



GOBIERNO REGIONAL DE MOQUEGUA  
PROYECTO ESPECIAL REGIONAL PASTO GRANDE



# TOMO N° 12

## MODELO DE ECOSISTEMAS Y CICLOS BIOGEOQUIMICOS

ESTUDIO MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL  
EMBALSE PASTO GRANDE DISTRITO CARUMAS, PROVINCIA  
MARISCAL NIETO, REGIÓN MOQUEGUA

2012

Contrato N° 002-2012-GG-PERPG



### Consorcio



CONSORCIO V-5

Ing. Victor Diaz Nuñez  
INGENIERO CIVIL  
CIP. 6530



CONSORCIO V-5

Ing. César Zumarán Calderón  
ING. AGRÍCOLA  
CIP. 31565

CONSORCIO V-5

Ing. Juan Quiroga Vite  
INGENIERO GEÓLOGO  
CIP. 55872

## TOMO Nº12

## MODELO DE ECOSISTEMAS Y CICLOS BIOGEOQUIMICOS

## INDICE

1.	INTRODUCCIÓN .....	3
2.	ANTECEDENTES .....	3
3.	OBJETIVOS .....	4
3.1	Objetivo general .....	4
3.2	Objetivos específicos .....	4
4	MARCO LEGAL .....	5
5	ASPECTOS METODOLÓGICOS .....	5
6	MARCO TEÓRICO DE REFERENCIA .....	6
6.1	Ecosistema .....	6
6.2	Biomasa .....	7
6.3	Modelos de ecosistemas .....	7
6.4	Prado y Estanque .....	11
6.5	Ecosistemas heterótrofos .....	13
7	Componentes abióticos .....	14
8	Gradientes y ecotonos .....	16
9	LA BIOGEOQUIMICA EN EL EMBALSE PASTO GRANDE .....	18
9.1	Aspectos generales .....	18
9.2	Origen y formación del embalse Pasto Grande .....	20
9.3	Problemática .....	23
9.4	Evaluación de fuentes contaminantes externas .....	23
9.5	Características limnológicas del embalse Pasto Grande .....	29
10	LA HIDRÁULICA DE LA RENOVACIÓN DE AGUA DEL EMBALSE .....	35
11	LOS SEDIMENTOS Y LA EUTROFIZACIÓN DEL EMBALSE PASTO GRANDE .....	37
12	TERMOCLINA .....	41
13	NIVEL TRÓFICO DE LA LAGUNA PASTO GRANDE .....	42
13.1	Aspectos conceptuales .....	42
13.2	Evaluación de la información disponible base para la evaluación trófica del ecosistema ..	45
13.3	Evaluación de los parámetros relacionados con la eutrofización .....	49
13.4	Estado trófico del embalse Pasto Grande .....	55
14	CICLO BIOGEOQUÍMICO EN EL EMBALSE PASTO GRANDE .....	56
14.1	Ciclo del fósforo en el embalse .....	58
14.2	Indicadores biológicos del nivel trófico .....	60
15	EVALUACION DE LA INFORMACION PARA EL MODELAMIENTO BIOGEOQUIMICO DEL EMBALSE PASTO GRANDE .....	62
15.1	Requerimientos .....	62
15.2	Objetivo .....	62
15.3	Evaluación de los parámetros a utilizar .....	62
15.4	Aspecto metodológico .....	63
15.5	Requerimientos de información .....	63
15.6	Modelos biogeoquímicos .....	64
15.7	Red de puntos de monitoreo .....	66
16	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	71

CONSORCIO V-5

Ing. Víctor Díaz Nuñez  
INGENIERO CIVIL  
CIP. 6530

CONSORCIO V-5

Ing. César Zamarán Calderón  
ING. AGRÍCOLA  
CIP. 31565

CONSORCIO V-5

Ing. Juan Quiroga Vite  
INGENIERO GEOLOGO  
CIP 55872

16.1 Conclusiones.....71

16.2 Recomendaciones .....72

17 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....73

CONSORCIO V-5



.....

Víctor Díaz Nuñez  
INGENIERO CIVIL  
CIP. 6530

CONSORCIO V-5



.....

Ing. César Zumarán Calderón  
ING. AGRÍCOLA  
CIP. 31565

CONSORCIO V-5 2



.....

