



Universidad de Chile.
Facultad de Cs. Físicas y Matemáticas.
Dpto. de Ingeniería Química.
IQ588 – Elementos de contaminación atmosférica

Trabajo Práctico IQ588
Tema: Lluvia Ácida y Eutrofización

Alumnos Rodrigo Caro Elgueta
 Gabriela Céspedes Viñuela
Fecha 25 de Junio de 2004
Profesor Christian Santana O.

Índice.

<i>Índice.</i>	2
<i>Introducción.</i>	3
<i>1. Lluvia ácida.</i>	4
1.1. Definición.	4
1.2. Causas de su aparición.....	4
1.3. Fuentes de emisión de SO _x y NO _x	5
1.4. Reseña Histórica.	5
1.5. Efectos.....	6
1.5.1 Efectos Económicos.	6
1.5.2 Efectos en ecosistemas.	7
1.5.3 Efectos en Salud Humana.	7
1.6. Descripción problema en Chile.	8
1.7. Estrategias de Control.....	8
<i>2. Eutrofización.</i>	9
2.1. Definición.	9
2.2. Causas de su Aparición.	9
2.3 Reseña Histórica.	11
2.4. Efectos.	12
2.5. Problema en Chile.	13
2.6. Solución del Problema.....	15
<i>3. Relación Lluvia Ácida y Eutrofización.</i>	16
<i>Conclusiones.</i>	17
<i>Bibliografía.</i>	18

Introducción.

El siguiente trabajo busca estudiar los fenómenos de lluvia ácida y eutrofización. El informe está dividido en dos grandes puntos, el primero trata el fenómeno de la lluvia ácida y el segundo el fenómeno de la eutrofización.

En cada una de las partes se estudiarán los conceptos, causas, fuentes de cada uno de estos fenómenos. Además, se describen los efectos que pueden causar tanto económicos, salud humana y en ecosistemas.

Finalmente se describen algunos tópicos relacionados con casos en Chile, para terminar con algunas de las estrategias de control de la lluvia ácida y de la eutrofización.

1. Lluvia ácida.

1.1. Definición.

El equilibrio natural del ácido carbónico con el agua, trae consigo que la lluvia normal sea ligeramente ácida, su pH suele estar entre 5 y 6. Se considera **lluvia ácida** a cualquier precipitación con una acidez mayor a la normal, es decir, precipitaciones (roció, lluvia, niebla o nieve) que posean un pH inferior a 5.6.

1.2. Causas de su aparición.

Los principales causantes de este fenómeno son las emisiones, tanto naturales como antropogénicas de SO_x y NO_x . La figura 1 muestra un esquema de la formación de deposiciones ácidas, tanto húmedas (lluvia ácida) como secas.

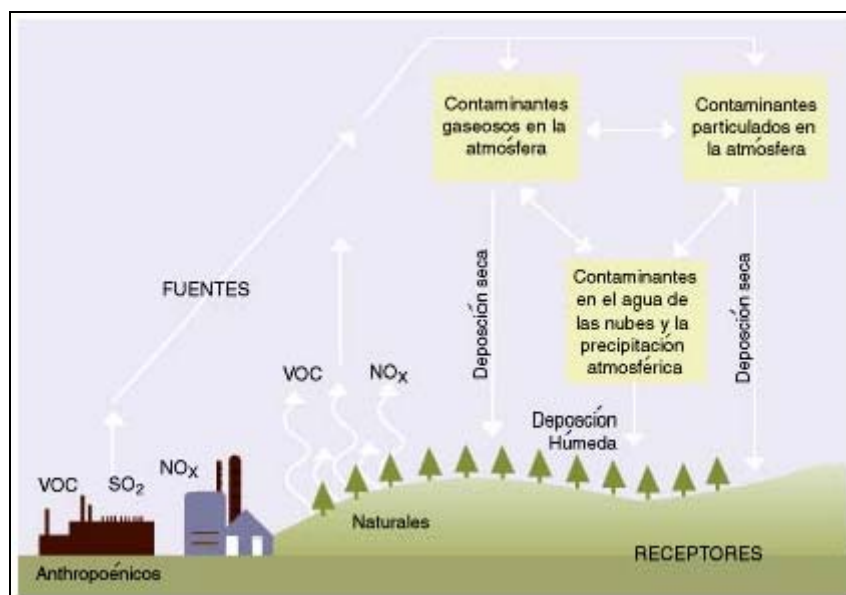


Figura N° 1: “Esquema de formación de deposiciones ácidas tanto húmedas como secas”.¹

En la figura 2 se muestran las principales reacciones que generan la lluvia ácida.

¹ Fuente <http://www.epa.gov/>.

