			X							
Industria del cuero										
Plantas de vapor (calderas)										

Fuente: FORSTNER y MÜLLER, 1974.

Compuestos orgánicos: desechos orgánicos, que son descompuestos por microorganismos que agotan el oxígeno del agua. Otros como fenoles, hidrocarburos, etc. impiden el paso de la luz y alteran la fotosíntesis.

Contaminación microbiológica: se produce principalmente por la presencia de bacterias, virus, protozoos, etc., que se introducen en el agua provenientes de desechos orgánicos (aguas cloacales, de cocinas, lavanderías, etc.), causando diversos tipos de epidemias como el cólera y otras.

Contaminación térmica: se refiere al aumento de temperatura en el agua, producto de la refrigeración en las industrias y las centrales térmicas nucleares, provocando la disminución de la solubilidad del oxígeno en el agua.

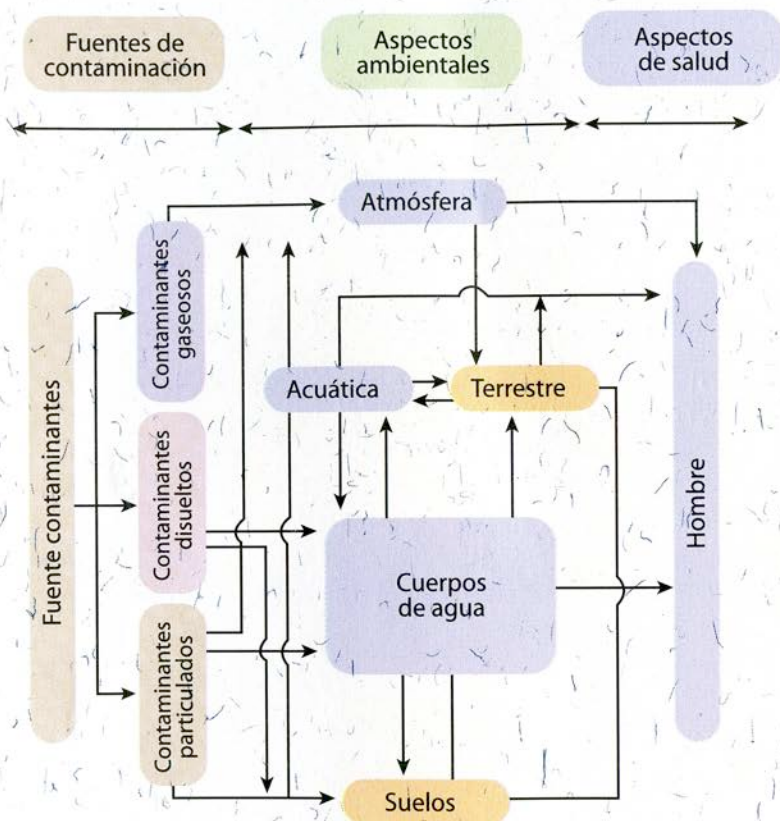
FUENTES DE CONTAMINACIÓN

La contaminación puede provenir de fuentes puntuales o fuentes difusas, existiendo una diferencia importante entre ambas.

La fuente puntual puede ser colectada, tratada o controlada directamente de la fuente, mientras que las fuentes difusas consisten de muchos puntos contaminantes que deben ser identificados para luego ser controlados.

En el siguiente diagrama, se puede observar la ruta de los contaminantes hacia los ambientes acuáticos:

RUTA DE ENTRADA DE LOS CONTAMINANTES POTENCIALES HACIA LOS AMBIENTES ACUÁTICOS



Fuente: Chapman, D. 1996

Fuentes puntuales

Por definición una fuente puntual es el ingreso de contaminantes por un desagüe. La eliminación de desechos no tratados o inadecuadamente tratados probablemente sea la mayor fuente de contaminación.

El principal problema de contaminación en los ecosistemas acuáticos son las fuentes domésticas, debido al incremento de la población y al desarrollo de las actividades industriales y comerciales, ocasionando éstas un incremento en la producción de desechos y aguas servidas.

La contaminación minera en Bolivia es de gran impacto en los ecosistemas acuáticos, siendo los principales desechos de esta actividad los desmontes y las aguas de minas (efluentes ácidos), producto de la extracción de minerales. Las fuentes de drenajes de ácidos son las minas subterráneas que producen desmontes, colas que contienen sulfuros que generan ácidos, originando un flujo continuo de la denominada copagira.

Entre los principales contaminantes provenientes de fuentes puntuales se encuentran las:

Aguas residuales urbanas: aguas cloacales provenientes de desechos domésticos (cocina, lavanderías, etc.). Los principales contaminantes de estas aguas son: la materia orgánica y los microorganismos como las bacterias, protozoos, etc.

Aguas residuales industriales: producen contaminación orgánica y térmica.

Aguas residuales ganaderas: contienen materia orgánica y microorganismos.

Las fuentes puntuales son las que mejor se controlan, mediante un seguimiento de los vertidos anteriormente descritos.

Fuentes difusas

Estas pueden provenir de muchas fuentes puntuales individuales, tales como:

- Escorrentía agrícola que transfiere partículas del suelo orgánico e inorgánico, nutrientes, pesticidas y herbicidas, incluyendo la erosión del suelo del drenaje superficial y del subsuelo.
- Escorrentía urbana de las calles de la ciudad y áreas circundantes, que incluyen contaminantes como: residuos de combustibles fósiles, bacterias y contaminantes orgánicos industriales, particularmente PCBs (Polibifenil clorado).
- Eliminación de desechos, comprendiendo los sólidos industriales y municipales. Los sitios de deposición de desechos, son propensos a eliminar lixiviados al subsuelo y por ende contaminar las aguas subterráneas, considerándose esta última como una fuente puntual.
- Contaminantes atmosféricos, que pueden ser orgánicos e inorgánicos, ampliamente dispersados y depositados a una escala global se consideran como una fuente difusa para los ambientes acuáticos.

El siguiente cuadro muestra los contaminantes utilizados en el sector industrial, los mismos que derivan tanto de fuentes puntuales como difusas.



Edgar Gollia

Las aguas negras son los desechos que se eliminan por los desagües de las viviendas.



Antonio Torren

La contaminación puede causar la muerte de las especies que habitan los ambientes acuáticos.