Ing. Juan Quiroga Vite  
INGENIERO GEÓLOGO  
CIP 55872

## MODELO DE ECOSISTEMAS Y CICLOS BIOGEOQUIMICOS

### 1. INTRODUCCIÓN

El Gobierno Regional de Moquegua (GRM) a través del Proyecto Especial Regional Pasto Grande (PERPG) ante la problemática de una posible contaminación de las aguas del embalse Pasto Grande, producida por la contaminación natural de las aguas de los ríos Millojahuirá y Antajarane, y una contaminación natural y antrópica, producida en el río Patara por las minas Cacachara y Santa Rosa, lo que origina un riesgo potencial de resuspensión de la contaminación sedimentada en el embalse, que podría afectar a la población y a la agricultura. En el año 2011, se conformó una Comisión Técnica del agua Multi-sectorial convocada por la Región Moquegua, con fines de elaboración de la Licitación Pública para el desarrollo del Estudio "Mejoramiento de la Calidad de las Aguas del Embalse Pasto Grande", siendo otorgada posteriormente al **CONSORCIO V-5** en enero del 2012.

Respecto al componente del modelamiento del ecosistema y ciclos biogeoquímicos, es muy importante tener en cuenta la definición de un modelo, el cual es una representación abstracta, por lo general matemática, de un sistema ecológico (que van en escala de una población particular, a una comunidad ecológica, o incluso un bioma entero), que se estudia para obtener la comprensión del sistema real.

Como una siguiente fase del estudio, este informe considera el desarrollo del modelo mediante un software científico. El software ha sido elegido cumpliendo altos estándares de calidad, así como también, por recomendación de expertos en el tema. También se ha procedido a integrar toda la información brindada por el Consorcio y ya recopilada en el Primer Informe presentado. Tal información ha sido vital aunque también insuficiente, por lo que desarrollamos una serie de recomendaciones para el Consorcio con motivo de mejorar el Modelo desarrollado.

El presente informe, se enmarca dentro de la tarea: "**Desarrollar el Modelamiento del Ecosistema y Ciclos Biogeoquímicos**", para cuyo efecto se analizará la disponibilidad y consistencia de información pertinente en materia de parámetros físico químicos y biológicos.

### 2. ANTECEDENTES

El problema existente en el Embalse Pasto Grande, surge de una serie de análisis de la calidad de agua realizados en los laboratorios del Ministerio de Salud (MINSA Periodo 2004-2007), además de análisis en laboratorios privados, los cuales han arrojado altas concentraciones de hierro (Fe), manganeso (Mn) y una elevada acidez (pH) del agua del embalse. Los resultados

CONSORCIO V-5

Ing. Víctor Díaz Nuñez  
INGENIERO CIVIL  
CIP. 6530

CONSORCIO V-5

Ing. César Zumarán Calderón  
ING. AGRICOLA  
CIP. 31305

CONSORCIO V-5

Ing. Juan Quiroga Vite  
INGENIERO GEÓLOGO  
CIP. 55872

volvieron a ser comprobados posteriormente, luego de la aparición de las manchas rojizas a café-amarillentas en diferentes áreas del Embalse Pasto Grande.

El PERPG (2006), en su informe técnico del año 2006 indica, que se produce una mortandad de alevinos de trucha de la Empresa Comunal de Producción y Servicios Lago Azul en el embalse Pasto Grande, lo cual alertó a las autoridades de la Región Moquegua a realizar un monitoreo de la calidad de las aguas del embalse, a fin de poder determinar la causa de la mortandad de los peces. El Proyecto Especial Regional Pasto Grande (PERPG), la Dirección Regional de Producción-Ilo (DIREPRO-Ilo) y la Gerencia Regional de Recursos Naturales y Gestión del Medio Ambiente (GRRRNN) del Gobierno Regional Moquegua, conformaron una Comisión Técnica Multisectorial encargada del Monitoreo de las aguas del Embalse de Pasto Grande, que permita analizar y estudiar el problema suscitado en el Embalse Pasto Grande.

La DIGESA (2007), en los estudios realizados sobre la calidad de aguas del Embalse Pasto Grande (2004–2007), indican que el Río Millojahuirra, Antajarane y Patara soportan cargas metálicas de diferentes procedencias.