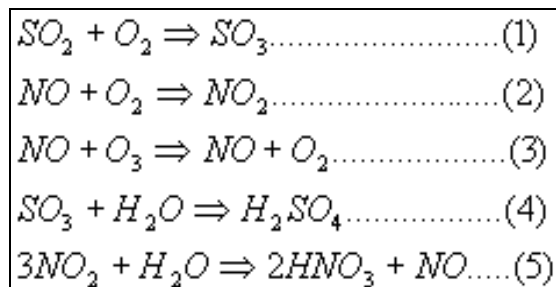


Figura N° 2: “Principales reacciones que generan la lluvia ácida”.

En estas reacciones podemos apreciar como los SO_x y NO_x reaccionan para formar los óxidos SO₃ y NO₂ respectivamente, luego estos óxidos reaccionan con facilidad con la humedad atmosférica para formar los ácidos sulfúrico y nítrico respectivamente. Estos permanecen en la atmósfera y le imparten características ácidas, para luego precipitar, generando mayor acidez en las áreas que reciben estas precipitaciones.

1.3. Fuentes de emisión de SO_x y NO_x.

Las fuentes de emisión de SO_x pueden ser divididas en 2, naturales y antropogenicas.

Fuentes naturales:

- Principalmente gases provenientes de erupciones volcánicas.

Fuentes antropogenicas:

- Gases provenientes de automóviles.
- Centrales térmicas.
- Calderas industriales de generación de calor.
- Explotación de minerales con contenido de azufre.

Las fuentes de emisión de NO_x pueden ser divididas en 2, naturales y antropogenicas.

Fuentes naturales:

- Procesos biológicos.
- Combustiones.
- Por fijación del N₂ al O₂ atmosférico.

Fuentes antropogenicas:

- Principalmente combustiones a altas temperaturas (por ejemplo: carbón, gas natural, petcoke, etc)
- Abonos nitrogenados
- Centrales térmicas.

1.4. Reseña Histórica.

Fenómenos de lluvia ácida han estado presentes a lo largo de la historia de la tierra, científicos especulan que extinción de los dinosaurios fue producto de la lluvia ácida. Pese a esto, no fue hasta la revolución industrial, cuando la lluvia ácida se transformo en un problema latente.

En algunos casos se ha producido la extinción de algunas especies de peces, debido al cambio en la acidez del medio, dañando así la economía del lugar.

La deposición seca de partículas ácidas contribuyen también a la corrosión de los metales (tales como el bronce) y al deterioro de la pintura y la piedra (tales como el mármol y la piedra caliza). Esos efectos reducen seriamente el valor de edificios, puentes, objetos culturales (tales como estatuas, monumentos y panteones) y automóviles, en estos últimos la lluvia ácida produce daños en la estructura y pintura del vehículo. .

1.5.2 Efectos en ecosistemas.

Los efectos ecológicos de la lluvia ácida se ven más claramente en los ambientes acuáticos, tales como arroyos, lagos y pantanales. Después de caer en los bosques, campos, edificios y caminos, la lluvia ácida fluye hacia los arroyos, lagos y pantanos, afectando los hábitats acuáticos. Si bien es cierto que cada ambiente acuático posee una capacidad de tamponado, que le permite contrarrestar fenómenos naturales de lluvia ácida, esta capacidad de tamponado se ha visto sobrepasada en muchos casos por la acidez de las precipitaciones. En EEUU el 75% de los lagos y el 50% de los arroyos poseen alto grado de acidez.

Este aumento de la acidez del agua que provoca la lluvia ácida daña la flora y la fauna de los ríos y los lagos. En Escandinavia, la acidificación ha destruido la población de peces y anfibios, ha generado malformaciones en éstos porque se redujo la capacidad de asimilar el calcio para los huesos. Esto a su vez rompe otros eslabones ecológicos que aumentan el daño, alterándose el equilibrio ecológico en grandes áreas.

A nivel del suelo, cuando la lluvia ácida cae en los bosques, cambia su pH. Los árboles reciben menos nutrientes de la tierra porque es demasiado ácida y eso hace que los bosques sean más vulnerables a la sequía, a las enfermedades y a las plagas de insectos.

Por otra parte al cambiar el PH de las aguas, se favorece la disolución mediante reacciones de oxido reducción de Aluminio y Mercurio en las aguas pudiendo afectar seriamente la salud humana y animal.