PRINCIPALES CONTAMINANTES UTILIZADOS EN EL SECTOR INDUSTRIAL

SECTOR INDUSTRIAL	PRINCIPALES CONTAMINANTES
Construcción	Sólidos en suspensión, metales y pH.
Minería	Sólidos en suspensión, metales pesados, materia orgánica, cianuros, pH.
Energía	Calor, hidrocarburos y productos químicos.
Textiles y curtiembres	Cromo, taninos, tenso activos, sulfuros, colorantes, grasas, disolventes orgánicos, ácido acético y fórmico, sólidos en suspensión.
Automotores	Aceites lubricantes, pinturas y aguas residuales.
Navales	Petróleo, productos químicos, disolventes y pigmentos.
Siderurgia	Cascarillas, aceites, metales disueltos, emulsiones y ácidos.
Química inorgánica	Hg, P, fluoruros, cianuros, amoníaco, nitritos, ácido sulfhídrico, fósforo, Mn, Mo, Pb, Ag, Se, Zn, etc. y los compuestos de todos ellos.
Química orgánica	Organohalogenados, organocíclicos, compuestos cancerígenos y otros que afectan al balance del oxígeno.
Fertilizantes	Nitratos y fosfatos.
Papel	Sólidos en suspensión y otros que afectan al balance del oxígeno.
Plaguicidas	Organohalogenados, organofosforados, compuestos cancerígenos, biocidas, etc.
Fibras químicas	Aceites minerales y otros que afectan al balance de oxígeno.
Pinturas, barnices y tintas	Compuestos organoestamínicos, compuestos de Zn, Cr, Se, Mo, Ti, etc.

ALTERACIONES DEL AGUA

Las alteraciones del agua contaminada, pueden ser físicas, químicas o biológicas.

Alteraciones Físicas

Propiedades organolépticas: el color del agua es debido a los materiales disueltos o suspendidos (rojizo de sales de hierro o verdoso de sales cálcicas); el olor puede ser debido a la presencia de productos químicos como los fenoles o el cloro, a materia orgánica en descomposición y a organismos como las algas y/o los hongos; el sabor está relacionado con la presencia de cationes metálicos como: cobre, zinc o magnesio, o aniones salinos como cloruros o sulfatos.

Temperatura: esta variable tiene gran importancia en el desarrollo de los diversos fenómenos que ocurren en el agua (solubilidad de gases y sales), así como en los procesos biológicos. La elevación de la temperatura del agua puede acelerar la putrefacción, aumentar la solubilidad de las sales, y disminuir la de los gases, como es el caso del oxígeno.

Materia en suspensión: generalmente el agua en movimiento transporta materiales sólidos insolubles, según el tamaño de las partículas, que pueden provocar pérdida de volumen de almacenamiento de un lago, así como también formar suspensiones causando turbiedad.

La sedimentación de partículas puede causar efectos directos sobre la flora y la fauna de ríos y lagos, como la obstaculización de las zonas de desove, destruyendo sus hábitats naturales o dañando el sistema de intercambio gaseoso en los animales acuáticos (branquias).

Espuma: el agua formará espuma si contiene agentes tensoactivos, que son sustancias que disminuyen la tensión superficial de los líquidos, y por tanto, aumentan la estabilidad de las burbujas gaseosas que pueden formarse en la superficie. El ejemplo

más representativo de estos agentes son los detergentes sintéticos, que son vertidos en grandes cantidades en las aguas naturales.

Radiactividad: todas las aguas presentan una determinada radiactividad natural, como consecuencia de la presencia de isótopos radiactivos solubles, en especial los de potasio, provenientes de diversos tipos de rocas, que no suponen peligro para los seres vivos. El aumento de los valores normales generalmente se debe a la actividad humana relacionada con procesos nucleares (energéticos, médicos).

pH: puede modificarse tanto por medios naturales como artificiales. En las aguas naturales la variación del pH ejerce una gran influencia sobre las distintas reacciones que se llevan a cabo en el agua, modificando la facilidad de precipitaciones de algunas especies químicas.

Conductividad: el agua pura tiene muy poca conductividad, por lo cual, la medida de la conductividad del agua nos da una idea de los sólidos disueltos en la misma.

Alteraciones Químicas

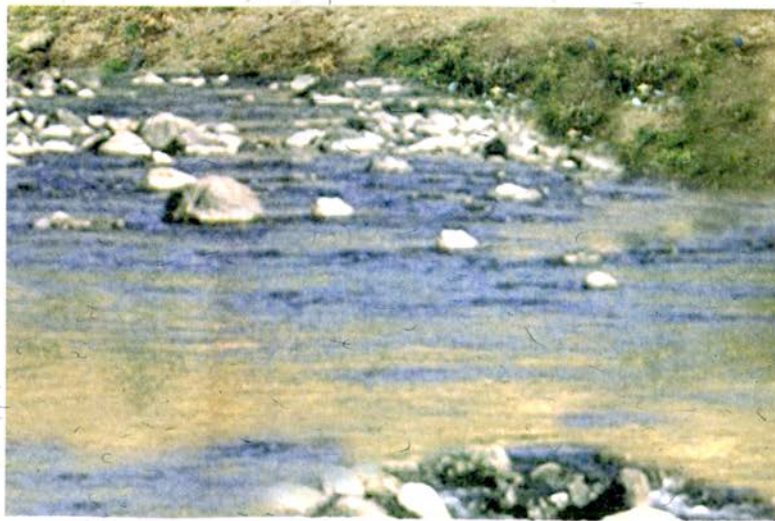
La presencia de compuestos químicos por encima de determinados niveles de concentración, son los que más afectan la calidad del agua. Los compuestos orgánicos como los hidrocarburos, los pesticidas y los detergentes dan al agua un carácter reductor, ya que son capaces de combinarse con el oxígeno disuelto en ella.

Entre los contaminantes químicos más importantes que se vierten a los ecosistemas acuáticos, provenientes de actividades domésticas e industriales se tienen:

A) el ecosistema de una corriente no sujeta a un arrastre del lecho de sedimentos.



B) Cambios que ocurren cuando ingresan muchos sedimentos.



Agua de ríos con sedimentos y nutrientes.

Aceites y grasas: presentes en aguas domésticas e industriales, pueden ser orgánicos o derivados del petróleo. Generalmente, se extienden sobre la superficie de las aguas, creando películas que afectan la vida biológica de estos cuerpos.

Detergentes: contienen principalmente agentes tensoactivos (formadores de espuma).

Sulfuros: presentes en las aguas negras, en aguas de industria química, en papeleras y en refinerías de petróleo; la concentración de sulfuros da una idea de septicización.

Cianuros: contaminación de origen industrial, enormemente tóxica.

Fluoruros: se encuentran en vertidos de la industria del aluminio y abonos fosfatados.

Fenoles: se hallan en los efluentes industriales de las refinerías, industrias siderúrgicas, farmacéuticas, etc. Los derivados clorados de los fenoles, confieren al agua características organolépticas no deseables.