El Proyecto Especial Regional Pasto Grande PERPG, (2008); en febrero del año 2008 informa que se da la presencia de un nuevo fenómeno en el embalse Pasto Grande, de acuerdo a la evaluación preliminar realizada, se determinó la presencia de la gran cantidad de minerales y la multiplicación y desarrollo y desordenado de micro organismos, fenómeno conocido como florecimiento micro algas. A partir de esta fecha, no fue posible profundizar estudios de evaluación, debido a la falta de disponibilidad presupuestal en este rubro y/o componente.

El principal problema identificado es la "Inadecuada calidad de las aguas del embalse Pasto Grande"; aguas que son utilizadas por la población de Moquegua para el consumo humano y para sus actividades económicas.

En el marco de la consultoría que se viene realizando a cargo del Consorcio V-5, se elaboraron 2 informes: el primer informe consistió en la revisión de todo el material bibliográfico proporcionado por el PERPG. El segundo informe plasmó la opinión de los especialistas después de la visita que se realizó al embalse.

### 3. OBJETIVOS

#### 3.1 Objetivo general

Conocer las características biogeoquímicas e interrelaciones bio ecológicas del embalse Pasto Grande, mediante el establecimiento del modelamiento dinámico biogeoquímico, como base para comprender el estado actual de la calidad del agua y su tendencia en el tiempo.

#### 3.2 Objetivos específicos

CONSORCIO V-5  
  
Ing. César Díaz Nuñez  
INGENIERO CIVIL  
CIP. 5530

CONSORCIO V-5  
  
Ing. César Zumaran Calderón  
ING. AGRÍCOLA  
CIP. 31565

CONSORCIO V-5 4  
  
Ing. Juan Quiroga Vite  
INGENIERO GEÓLOGO  
CIP. 55872

- Determinar el estado trófico del embalse Pasto Grande, a través del análisis de los parámetros tróficos.
- Identificar, evaluar y determinar las causas que afectan la calidad del agua del embalse Pasto Grande.
- Determinar cualitativamente las fuentes de nutrientes (N y P) y la participación en el ciclo de los nutrientes a nivel del ecosistema acuático.
- Construir el modelo conceptual de los ciclos biogeoquímicos del embalse Pasto Grande.

#### 4 MARCO LEGAL

- La calidad de los cursos de aguas o cuerpos receptores, se encuentran regulados por el D.S. N° 002-2008-MINAM que establece los "Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua".
- Las aguas del embalse Pasto Grande se encuentran clasificadas como aguas de Categoría 1: Aguas destinadas para la producción de agua potable-A2, Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional, Categoría 3: Aguas para Riego de vegetales y bebida de animales y como Categoría 4: Conservación del medio acuático, lagunas y lagos.
  - Ley N° 26842, Ley General de Salud, indica que el Ministerio de Salud, a través de la Dirección General de Salud Ambiental (DIGESA).
  - Ley N° 28611, Ley General del Ambiente,
  - Ley N° 27446, Ley del Sistema Nacional de Evaluación del Impacto Ambiental.
  - Ley 29338, Ley General de Recursos Hídricos.
  - Ley N° 27314, Ley General de Residuos Sólidos.
  - Reglamento de la Ley N° 27314, de la Ley General de Residuos Sólidos, aprobado por Decreto Supremo N° 057-2004-PCM.
  - Decreto Legislativo N° 1065 del 28.06.08 que Modifica la Ley General de Residuos Sólidos.
  - Resolución Jefatural N° 202-2010-ANA, del 22 de marzo de 2010 que aprueba la clasificación de los recursos hídricos ubicados en el territorio de la República del Perú.
  - Resolución Directoral 3930-2009/DIGESA/SA, que aprueba la Directiva Sanitaria para la Interpretación de Resultados de Ensayo de Calidad de Agua.
  - Reglamento de la calidad de agua para consumo humano, aprobado mediante D.S. N° 031-2010-SA.
  - Norma de Saneamiento OS.090 Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales.