1.5.3 Efectos en Salud Humana.

Los efectos en la salud humana van íntimamente relacionados con los causantes de la lluvia ácida. Por un lado el daño directo de las partículas de SO_x y NO_x sobre la salud humana es bastante conocido. Por otra parte también existen efectos sobre la salud humana relacionados directamente con fenómeno de lluvia ácida. En la salud de las personas, la exposición prolongada a los aerosoles ácidos puede producir daños en las vías respiratorias y en los pulmones; se ha vinculado también con el aumento de problemas cardíacos y pulmonares, tales como el asma y la bronquitis. Por otra parte el menor PH de suelos y aguas, favorece la disolución de sustancias cancerígenas como el aluminio y el mercurio, pudiendo afectar la salud humana por esta vía también. El efecto directo es la observación de metales en la cadena alimenticia, provocando acumulación de Plomo en los huesos, riñones e hígado

1.6. Descripción problema en Chile.

Los problemas en Chile relacionados con la lluvia ácida no se encuentran concentrados en alguna zona del país en particular, sino más bien se presentan a lo largo de este. Además diferentes son las actividades industriales que causan los episodios en cada lugar, múltiples fuentes, fundiciones mineras, generadoras eléctricas, etc.

En Chile las medidas de control de emisiones de SO_x y NO_x han contribuido a disminuir los problemas relacionados con la lluvia ácida. Por otra parte también cabe destacar que en Chile, son pocos los registros existentes sobre casos de lluvia ácida en el país. Pese a esto a continuación se describen algunos de los casos de lluvia ácida en el país:

1. Valle de Puchuncaví recibe los contaminantes producidos en Ventana (ENAMI) y ENAP. Se cree que la lluvia ácida ha afectado la salud de las personas y el rendimiento de la agricultura del valle. Actualmente la existencia de un plan de descontaminación del complejo de Ventanas puede revertir este fenómeno.
2. Valle del Aconcagua recibe las emisiones de la fundición Chagres, ENAMI y ENAP.
3. Valle del río Loa (producto de la contaminación de Chuquicamata, Antofagasta, Taltal y Tocopilla). Principalmente ocasionado por actividad minera.
4. También se ha detectado lluvia ácida en Catemu, Valparaíso, Viña y Santiago.

Sin embargo es importante destacar que hasta el momento, el fenómeno de la lluvia ácida no representa un gran problema en el país, como sí lo es en zonas del norte de Europa y el este de EEUU. Además la normativa de las emisiones SO_x y NO_x es una buena herramienta para evitar fenómenos asociados a lluvia ácida.

1.7. Estrategias de Control.

En general las estrategias de control orientadas a abordar el problema de la lluvia ácida, consisten en controlar y disminuir las emisiones de SO_x y NO_x , sustancias que corresponden a los principales causantes de la lluvia ácida. Una de las más interesantes estrategias de control para la lluvia ácida es el “Acid Rain Program” dirigido por la EPA (US Environmental Protection Agency). La meta total del programa para la lluvia ácida es “reducir las emisiones de los llamados SO_x y NO_x , que corresponden las causas primarias de la lluvia ácida”. Para alcanzar esta meta en el costo más bajo para la sociedad, el programa emplea estrategias tradicionales como la regulación clásica (normas de emisión) y otras medidas innovadoras basadas en el control de la contaminación en base a reglas de mercado (Oferta y Demanda).

El sistema busca crear los espacios para que los diferentes agentes negocien y transen entre ellos los permisos de emisión asignados, de esta manera se logra una buena regulación reduciendo al mínimo el rol del gobierno, minimizando las distorsiones que se pudiesen generar en las señales de precios del mercado. Por otra parte se crean incentivos para que cada empresa disminuya las emisiones a niveles aún más bajos de la norma, con la posibilidad de recuperar la inversión en tecnología al vender parte de sus permisos. Junto a esto, se permite reducir las emisiones de forma opcional en aquellas empresas no reguladas, pudiendo vender parte de sus cuotas de emisión. De esta forma, el programa estimula el rendimiento energético (menos uso de combustibles → menores niveles de emisión) y la

prevención de la disminución incluso voluntaria de las emisiones, promoviendo la prevención de la contaminación y el uso de estrategias y tecnologías eficientes para el uso de la energía.

EPA ha instituido un software electrónico del mantenimiento de registros de transacciones, de manera de regular el sistema, de esta forma la EPA puede llevar registros de los límites de emisión de cada empresa. La implementación del plan se realizó por etapas, partiendo en 1995 para los SO_x y en 1996 para los NO_x.

2. Eutrofización.

2.1. Definición.

Un río, un lago o un embalse sufren eutrofización cuando sus aguas se enriquecen en nutrientes. Podría parecer a primera vista que es bueno que las aguas estén bien repletas de nutrientes, porque así los seres vivos podrían vivir más fácil. Pero la situación no es tan sencilla. El problema está en que si hay exceso de nutrientes, las plantas y otros organismos crecen en abundancia, luego cuando estos mueren, las aguas quedan de mal aspecto y mal olor, opacas y no dejan pasar la luz. El proceso de putrefacción consume una gran cantidad del oxígeno disuelto y las aguas dejan de ser aptas para la mayor parte de los seres vivos. El resultado final es un ecosistema casi destruido.