Pesticidas: los pesticidas son poco biodegradables, además de su elevada toxicidad, presentan problemas de bioacumulación.

Hidrocarburos: son compuestos químicos orgánicos presentes en grandes cantidades en el petróleo y el gas natural. La contaminación que puede originar un crudo de petróleo cuando se derrama, depende de sus características que pueden variar mucho en función del tipo de petróleo.

Metales pesados: la presencia de metales en aguas es motivo de preocupación, principalmente por sus efectos tóxicos y su bioacumulación en la cadena trófica.



Los derrames de petróleo alteran de manera irreversible el delicado equilibrio de los ecosistemas.



Los detergentes que se vierten a las aguas causan la muerte de especies que viven en estas.

Algunos metales son esenciales para la vida (Na, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Mo, Ni, Co, Cu, y Zn), por ejemplo el hierro forma parte de la hemoglobina de la sangre y el cobalto de la vitamina B-12, siendo también activador de enzimas, como el manganeso. El cobre y el zinc participan en la síntesis de enzimas, el molibdeno en los procesos de transferencias de electrones.

El resto de los metales pesados como: el mercurio, cadmio, níquel, cromo y otros, son metales no esenciales y tienen efectos tóxicos sobre el organismo incluso los metales esenciales, cuando sobrepasan las concentraciones requeridas por el organismo, pueden tener efectos tóxicos.

Alteraciones Biológicas

Las alteraciones biológicas del agua se refieren principalmente al desequilibrio provocado por el aumento del número de microorganismos presentes, especialmente bacterias, protozoos y algas. Son cambios que experimentan las comunidades, a medida que reciben descargas de desechos de diferentes tipos.

Las especies que viven en un hábitat cualquiera están adaptadas a las condiciones ambientales propias de su medio y cualquier alteración de éstas trae consigo la desaparición de una o varias especies, esto significa una pérdida en la red alimenticia, simplificando las comunidades con un aumento en la abundancia de una especie, en contra de una mayor diversidad.

Este tipo de cambios en la comunidad, es causado a menudo por la reducción de la concentración de oxígeno libre disuelto por debajo del valor mínimo (4mg/l), que permite la vida de los organismos superiores.



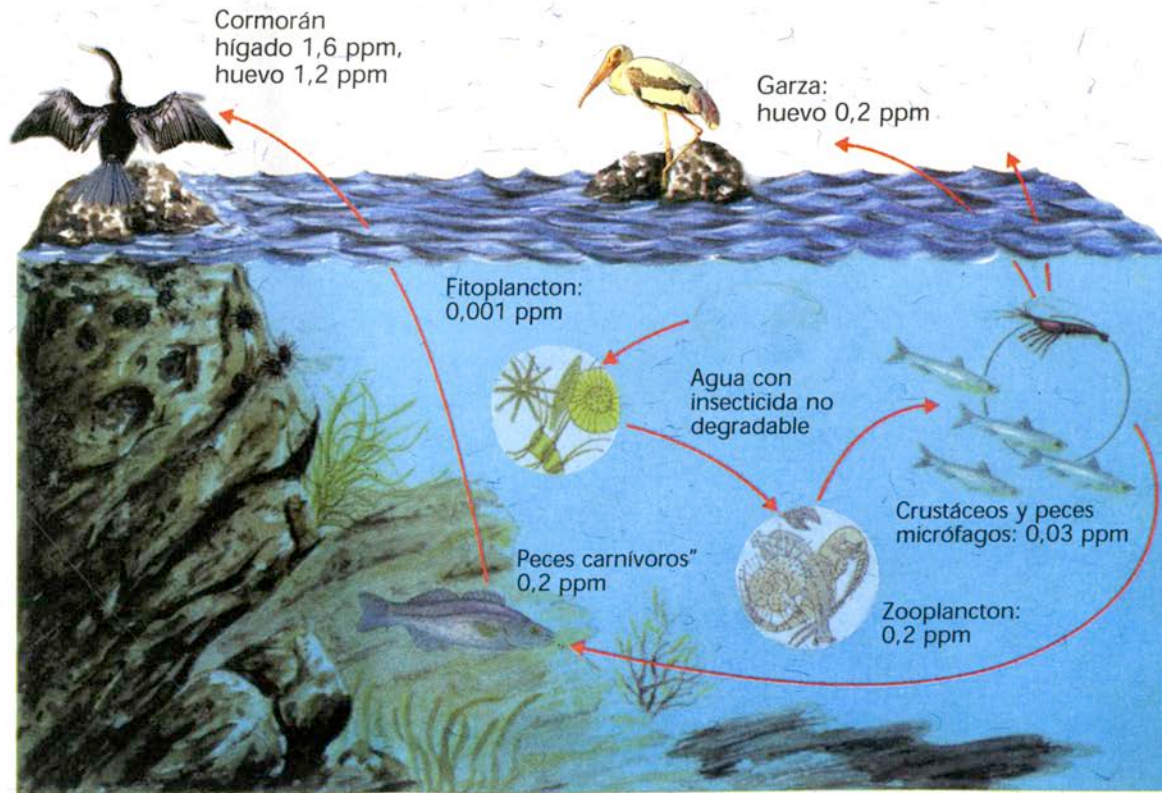
Pala mecánica recoge fangos contaminados en la Laguna Alalay.



Tanque de aeración en operación. La tubería color óxido en primer plano es el tubo de admisión para reciclar el fango activado del clarificador secundario.

Ahora bien, no sólo se producen cambios en la estructura de las comunidades, sino en el tipo de organismos encontrados, los cuales son muy utilizados como bioindicadores de la contaminación.

BIOACUMULACIÓN DE PESTICIDAS EN UNA CADENA TRÓFICA



El dibujo representa un ecosistema acuático con una concentración elevada de insecticida. El fitoplancton incorpora el pesticida; en el zooplancton se multiplica por veinte la concentración; en los consumidores de zooplancton crece la concentración en un 50%; en los peces carnívoros y las aves crece entre cinco y siete veces; y, finalmente, el cormorán tiene una concentración ocho veces superior (Bioacumulación).

AUTODEPURACIÓN

Un ecosistema contaminado puede volverse "puro" después de cierto tiempo, sujeto a un proceso de depuración. En este proceso intervienen una serie de factores (dilución, desaparición de materia orgánica, etc.) que devuelven al medio su estado original.

Mediante el proceso de dilución, los contaminantes se dispersan progresivamente en el agua, sobre todo en los ríos donde al aumentar el caudal del agua aumenta su volumen, por lo tanto, el agua es el agente de dilución. Este proceso tiene gran importancia, porque reduce la concentración de compuestos tóxicos, que no están sujetos a descomposición natural.