#### 5 ASPECTOS METODOLÓGICOS

Metodológicamente el presente estudio se ha desarrollado en tres fases:

CONSORCIO V-5

  
Ing. Víctor Díaz Nuñez  
INGENIERO CIVIL  
CIP. 6530

CONSORCIO V-5

  
Ing. César Zumarán Calderón  
ING. AGRÍCOLA  
CIP. 31565

CONSORCIO V-5

5

  
Ing. Juan Quiroga Vite  
INGENIERO GEÓLOGO  
CIP. 55872

**Fase de gabinete.-** durante la cual se recopiló toda la información relacionada al tema de la calidad del agua del embalse Pasto Grande, como datos de monitoreo anteriores, puntos de monitoreo; bibliografía relacionada a la biogeoquímica de ecosistemas, búsqueda de información relacionada al uso de modelos para el modelamiento biogeoquímico de ecosistemas acuáticos.

**Segunda fase.-** en ésta fase se realizaron visitas decampo al embalse Pasto Grande a fin de verificar objetivamente el estado de la calidad del agua; también se realizó visita a los cuerpos de agua que fluyen y descargan sus aguas en el embalse Pasto Grande.

**Tercera fase.-** En ésta fase se realizó la selección y sistematización de la información materia de estudio, como base para comprender la dinámica trófica del ecosistema y la construcción del modelo conceptual de las interrelaciones tróficas a nivel del ecosistema.

Para la determinación del estado trófico del ecosistema se realizó tomando como base los criterios de la OECD 1981.

## 6 MARCO TEÓRICO DE REFERENCIA

En el país, desde hace más de 5 años, las entidades oficiales del Estado han realizado diverso monitoreos de calidad del agua en el embalse Pasto Grande, midiendo parámetros de campo, así como análisis de laboratorio, para evaluar la calidad del agua en términos físicos, químicos como los metales pesados; metaloide (As), y aspectos hidrobiológicos; sin embargo nadie ha realizado evaluaciones integrales, orientadas a determinar las causas que desde el 2005, han originado cambios significativos de la calidad del agua y del ecosistema. Desde ese punto de vista en el presente trabajo, se ha considerado importante revisar algunos aspectos conceptuales, con la finalidad de establecer argumentos teórico - científicos, que permitan evaluar la situación actual del cuerpo de agua en estudio, considerado como un ecosistema acuático, formado por el represamiento del agua de la cuenca del río Vizcachas.

### 6.1 ECOSISTEMA

Un ecosistema es el medio ambiente biológico que consiste en todos los organismos vivientes (biocenosis) de un lugar particular, incluyendo también todos los componentes no vivos (biotopo), los componentes físicos del medio ambiente con el cual los organismos interactúan, como el aire, el suelo, el agua y el sol.

El concepto, que comenzó a desarrollarse entre 1920 y 1930, tiene en cuenta las complejas interacciones entre los organismos (por ejemplo plantas, animales, bacterias, protistas y hongos) que forman la comunidad (biocenosis) y los flujos de energía y materiales que la atraviesan.

CONSORCIO V-5  
  
 Ing. Víctor Díaz Nuñez  
 INGENIERO CIVIL  
 CIP. 6530

CONSORCIO V-5  
  
 Ing. César Zumarán Calderón  
 ING. AGRÍCOLA  
 CIP. 31565

CONSORCIO V-5 6  
  
 Ing. Juan Quiroga Vite  
 INGENIERO GEÓLOGO  
 CIP. 55872

El término ecosistema fue acuñado en 1930 por Roy Clapham para designar el conjunto de componentes físicos y biológicos de un entorno. El ecólogo británico Arthur Tansley refinó más tarde el término, y lo describió como «El sistema completo, incluyendo no sólo el complejo de organismos, sino también todo el complejo de factores físicos que forman lo que llamamos medio ambiente». Tansley consideraba los ecosistemas no simplemente como unidades naturales sino como «aislamientos mentales» («mental isolates»). Tansley, más adelante definió la extensión espacial de los ecosistemas, mediante el término «ecotopo» («ecotope»).