2.2. Causas de su Aparición.

Los principales contaminantes del agua son biológicos, químicos y físicos.

1. Contaminación biológica: incluye los desechos orgánicos, tales como materia fecal y restos de alimentos. Su acumulación se debe principalmente a la rápida urbanización y la falta de tratamiento de las aguas servidas. Un efecto importante de la contaminación biológica es el peligro que ésta implica para la salud ya que en las aguas ricas en materia orgánica de origen doméstico proliferan organismos que causan enfermedades tales como alergias, diarrea, tifus, hepatitis.

2. Contaminación química: incluye los compuestos químicos, orgánicos e inorgánicos, que llegan al agua, provenientes de las actividades domésticas, industriales y agrícolas. Muchos de ellos son tóxicos, tanto para el ser humano como para otros organismos. Algunos ejemplos de este tipo de contaminación son los fertilizantes, plaguicidas, derivados del petróleo, aceites, sales de metales pesados, solventes industriales, ácidos y sustancias corrosivas, entre otros. Cada una de estas sustancias tiene efectos negativos sobre los ecosistemas y sobre la salud de las personas.

Las aguas superficiales reciben cantidades excesivas de nutrientes (nitrógeno y fósforo en forma de NO₂ y P₂O₅), por los vertidos urbanos e industriales y el arrastre de abonos agrícolas.

El exceso de nutrientes provoca un crecimiento exagerado de algas y otras plantas acuáticas que al morir se depositan en los fondos y superficie. La descomposición de los restos de algas y plantas consume el oxígeno disuelto en el agua y la capa superficial impide la entrada de luz.

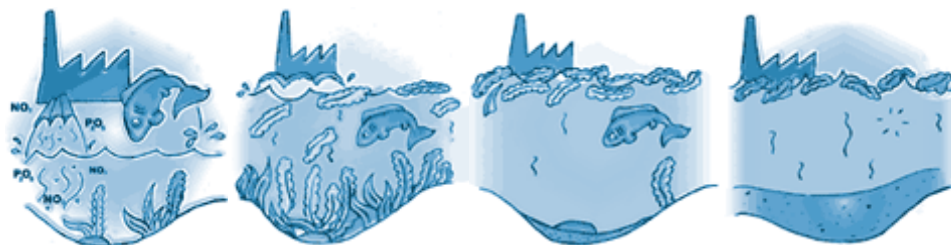


Figura N° 4: “Formación de la Eutrofización de las aguas.”

Las principales fuentes de eutrofización son:

a) **Eutrofización natural.** La eutrofización es un proceso que se va produciendo lentamente de forma natural en todos los lagos del mundo, porque todos van recibiendo nutrientes.

b) **Eutrofización de origen humano.** Los vertidos humanos aceleran el proceso hasta convertirlo, muchas veces, en un grave problema de contaminación. Las principales fuentes de eutrofización son:

- Los vertidos urbanos, que llevan detergentes y desechos orgánicos
- Los vertidos ganaderos y agrícolas, que aportan fertilizantes, desechos orgánicos y otros residuos ricos en fosfatos y nitratos.

Los residuos domésticos y los industriales suelen estar bien localizados, lo que permite la instalación de plantas de tratamiento y control que limiten los vertidos a los cauces naturales, aunque no cabe duda que resulte mucho más efectivo y económico reducir las emisiones en origen, mediante la utilización de tecnologías y materias apropiadas. En el caso de los residuos agrícolas, a causa de su carácter difuso y muy irregular, la depuración de los vertidos, la mayoría de las veces, no es aplicable, por lo que se corre el riesgo de constituir la principal causa de eutrofización. Ello obliga a tomar las medidas preventivas adecuadas, encaminadas a reducir la fuente de contaminantes.



Figura N° 5: “Fuentes de contaminación que producen la eutrofización de las aguas.”

La principal vía de entrada de los abonos en las aguas superficiales es a través de la escorrentía, que los arrastra en su mayor parte junto a las partículas de suelo, y también por lavado a las aguas subterráneas que después vierten en ríos y lagos. El contenido de fósforo y nitrógeno en el suelo es más alto en las capas superficiales, las cuales son las más erosionadas. Además, el proceso de erosión tiende a afectar más a las partículas finas que son las que contienen la mayor parte del nitrógeno y fósforo. Debido a esto, el sedimento erosionado tiene una mayor concentración de nutrientes que el suelo del que proviene, para el fósforo es frecuente entre 2 y 6 veces más y para el nitrógeno entre 2 y 8 veces.