El fenómeno de autodepuración incluye procesos muy dinámicos, que no es producto del agua como agente físico solamente, sino de un conjunto de factores propios del ecosistema, como es la descomposición de la materia orgánica.

La mayor parte de las alteraciones de carácter ecológico producto de la contaminación derivan del mismo proceso de descomposición, que es la disminución de la concentración de oxígeno disuelto y no de la incorporación del desecho por sí solo (a excepción de los desechos tóxicos).

Por tanto la expresión de autodepuración, es una denominación inadecuada para demostrar las diferentes etapas ecológicas, que van desde la incorporación de los desechos hasta la recuperación del estado original del ecosistema acuático, dando origen más bien a un proceso de estabilización de compuestos complejos e inestables en el medio.

Tanto el agua de los lagos como de los ríos se recuperan rápidamente de los desechos indeseables, siempre y cuando no exista una sobrecarga de los contaminantes y el flujo de agua no sea muy reducido.

INDICADORES DE LA CONTAMINACIÓN DE AGUAS

La diagnosis y vigilancia de los procesos de contaminación y eutrofización es uno de los temas que en la actualidad concita muchos esfuerzos para la determinación e interpretación de los grados de alteración de los ecosistemas acuáticos.

Hasta la fecha se han realizado muchos trabajos sobre este tema utilizando generalmente métodos basados en análisis físicos y químicos, los cuales no consideran el efecto regulador de la naturaleza para estabilizar las consecuencias en el medio, ya que son testigos solamente de condiciones ambientales momentáneas.

En la actualidad existen otros parámetros a tomar en cuenta que se basan principalmente en la caracterización biológica del agua, empleando la composición y estructura de las comunidades de organismos, que responden a todos los factores que componen o alteran el ecosistema.

Algunos de los métodos físicos, químicos y biológicos más utilizados para determinar la calidad del agua son:

Métodos físico - químicos

Dada la diversidad de los contaminantes de las aguas, muchas veces es útil disponer de un índice agregado, que refleje las con-

diciones generales de calidad de un cuerpo de agua, o sea un indicador de calidad.

Entre los indicadores más aceptados, se destaca el índice desarrollado en los Estados Unidos de Norte América denominado "índice de calidad de aguas" que es un indicador compuesto por nueve parámetros de calidad como ser: coliformes fecales, pH, DBO₅, nitrógeno total, fosfato total, temperatura, turbidez, residuo total y oxígeno disuelto.

Este índice asume un valor de 0 - 100, que está asociado a las siguientes categorías de calidad:

80	-	100	óptima
52	-	79	buena
37	-	51	aceptable
20	-	36	mala
0	-	19	pésima

Algunos parámetros utilizados habitualmente para describir la calidad de los cuerpos de agua ya son indicadores agregados, como es el caso de:

- **Demanda Bioquímica de Oxígeno:** es la cantidad de oxígeno necesaria para promover la oxidación de la materia orgánica, a través de la acción de microorganismos. La oxidación degrada la materia orgánica en sustancias como el NH₃ (amoníaco) y el CO₂ (dióxido de carbono). El ensayo de la DBO determina que la medición se realice en laboratorio durante un período de cinco días a 20°C, de ahí la terminología DBO 5 días o DBO₅, normalmente expresada en mg/l.
- **Demanda Química de Oxígeno:** refleja el consumo de oxígeno en la oxidación química de la materia orgánica, que se determina a través de un ensayo de laboratorio, las muestras son atacadas con oxidantes químicos, como el dicromato de

potasio cuyo resultado expresado en mg/l, generalmente es más elevado que la DBO.

- **Conductividad Eléctrica:** indica la presencia de sales en el agua, aumentando la capacidad de transmitir corriente eléctrica, propiedad que se utiliza en mediciones de campo o de laboratorio, expresadas en micro Siemens por centímetro (μS/cm).
- **Nutrientes:** El nitrógeno y el fósforo son esenciales para el crecimiento de las plantas y algas, pero en cantidades excesivas provocan la eutrofización.
 - **Nitrógeno total y amoniacal:** en aguas contaminadas pueden existir nitratos y nitritos, procedentes de la degradación de la materia orgánica, oxidación del amoníaco y de los fertilizantes.
 - **Fósforo:** se encuentra de forma natural en el agua proveniente de la degradación de la materia orgánica y en las aguas residuales procede de los excrementos y de los detergentes.

Métodos biológicos (bioindicadores)

Las especies indicadoras, son aquellos organismos (o restos de los mismos) que ayudan a descifrar cualquier fenómeno o acontecimiento actual (o pasado) relacionado con el estudio de un ambiente. Las especies tienen requerimientos físico-químicos de estructura del hábitat y de relaciones con otras especies.

A cada especie o población, le corresponden determinados límites de estas condiciones ambientales, entre los cuales los organismos pueden sobrevivir (límites máximos), crecer (intermedios) y reproducirse (límites más estrechos). Por lo tanto, cuanto más

estrechos sean sus límites de tolerancia, mayor será su utilidad como indicador ecológico.

Tratándose de aguas corrientes, los indicadores biológicos casi siempre son referidos a grupos de organismos que responden fisiológica o conductualmente a un amplio espectro de sustancias y/o concentraciones tóxicas, sean éstas de origen orgánico e inorgánico, natural o de influencia humana.

CARACTERÍSTICAS DE LOS BIOINDICADORES

Antes de seleccionar indicadores empleando organismos acuáticos, se deben definir qué factores ambientales o para qué tipo de contaminación se quiere una indicación.

Generalmente todas las especies pueden ser o pueden actuar como indicadores de algo, pero es necesario, el conocimiento de la autoecología de las especies por eso es importante seleccionar los organismos que potencialmente sean los más útiles para un problema en particular.

Para ello es necesario determinar las características generales que deben tener los bioindicadores ideales, ya que su presencia o ausencia indicarán los problemas ambientales, los cuales deben ser parámetros muy angostos e inequívocos.

Según BERVOETS (1996) un buen indicador biológico debe ser:

- De fácil y rápida identificación taxonómica
- De muestreo fácil y cuantificable
- De distribución universal
- Contar con datos sobre la autoecología de los organismos
- Preferiblemente de importancia económica
- Que acumulen fácilmente contaminantes

- Muy manipulables en laboratorios
- De baja variabilidad genética

Los organismos o grupos de organismos más utilizados como indicadores de contaminación son: bacterias, protozoos, algas, peces y macroinvertebrados.

Macroinvertebrados acuáticos

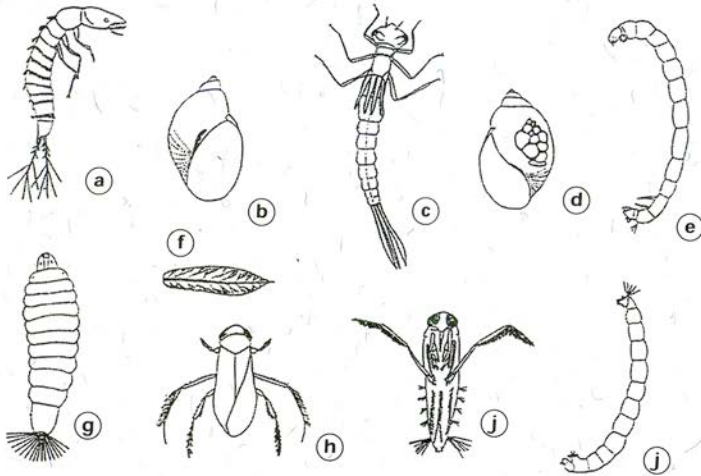
El grupo de los macroinvertebrados comprende a los animales que en sus últimos estados larvarios alcanzan un tamaño igual o superior a 1 mm, pertenecientes a la siguiente taxa: Insecta, Mollusca, Oligochaeta, Hirudinea y Crustacea (Amphipoda, Isopoda y Decapoda). Cualquier tipo de sustrato en el río puede suministrar un hábitat adecuado a estos organismos, incluyendo piedras, gravas, arenas, fangos, detritus, plantas vasculares, algas filamentosas, etc.

Los macroinvertebrados son razonablemente sedentarios, su vida es larga en comparación con la de otros organismos, de modo que sirven para estudiar cambios durante largos períodos. El grupo es tan heterogéneo que una sola técnica de muestreo recoge muchas especies distintas, posibilitando que algunos de ellos respondan a un determinado cambio de condiciones ambientales.

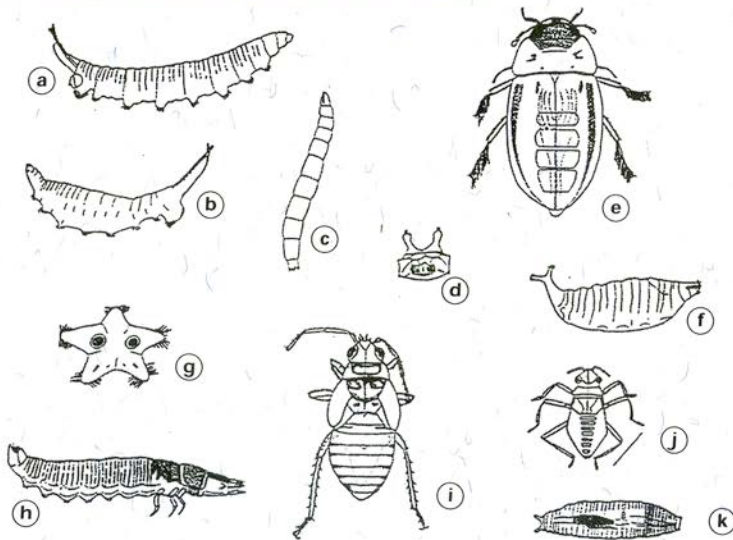
Su uso en algunos sistemas acuáticos demostrará que no sólo son destacados indicadores de la salud del ecosistema, sino también potenciales centinelas de la salud humana.

También pueden utilizarse con éxito en la evaluación de la eficacia de las acciones correctoras que se requieren adoptar en determinados casos de alteración del ecosistema.

Macroinvertebrados acuáticos



(a) *Antiporus* sp.; (b) *Simlimnaea tormentosa* (Gastropoda); (c) *Ischnura auro-ra*; (d) *Physa fontinalis* (Gastropoda); (e) *Chironomus zealandicus*; (f) Branquia de ninfa de *Ischnura*; (g) *Odontomyia* sp.; (h) *Sigara* sp.; (i) *Anisops wakafieldi*; (j) *Chironomus cylindricus*.



(a) Larva de *Ephydrella*; (b) Pupa de *Ephydrella*; (c) *Erioptera* sp.; (d) *Scatella*; (e) *Enochrus* adulto; (f) Larva de *Erioptera*; (g) Larva de *Scatella*; (h) *Enochrus* larva; (i) *Salduia* sp.; (j) *Microvelia* sp.; (k) Pupa de *Scatella*.

Fuente: Winterbourn, 1968.

BIOMONITOREO DE LA CALIDAD DEL AGUA

El empleo de la biota para evaluar y monitorear la calidad del agua se ha incrementado considerablemente durante los últimos años. Un alto número de agencias ambientales en todo el mundo emplean métodos para la evaluación de la calidad del agua basados en la utilización de comunidades biológicas (BARBOUR *et al.*, 1999).

Principalmente, se utilizan los seres vivos para monitorear la calidad del agua, por el relativo bajo costo y lo sencillo de implementar este tipo de estudios, en comparación con los análisis químicos o de toxicidad que son muy costosos.

La contaminación de un sistema acuático se refleja en las poblaciones a través del desarrollo simultáneo de tres clases de fenómenos: modificación de la estructura poblacional, aparición y proliferación de nuevas especies asociadas a determinados contaminantes y a la extinción gradual de la totalidad o parte de la población inicial.

Las etapas de estos fenómenos, pueden ser identificadas por organismos indicadores o por comunidades típicas de cada período. Es importante mencionar que intervienen en el proceso innumerables factores físicos, químicos, energéticos y biológicos. Por lo tanto, es fundamental comprenderlos e interpretarlos adecuadamente.

De los organismos que habitan en ambientes lóticos las algas y los macroinvertebrados acuáticos son los grupos que más se emplean actualmente para monitorear la calidad del agua.

Las comunidades de algas son adecuadas por presentar ciclos de vida corta, característica que las hace indicadores adecuados para impacto a corto plazo, ya que son afectadas directamente por factores físico-químicos y son sensibles a contaminantes que no tienen efecto sobre organismos heterotrófos, como en el caso de las herbicidas.

Las comunidades de macroinvertebrados son buenos indicadores de alteraciones locales, ya que muchos organismos bénticos tienen patrones de migración limitados o son sésiles. Son importantes también porque reflejan cambios trascendentales en el ciclo de vida de los insectos, lo que permite que en períodos de tiempo relativamente cortos, sean perceptibles a los cambios ambientales acumulativos.

Las órdenes de insectos acuáticos más utilizados para realizar estudios de calidad de agua son: Ephemeroptera, Trichoptera y Plecoptera, por ser muy sensibles a cambios en el pH y en la baja de oxígeno.