2.3 Reseña Histórica.

Se cree que el hombre tenía conocimiento de la existencia de la eutrofización desde antes de la historia escrita. El hecho de que los aztecas de Tenochtitlan eligieron no disponer sus excretas en el lago de Texcoco, sino esparcirlas en la tierra, sugiere que conocían el efecto que ahora llamamos eutrofización. La eutrofización de los lagos europeos se había reconocido como un problema desde 1800; sin embargo, la eutrofización en ecosistemas marinos es de origen reciente. La falta de reconocimiento de este problema se debe al hecho de que se creía que debido a su comunicación con las aguas vecinas, el mar podía absorber todos los residuos, lo que no era posible en los lagos.

En las regiones costeras del mundo se ha incrementado el proceso de eutrofización; en los últimos 20 años las concentraciones de nitrógeno y fósforo en el mar se han duplicado y se han asociado a enfermedades como el cólera por el consumo de mariscos y peces contaminados por toxinas del fitoplancton (plantas microscópicas flotantes). Las principales causas de este enriquecimiento costero de nutrientes están asociadas, directa o indirectamente, con la necesidad de cubrir los requerimientos y deseos de la nutrición humana. El depósito o precipitación atmosférica del nitrógeno reactivo, emitido a la atmósfera por la combustión del petróleo y sus derivados, es también un factor humano importante.

La intensidad de la emisión del nitrógeno por aguas residuales, por el uso de pesticidas y fertilizantes, por los residuos del ganado y por la combustión del petróleo varía ampliamente entre los países del mundo. Los mayores emisores son Europa, el noreste de los Estados Unidos, India/Pakistán, Japón/Corea y el Caribe. Esta distribución geográfica coincide con muchas áreas donde la eutrofización se ha convertido en un problema. Las tendencias demográficas y sociales sugieren que las prácticas pasadas, que llevaron al enriquecimiento costero de nutrientes en los países desarrollados, se repetirán probablemente en las décadas futuras en los países en vías de desarrollo.

El dramático aumento en frecuencia e intensidad de este fenómeno justifica ampliamente este interés. Entre los años de 1970 a 1996 se registraron en el mundo 320 casos de DEAN². Por lo general, el DEAN resulta de una rápida reproducción y dominio localizado del fitoplancton, y de algunas especies de algas que producen potentes toxinas o biotoxinas

² Desarrollo Explosivo de Algas Nocivas.

que pueden causar daño a muchas formas de vida marina. Los DEAN pueden afectar una amplia variedad de recursos marinos y alterar dramáticamente las relaciones ecológicas entre especies, así como persistir en sus efectos nocivos durante mucho tiempo, aunque ya hayan desaparecido. Uno de los DEAN más conocido es la *marea roja*, que ha sido bautizada con ese nombre por la coloración que le da al agua; sin embargo, el término es a menudo usado para describir desarrollos explosivos tóxicos cualquiera que sea su color, el cual dependerá de la especie del organismo involucrado en ese evento.

2.4. Efectos.

La eutrofización de las aguas de ríos y lagunas hace al agua inadecuada para muchos usos y afecta negativamente la recreación y al turismo. Esto se debe a la aparición de malos olores y aguas estancadas, al aumento de las poblaciones de insectos y el crecimiento desmedido de la vegetación litoral que impiden la natación, navegación, pesca y esparcimiento.

Contaminación de productos del mar. Algunas de las algas que se desarrollan anormalmente en las aguas, especialmente ciertas cianofíceas, emiten sustancias tóxicas que pueden matar a los mariscos y peces, hacer que estos no sean aptos para el consumo humano o, directamente, dar al agua sabores desagradables o hacerla inadecuada para el consumo. El crecimiento de algas puede afectar también al uso recreativo de embalses y lagos, a la circulación del agua en ríos y canales y obturar los filtros de estaciones de tratamiento del agua.

Enfermedades relacionadas con la natación.

Pueden ocurrir varios tipos de infecciones por nadar en aguas contaminadas; las dos más comunes son gastroenteritis y hepatitis, que son muy contagiosas. Otras enfermedades incluyen infección de la piel, de los ojos, del oído externo, picazón, erupciones por picaduras por medusas y amebaencefalitis (en agua dulce).

Vida Silvestre.

Las poblaciones de cetáceos —ballenas, marsopas y delfines— y de pinípedos —focas, leones y elefantes marinos, y morsas— han sido impactadas severamente por algas tóxicas y epidemias virales.