Los Ephemerópteros pasan casi toda su vida en el agua, donde sirven de alimento a muchos otros organismos (peces y otros insectos), son sensibles a la acidificación, reduciendo su diversidad y densidad en zonas con bajo pH, por ello, las ninfas de Ephemerópteros se consideran indicadores útiles para la calidad en sistemas acuáticos.

Los Plecópteros, son también intolerantes a la contaminación del agua y a la deficiencia de oxígeno, presentando una fuerte disminución de especies en sitios contaminados (LANG *et. al* 1989). Aunque, son un poco más tolerantes a la acidificación que los Ephemerópteros.

A su vez, el orden Trichoptera es un componente clave en la estructura trófica de los arroyos, donde muestran una gran diversidad ecológica, sus larvas se alimentan de algas y detritos. Son uno de los principales componentes en la dieta de muchas aves y peces.

Muchas de sus especies son tolerantes a la contaminación, sin embargo, existen especies que son altamente sensibles.

Las especies que conforman la biota acuática varían de región a región, por lo tanto requieren del conocimiento previo de la flora y la fauna, que servirá de patrón para confrontar los estudios de bioevaluación. La búsqueda de prospecciones de las comunidades acuáticas será la base de los estudios de biomonitoreo.

Por otra parte el monitoreo basado en indicadores biológicos puede ser de:

Reconocimiento preliminar: determina las condiciones antes y después de un impacto (descarga de sustancias tóxicas para evaluar los efectos en las especies, poblaciones o comunidades).

Evaluaciones regulares: permite conocer permanentemente el grado de toxicidad existente en la corriente, para garantizar que no excedan los niveles autorizados de descargas industriales.

MÉTODOS BIOLÓGICOS PARA MONITOREAR LA CALIDAD DEL AGUA

El biomonitoreo que emplea organismos acuáticos como indicadores tiene diferentes niveles de intensidad de trabajo que cubren los diferentes rangos (temporal y espacial), desde la identificación de una sola especie con el fin de analizar sus órganos o sistemas ante la presencia de sustancias agresivas, pasando por poblaciones específicas, comunidades o por el ecosistema fluvial en su integridad.

Si se elige como referencia, una especie en particular para realizar el biomonitoreo, se debe tomar en cuenta las características morfológicas (detección de deformidades) o fisiológicas (medir el estrés).

Entre los métodos que pueden utilizarse con los organismos indicadores tenemos los:

Métodos fisiológicos y bioquímicos

Son métodos basados en las respuestas fisiológicas o bioquímicas que presentan los organismos a un determinado ambiente, entre los que podemos mencionar:

- Producción y consumo de oxígeno por las comunidades
- Respiración y crecimiento de organismos suspendidos en el agua
- Estudios sobre efectos de enzimas
- Evaluación de los efectos tóxicos en condiciones de laboratorio
- Evaluación de los efectos de las aguas y efluentes sobre organismos definidos

Bioacumulación

Los organismos bioacumuladores, tales como los macroinvertebrados de gran tamaño, son a menudo llamados "centinelas". Estos acumulan en sus tejidos contaminantes que pueden ser absorbidos junto a los alimentos.

Los estudios sobre bioacumulación se pueden realizar basándose en:

- Bioacumulación de sustancias en los tejidos de los organismos
- Observación de cambios histológicos y morfológicos
- Pruebas de desarrollo embriológico de etapas iniciales de vida

Índices bióticos

Cuando se trata de poblaciones de diferentes especies se debe analizar el grado de tolerancia o sensibilidad de estos grupos a un determinado contaminante; generalmente, a estos se les reconoce como "Índices bióticos".

Se entiende por "índices bióticos de la calidad del agua", a los diferentes tipos de medidas respecto a la estructura, composición y función de la comunidad acuática, los mismos que pueden ser agrupados en las siguientes categorías:

- *Diversidad interespecífica*
- Conteo de órdenes selectas EPT (Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera)
- Evaluación de grupos funcionales
- Índices de similaridad entre comunidades

Otro tipo de índices *bióticos* parte de una muestra lo más completa posible, asociando datos cualitativos y cuantitativos. Los organismos bioindicadores tienen un valor asignado de acuerdo a su tolerancia o intolerancia a los contaminantes. La suma de los valores individuales da otro valor, que indica la característica de la calidad del agua, correspondiente al lugar muestreado.

MÉTODOS DE PREVENCIÓN Y LIMPIEZA

Los métodos de **prevención** para cualquier tipo de contaminación, son más efectivos y más baratos a largo plazo que cualquier otro método de limpieza y recuperación de los ecosistemas acuáticos; para lo cual es necesario tomar en cuenta sus características.

A continuación se presentan como ejemplos, los métodos de prevención para dos tipos de contaminación:

Contaminación orgánica: es más importante en lagos y/o cualquier tipo de embalse, ya que la dilución es menos efectiva que en aguas corrientes. Por ello, es necesario prevenir el vertido de estos desechos, mediante tratamiento previo para remover fosfatos, los mismos que provienen de desechos industriales y domésticos.

Por lo tanto, se debe establecer límites bajos de fosfatos y detergentes.

Es también de imperiosa necesidad, prevenir el vertido de agentes patógenos provenientes de descargas cloacales, ya que estos, causan graves problemas a la salud del hombre y a los animales domésticos.

Contaminación con petróleo: este tipo de contaminación tiene efectos catastróficos para los ecosistemas, dependiendo del tipo de petróleo derramado (crudo o refinado), o la cantidad liberada.

Otras sustancias similares al petróleo, pueden causar diversos efectos que de una u otra manera terminan con la vida de los organismos.

La prevención en el manejo del petróleo es muy importante y se debe reglamentar la perforación y el transporte en áreas ecológicamente sensibles, así como establecer procedimientos de seguridad y operación de las refinerías y plantas.

En el caso de los derrames de petróleo, es necesario tomar en cuenta todos los métodos disponibles (tratamiento con sustancias químicas dispersantes, quema de los componentes volátiles del petróleo, extracción por diferentes métodos, etc.).

EFECTOS DE LA CONTAMINACIÓN EN LA SALUD

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), el 80% de las enfermedades infectoparasitarias gastrointestinales y una tercera parte de las defunciones causadas por ellas, se deben al uso y consumo de agua insalubre, también reconoce este organismo que sólo un 41% de la población mundial consume agua tratada y desinfectada como para ser considerada "segura".

La contaminación del agua se ha convertido en un problema de salud pública, debido a que al ingerir alimentos con agua sucia puede provocar desde enfermedades del aparato digestivo como diarrea, tifoidea, cólera, hasta meningitis, encefalitis, síndromes respiratorios y hepatitis.

Un ejemplo de la contaminación de aguas en nuestro país, son los altos índices de mortalidad no natural que presenta el Departamento de Oruro, que se deben principalmente a enfermedades respiratorias y gastroenterológicas, estas últimas tienen relación con la calidad del agua, la exposición de las personas a metales tóxicos por medio de la ingestión de agua, aire o a través del consumo de alimentos, constituyendo la mayor amenaza originada directamente por las actividades mineras. La ausencia de investigaciones toxicológicas y estadísticas dificulta cualquier evaluación definitiva sobre el problema (MÖELLER, 2002).

La concentración de minerales excede frecuentemente los valores estándares por lo que se estima que, debido a la intoxicación que causan los metales, posiblemente se esté afectando a la salud de la población en general y no solo a la de los mineros.

La salud de los trabajadores que cumplen actividades aguas abajo se ve afectada también debido a que el agua del río, que se utiliza para el procesamiento manual, está mezclada con aguas servidas y con productos químicos tóxicos como xantatos, aceites sucios, kerosén y ácido sulfúrico.

CONTAMINANTES DEL AGUA QUE CAUSAN DAÑOS EN LA SALUD HUMANA

Contaminantes	Efectos en la salud
Ácidos (Sulfúrico, clorhídrico, nítrico, etc.) y bases	Irritación de las mucosas del aparato digestivo
Solventes (como thinner, aguarrás, gasolina, etc.)	Envenenamiento
Fertilizantes	Intoxicación que produce enfermedades gastrointestinales
Detergentes	Daños en el aparato digestivo
Desechos orgánicos (como heces fecales y restos de comida)	Infecciones y parasitosis
Desechos de construcciones (arena, cemento, yeso)	Intoxicación y daños digestivos
Envases de plástico	Ninguno

CONTAMINACIÓN DE AGUAS EN BOLIVIA

En Bolivia, la contaminación de los ecosistemas acuáticos se da principalmente en los ríos y lagos, producto de los vertidos principalmente de la minería, seguido de la industria, de los desechos domésticos y de la utilización de agroquímicos que son derramados en los ríos sin tratamiento alguno, incidiendo en la salud humana, particularmente en las poblaciones de áreas rurales.

Estudios de impacto ambiental ocurridos en varios departamentos de Bolivia indican que en el año 2000 se produjo la ruptura del oleoducto Valle Hermoso (Cochabamba), Sica Sica (La Paz).

Sobre el lecho del Río Desaguadero fueron derramados 29 780 barriles de petróleo crudo (mezclado y condensado), afectando más de un millón de hectáreas en una distancia de 170 km. El derrame ha generado impactos de orden ambiental, agronómico, económico y social (MONTTOYA, 2002).

Contaminación en el Departamento de La Paz

Las deficiencias más alarmantes en el tratamiento de las aguas residuales industriales se observan en las industrias ubicadas en el norte de la ciudad de La Paz. La mayoría de las grandes plantas no realizan ningún tratamiento de aguas residuales, ninguna de las industrias que descargan sus efluentes líquidos ya sea a un río, cuerpo receptor o a una alcantarilla de esta ciudad cumplen con los requisitos establecidos por la Ley No. 1333.

El 100% de las industrias tiene descargas con olores ofensivos, 58% vierten aguas con colores que sobrepasan las normas, 83% descargan sólidos sedimentables por encima de 1 (mg/l), el 67% descargan aguas sin oxígeno disuelto, 10% sobrepasa el límite establecido para la DQO y el 83% para la DBO. En términos relativos el 30% de estas industrias estaría provocando una contaminación de carácter bioquímico (materia orgánica) y el 70% restante contaminación química.

En la ciudad de El Alto, el 40% de las industrias sobrepasan la norma en cuanto a temperatura, el 20% al color, el 60% al pH y el 40% a sólidos sedimentables, sobre el porcentaje de materia orgánica o compuestos químicos. Se deduce que el 80% de las industrias descargan compuestos químicos y un 20% materia orgánica.

Contaminación en el Departamento de Santa Cruz

En la zona de Cuchiri (1999) ocurrieron impactos contaminantes provocados por el derrame de petróleo. Asimismo el año 1998, la construcción de gaseoducto Bolivia-Brasil, cuyo diseño atraviesa el Pantanal boliviano causó también impactos negativos al medio ambiente y problemas socioeconómicos y culturales en las regiones donde se implementó el gaseoducto.

Respecto a los desechos domésticos e industriales, este departamento cuenta con un parque que tiene un sistema de tratamiento colectivo de las aguas residuales; los principales problemas de esta instalación son las obstrucciones del equipo por grasas y el incremento de los niveles de cromo en las lagunas, debido a las instalaciones de curtiembres. Los crecientes niveles de cromo pueden causar daños a los microorganismos de las lagunas.

Los ingenios azucareros, tienen como residuos industriales contaminantes, la cachaza (proveniente de la fabricación del azúcar), la vizaza destilería) el bagazo y/o bagacillo (molienda de la caña) y las aguas de limpieza de las fábricas. La mayoría de estos ingenios no cuentan con ningún tipo de tratamiento de efluentes y menos aún con lagunas de oxidación.

Contaminación en el Departamento de Cochabamba

El principal problema en el Departamento de Cochabamba son las curtiembres, aunque la mayoría de ellas cuentan con sistemas de tratamiento en forma separada (desechos sanitarios, pluviales e industriales) sin embargo, algunas industrias persisten en descargar efluentes de curtidos sin tratamiento en el Río Rocha, lo cual contribuye en gran medida a su contaminación.

En el trópico cochabambino operan varias empresas petroleras que están desarrollando trabajos de prospección, exploración,

explotación, transporte de petróleo y otros. Estas actividades pueden causar impactos ambientales negativos sobre el agua, flora, fauna, suelos y la salud humana (MAMANI, 2003).

Paralelamente se han denunciado otros daños en la misma región, causados por la perforación del pozo exploratorio de Villa Tunari, cuyos crudos y lodos fueron vertidos al Río San Mateo.

Contaminación en el Departamento de Oruro

La contaminación del agua en la Fundición de Vinto incluye la presencia de metales pesados, ácidos, fenol y cresol. Actualmente esta fundición cuenta con una nueva planta de tratamiento de efluentes, diseñada para producir efluentes lo suficientemente limpios como para ser reciclados dentro de la planta.