La biomasa de los DEAN puede hacer a las poblaciones de peces más susceptibles a las enfermedades, conjuntamente con la falta de oxígeno proveniente de la contaminación. La mortalidad masiva de peces es motivo de preocupación en términos de la alteración de la ecología, disponibilidad de alimento, y otros factores que alteran la economía.

Los hábitats han sido también seriamente afectados por la eutrofización. La historia de las enfermedades de los pastos marinos provee ejemplos dramáticos del potencial de propagación de las epidemias marinas; los corales, complejos ecosistemas que contienen la más grande biodiversidad de vida marina, y que producen más biomasa viviente que cualquier otro ecosistema marino tropical, se enfrentan a muchas amenazas.

2.5. Problema en Chile.

Salmonicultura. La acuicultura genera diversos y múltiples impactos ambientales, tanto así, que estudios recientes estiman que la “huella ecológica” generada por la operación de una salmonera es del orden de 10.000 veces. Es decir, por cada metro cuadrado de jaula balsa de salmónidos se genera un impacto, en términos del consumo de recursos y de desechos al ambiente, equivalente a 10.000 metros cuadrados. Entre los impactos ambientales más significativos se encuentran los desechos orgánicos de los peces y los residuos de su alimentación los cuales producen una gran cantidad de nutrientes, especialmente nitrógeno y fósforo, que se deposita en el ecosistema acuático. Entre un 70% a 80 % del nitrógeno queda disuelto en la columna de agua, además del fósforo que se deposita en los fondos de las cuencas (Figura 3). La presencia de estos nutrientes genera un proceso de eutrofización, lo que posibilita disminuciones de los niveles de oxígeno y de la biodiversidad propia del lugar.

Los desechos orgánicos urbanos y/o industriales, tienen el mismo potencial de eutrofización de las aguas que aquellos producidos por el cultivo de peces. Dado que la producción de salmónidos ha aumentado significativamente después del año 1994, hasta alcanzar las 342 mil toneladas en el 2000, la producción de desechos por parte de la acuicultura es equivalente a los desechos orgánicos no tratados de una población de entre 3,03 a 4,6 millones de habitantes.

Pese a los esfuerzos de mejoramiento de las tecnologías empleadas el crecimiento de esta actividad productiva sigue produciendo un aumento sostenido de los efectos sobre el medio ambiente.

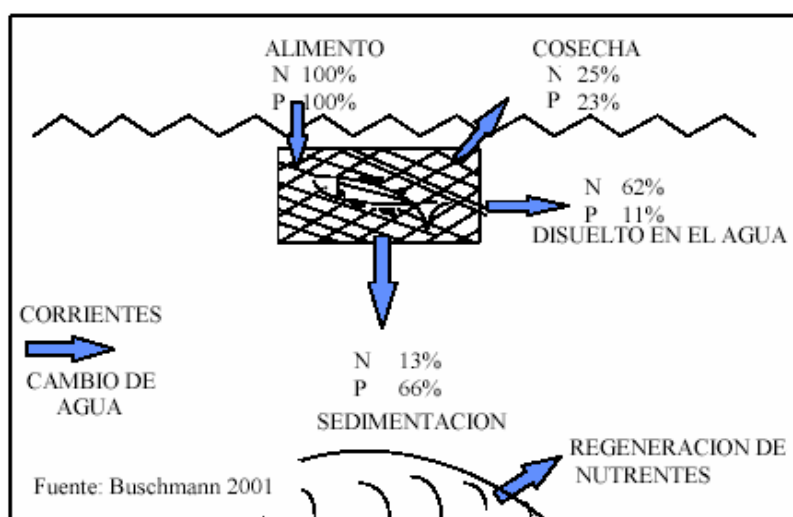


Figura 6: “Flujos porcentuales de nitrógeno (N) y fósforo (P) en una jaula de cultivo de peces con una fuente de alimento exógeno.”

Contaminación del Río BioBío. En la octava región, la principal fuente de aprovisionamiento de agua potable es el río Biobío, el que además sustenta otros usos de importancia, como la producción de energía eléctrica, riego, recreación, turismo y uso industrial. En Concepción existen nueve empresas de la región que hacen uso del río como son: PETROX, Papeles Biobío, Pangué, Inforsa, IANSA, Santa Fe, ESSBIO, CMPC Celulosa, GACEL y Compañía Siderúrgica Huachipato S.A.