Estudios realizados indican que en el Río Desaguadero existen valores altos de arsénico y concentraciones relativamente altas de cobre en la región de Chuquiña, superiores a los límites permisibles para agua potable. Las concentraciones mayores de arsénico se encontraron en Ayamaya, Chuquiña y el brazo derecho del río, también se hallaron concentraciones altas en los canales de riego, lo que significa un riesgo directo para cultivos agrícolas. Cerca del poblado de Pópoo hay concentraciones elevadas de metales en sedimentos, especialmente cadmio, cobre, plomo y zinc que se encuentran muy por encima de los límites recomendado en suelos agrícolas (MOELLER, M. 2002).

En el Lago Uru Uru, se reportan también valores altos de arsénico sobre límites para agua potable, se han medido valores altos de cadmio y plomo semejantes a la entrada del río Desaguadero.

En resumen, las concentraciones altas de metales pesados por sedimentos son en primer lugar: el arsénico, el cadmio, el plomo, el antimonio y en pocos lugares el zinc (MOELLER, M. 2002).

Contaminación en el Departamento de Tarija

Debido a los actuales e intensivos trabajos de exploración y perforación petroleras, estas actividades se convierten en una potencial amenaza de contaminación de los recursos hídricos de la región y principalmente en la Serranía del Aragua.

El impacto que produce la actividad petrolera se manifiesta a través de la presencia de efluentes químicos de lodos que afecta la

hidrología de la zona, estos afluentes obstruyen arroyos y quebradas generando alteraciones el agua y niveles de contaminación química y tóxica en los pobladores, los animales y la vegetación (MAMANI, 2003).

Otro impacto evidente, es la contaminación de las fuentes de agua que contienen trazas de hidrocarburos y que ponen en riesgo la subsistencia del ganado, debido a que éste consume agua directamente de las quebradas y ríos.

GLOSARIO

Acidificación: Adición de hidrogeniones a una disolución en cantidad suficiente para que su pH resulte inferior a 7.

Agentes tensoactivos: Que son sustancias que disminuyen la tensión superficial de los líquidos.

Aguas residuales: Vertidos de núcleos urbanos, de industrias, o de actividades agrarias constituidos por agua y residuos procedentes del uso que se haya dado a aquella.

Autodepuración: Poder de recuperación de una corriente o de una masa de agua ante un vertido contaminante.

Autoecología: Rama de la ecología, que estudia las relaciones entre los individuos y su medio.

Bacteria: Denominación genérica de los microbios unicelulares de forma alargada (bacilos), esférica (cócos) o espiral (espirilos), que carecen de membrana nuclear y se alimentan como los vegetales.

Béntico: Comunidad de organismos que viven en el sustrato de los ambientes acuáticos.

Bioacumulable: Acumulación o depósito de una sustancia por un organismo vivo, el fenómeno tiende a darse con mayor intensidad según se asciende de nivel en una cadena trófica.

Biodegradable: Sustancia que puede descomponerse por la acción de sistemas enzimáticos de bacterias u otros organismos, o a la capacidad que tienen los microorganismos para descomponer la materia orgánica.

Bioindicador: Organismo vivo que se utiliza para revelar la importancia de la contaminación del agua o del aire.

Biomonitoreo: Vigilancia continua de un afluente (o una descomposición del mismo) usando organismos vivos para corroborar la calidad del agua. Esta prueba se realiza en situ.

Cationes: Ión de cargas positivas, que en un líquido sometido a un potencial eléctrico afluye al polo negativo o cátodo.

Conductividad: Propiedad que tienen los cuerpos de transmitir el calor o la electricidad.

Copagira: Aguas ácidas cargadas de sales de hierro y cobre, que emanan de las fracturas y fisuras de las minas.

Descomposición: Ruptura de la materia orgánica por bacteria y hongos, para cambiar la apariencia de la estructura física de la materia orgánica.

Diagnosis:	Descripción de cualquier especie o género de forma detallada o la determinación de la calidad de un ambiente acuático.
Enzimas:	Macromolécula de naturaleza proteica que cataliza de forma específica reacciones bioquímicas muy variadas.
Eutrofización:	Aumento de materias nutritivas, especialmente de fósforo y nitrógeno en las aguas. Puede tener su origen en aguas residuales, en el lavado de sustancias alimenticias y en la erosión del suelo.
Indicador biológico:	Especie animal o vegetal, que es reflejo del grado de contaminación del medio en que viven.
Indicador de calidad del agua:	Parámetro que proporciona una evaluación cualitativa de las variaciones provocadas por el uso de líquido.
Índices bióticos:	Parámetro utilizado para clasificar caudales de agua dulce, según el tipo de comunidad de invertebrados presentes en el agua.
Metales pesados:	Metales con densidad superior a 4,5 son componentes contaminantes de primer orden.
Ninfas:	Estadio transitorio entre el huevo y el adulto de algunos insectos.
Nitrobacteria (Nitrobacter):	Bacteria que transforma los compuestos amoniacales en nitratos.
Organoléptico:	Propiedades de los cuerpos que se perciben con los sentidos, como la aspereza, el sabor o el brillo.
pH:	Es un término universalmente usado para expresar la intensidad de la condición ácida o alcalina de una solución, más exacta es la manera de expresar la concentración de iones hidrógeno.
Protozoos:	Animales unicelulares, la mayoría de tamaño microscópico.
Septicización:	Potencialidad para producir malos olores.

Solubilidad:	Concentración de un soluto en una disolución saturada en condiciones dadas de temperatura, presión y concentración de otros solutos presentes.
Taxa:	Nombre que se da genéricamente a cualquier categoría sistemática. Clasificación de todos los seres vivos en una serie de categorías, de acuerdo a sus afinidades naturales.
Xantatos:	Sal de un ácido xántico.

BIBLIOGRAFÍA

- ADAME ROMERO, AURORA. 1995. Contaminación Ambiental Editorial Trillas, Méjico D. F.
- ALBA - TERCEDOR, J. 1994. Entomólogo y los problemas de degradación de los sistemas acuáticos. España.
- ALBA - TERCEDOR, J. 1988. Un Método Rápido y Simple para Evaluar la Calidad Biológica de las Aguas Corrientes. España.
- MAMANI QUIQUINTA, WALTER. 2003. Contaminación del Agua e Impacto por actividad Hidrocarburífera en la Serranía Aguaragüe. Editorial Offset Boliviana Ltda. La Paz, Bolivia.
- MÖELLER S. HANS. 2002. Dinamitas y Contaminantes. Editorial Offset Boliviana Ltda. La Paz, Bolivia.
- MONTOYA, CH. JUAN CARLOS. 2002. Efectos Ambientales y Socio Económicos por el Derrame de Petróleo en el Río Desaguaderos. Editorial Offset Boliviana Ltda. La Paz, Bolivia.
- NEBEL, BERNARD J. 1999. Ciencias Ambientales. Editorial Prentice Hall, Méjico D.F.