Pero hace más de diez años se ha estudiado esta cuenca hidrográfica, con lo cual se han creado programas de monitoreo de la calidad de las aguas. Como resultado de estos estudios, se generan los Mapas de Calidad de Agua, con el criterio de uso múltiple del agua, que significa que ella sirva como agua potable, para recreación, riego, industria, pesca, y vida acuática. Según estos criterios, se han establecido cinco clases de calidad de agua, de la A hasta la E, que representan la relación entre sus características y su aptitud de uso.³

Producción de Celulosa. Durante este proceso se generan residuos de fibra de celulosa en gran cantidad, los que al ser depositados en los cuerpos de agua producen un exceso de materia orgánica. Aunque estos residuos son biodegradables crean graves problemas al sepultar los fondos acuáticos, ya que consumen grandes cantidades de oxígeno en su proceso de degradación, reduciendo la probabilidad de vida acuática.

En Chile, la emisión neta de contaminantes derivados de la industria de la celulosa ha crecido conjuntamente con la producción de pulpa, evidenciándose la falta de mejoras tecnológicas en las plantas ya instaladas, aunque últimamente esta situación ha comenzado a cambiar.

Actividad Agrícola y forestal. En la octava región de nuestro país, los monocultivos, dejan los suelos durante largos períodos de la explotación sin cobertura vegetal que los proteja de la erosión. El problema, sin embargo, es de mayor seriedad en los terrenos de aptitud forestal, debido a que estos suelos tienen altas pendientes. Al dejarlos desprovistos de cubierta vegetal con la tala de plantaciones, el suelo se erosiona extraordinariamente rápido porque el agua cae concentradamente en el invierno arrastrando gran cantidad de partículas, luego de varios meses de verano secos. Así, la actividad forestal es uno de los principales causantes de la erosión y del aumento de sedimentos en los ríos de la región. También son causa de problemas los pesticidas fumigados por vía aérea durante la actividad forestal. Algunos de ellos son muy tóxicos y llegan a los ríos arrastradas por el agua superficial. Estas sustancias también se infiltran a través del suelo y así pueden contaminar las aguas subterráneas.

³ **Clase A-B.** Agua apta para el uso potable mediante un tratamiento simple como la filtración rápida y desinfección.

Clase C. Agua apta para el uso potable mediante procesos normales de tratamiento como la cloración, coagulación, floculación, decantación, filtración y desinfección final.

Clase D. Agua que necesita un riguroso tratamiento como la cloración intensa, coagulación, floculación, decantación, filtración, carbono activo y desinfección. No hay toxicidad aguda a la vida acuática y puede tener uso industrial y para riego.

Clase E. Agua contaminada sin posibilidad de algún uso.

En los últimos años, gracias a un programa de recuperación de las lagunas impulsado por la Municipalidad de Concepción, se ha reducido significativamente el deterioro de estos sistemas de agua dulce. Este programa consiste en:

- a) determinar los niveles óptimos de calidad de las aguas de las lagunas y humedales, atendiendo a características naturales, usos actuales y capacidad de asimilación, con el fin de establecer normas de calidad ambiental que protejan distintas categorías de usos, definiendo estándares para un adecuado manejo y control de los afluentes.
- b) repoblar cerros y cuencas ribereñas con bosque nativo.
- c) reducir los fangos de las lagunas mediante la digestión anaeróbica de nutrientes, catalizada por aplicación de micronutrientes.
- d) repoblar las lagunas Lo Galindo, Lo Mendez y las Tres Pascualas, y proveer de aves acuáticas nativas de criadero.
- e) incorporar la laguna Agua de la Gloria como centro acuático y de protección ecológica.
- f) censar la biodiversidad acuática comunal y publicar los resultados para la educación ambiental y la conservación.
- g) identificar y fiscalizar los vertidos de residuos líquidos desde las redes de alcantarillado y de aguas lluvias.

2.6. Solución del Problema.

Para evitar la eutrofización pueden tomarse las siguientes medidas:

1. **PRACTICAR LA AGRICULTURA ECOLÓGICA.** Las técnicas de agricultura ecológica basan la fertilización en los aportes de materia orgánica, los abonos verdes y las rotaciones de cultivos. Éstas técnicas favorecen una buena estructura del suelo, que reduce la erosión, y mantienen niveles bajos de nutrientes libres en el suelo, evitando que puedan ser arrastrados hasta los cursos de agua. Los fertilizantes orgánicos, como el estiércol, aportan toda la gama de nutrientes que necesitan las plantas, mejoran las propiedades físicas del suelo y favorecen la actividad biológica imprescindible para una correcta fertilidad a la vez que presentan mucha más resistencia al lavado o arrastre de los nutrientes, de esta forma permiten obtener buenas cosechas sin contaminar el agua.
2. **AJUSTAR LOS APORTES DE ABONOS.** El exceso de abonos no conduce a mejores cosechas. Debe ajustarse los aportes de abono a las necesidades del cultivo y las características de la zona.
3. **APLICAR CORRECTAMENTE LOS ABONOS.** Aportar los abonos de forma que los nutrientes estén disponibles cuando la planta lo necesite, consiguiendo un mejor aprovechamiento de los nutrientes y, con ello, mejores cosechas con menos contaminación. Para ello se debe fraccionar su aplicación en varios aportes pequeños, repartidos a lo largo del ciclo del cultivo según sus necesidades específicas.

4. **EVITAR LA EROSIÓN.** La principal causa de que los nutrientes alcancen las aguas superficiales es la erosión y, en este caso, la erosión hídrica. Reducirla no sólo significa evitar la eutrofización sino también conservar la fertilidad del suelo. Por ello, es muy importante tomar medidas para reducir los procesos erosivos, especialmente en aquellas parcelas que no están niveladas. Algunas de estas medidas son:
- Labrar el suelo según las curvas de nivel, nunca en la dirección de la pendiente.
 - Mantener el suelo cubierto de vegetación, la cual fija el suelo y evita el impacto de la lluvia, mediante cubiertas herbáceas en los cultivos leñosos, abonos verdes en los periodos sin cultivo y realizar barbechos semillados.
 - Cuando el suelo no puede tener vegetación cubrirlo con acolchados, por ejemplo de paja.
 - Reducir el laboreo y evitar especialmente aquellas labores que dejan el suelo muy disgregado.
5. **MANTENER EL SUELO CON VEGETACIÓN.** La vegetación, especialmente la herbácea, no sólo reduce la erosión también toma los nutrientes del suelo evitando que éste se enriquezca en exceso. Cuando esta vegetación muere devuelve el nitrógeno y el fósforo al suelo en formas orgánicas que son arrastradas mucho menos que las formas minerales originales.
6. **IMPEDIR LOS VERTIDOS ORGÁNICOS.** Tanto las granjas como muchas industrias agroalimentarias (bodegas, etc) producen residuos líquidos con una elevada carga orgánica. Estos residuos tienen una gran capacidad contaminante por lo que se deben depurar antes de su vertido. Igualmente se deben almacenar durante el menor tiempo posible y en instalaciones que garanticen que no se producen fugas o infiltraciones.
- La mayoría de estos residuos pueden ser empleados como abonos con un mínimo de tratamientos sencillos y económicos, como el compostaje. De esta forma pasan de ser residuos a ser un importante recurso para la agricultura.

3. *Relación Lluvia Ácida y Eutrofización.*

La relación entre eutrofización y lluvia ácida, es que ambos fenómenos son producidos por elevadas concentraciones de NO_x , en este sentido la evaporación desde lagos y ríos con elevadas concentraciones de NO_x produce fenómenos de lluvia ácida en la zona. A su vez, estas precipitaciones ácidas, recirculan nitrógeno hacia las aguas, generándose de esta forma el ciclo del nitrógeno.

Conclusiones.

Se considera lluvia ácida a cualquier precipitación que posea un pH inferior a 5.6, estas precipitaciones pueden ocasionar efectos económicos, en los ecosistemas y en la salud humana.

Las principales causas son el uso de combustibles con contenido de azufre, así como también combustiones a altas temperaturas, además de la explotación de minerales con contenido de azufre.

Una buena y eficiente política de control de SO_x y NO_x es necesaria para solucionar los problemas asociados a la lluvia ácida.

Por otra parte, la eutrofización consiste es un fenómeno que estimula el crecimiento de plantas y microorganismos en los medios acuáticos, debido a una sobrecarga de material orgánico.

La adición de compuestos que contengan nitrógeno y fósforo provoca efectos especialmente importantes en los sistemas acuáticos, limitando el crecimiento bacteriano en los hábitats de agua dulce.

Sus principales fuentes son las naturales y las causadas los vertidos humanos, los cuales aceleran el proceso (vertidos urbanos con detergentes y desechos orgánicos; vertidos ganaderos y agrícolas).

Las medidas existentes para el control de la eutrofización de las aguas se centran en el control de la lluvia ácida y de los vertidos provocados por hombre que contienen principalmente nitrógeno y fósforo.

Bibliografía.

- Apuntes del Curso Elementos de contaminación atmosférica. Profesor Christian Santana O.
- <http://www.conama.cl>
- <http://www.epa.gov>
- <http://www.who.int/>
- <http://www.rolac.unep.mx/>
- <http://www.criecv.org/es/ae/evolucion/evolucion.html>
- <http://www.terram.cl/>
- http://europa.eu.int/comm/environment/youth/air/contents9_es.html
- PETCOKE COMO FUENTE DE ENERGÍA, Guillermo Donoso H. Departamento de Economía Agraria, Universidad Católica de Chile.