Fundamental para el concepto de ecosistema es la idea de que los organismos vivos interactúan con cualquier otro elemento en su entorno local. Eugene Odum, uno de los fundadores de la ecología, declaró: «Toda unidad que incluye todos los organismos (es decir: la "comunidad") en una zona determinada interactuando con el entorno físico de tal forma que un flujo de energía conduce a una estructura trófica claramente definida, diversidad biótica y ciclos de materiales (es decir, un intercambio de materiales entre las partes vivientes y no vivientes) dentro del sistema es un ecosistema». El concepto de ecosistema humano, se basa, en desmontar la dicotomía humano/naturaleza y en la premisa de que todas las especies están ecológicamente integradas unas con otras, así como con los componentes abióticos de su biotopo.

## 6.2 BIOMAS

Un bioma es una clasificación global de áreas similares, incluyendo muchos ecosistemas, climática y geográficamente similares, esto es, una zona definida ecológicamente en que se dan similares condiciones climáticas y similares comunidades de plantas, animales y organismos del suelo, son a menudo referidas como ecosistemas de gran extensión. Los biomas se definen basándose en factores, tales como las estructuras de las plantas (árboles, arbustos y hierbas), los tipos de hojas (plantas de hoja ancha y aguja), la distancia entre las plantas (bosque, selva, sabana) y el clima. A diferencia de las ecozonas, los biomas no se definen por genética, taxonomía o semejanzas históricas y se identifican con frecuencia con patrones especiales de sucesión ecológica y vegetación clímax.

La clasificación más simple de biomas es: Biomas terrestres, biomas de agua dulce y biomas marinos.

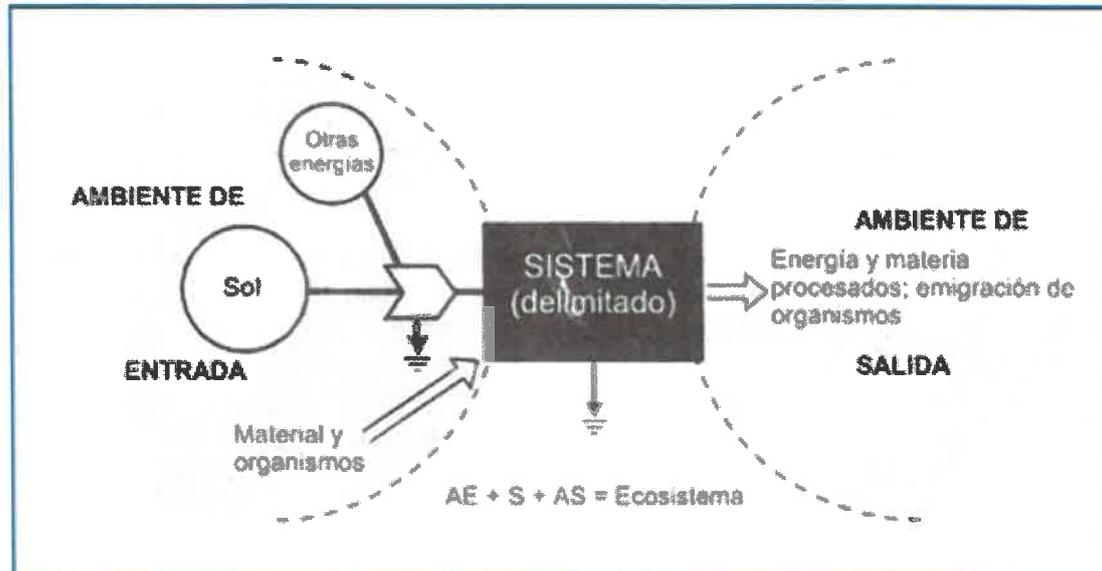
## 6.3 MODELOS DE ECOSISTEMAS

Como ocurre con todos los tipos y niveles de biosistemas (sistemas biológicos), los ecosistemas son sistemas abiertos; esto es, experimentan entrada y salida constantes de materia, aunque el aspecto general y las funciones básicas pueden permanecer constantes por largos periodos.

Las entradas y salidas (**Figura N° 1**) son una parte importante del concepto. Un modelo gráfico de ecosistema puede consistir en un rectángulo o "caja" (**Figura N° 1**) que podemos identificar con el sistema, el cual representa nuestra área de interés, y dos grandes embudos que podemos

nombrar ambiente de entrada (o de insumos, de importación, aferente) y ambiente de salida (o de productos, de exportación, eferente). La frontera del sistema puede ser arbitraria (la que convenga o interese) y delimita un área como una extensión de bosque o de playa; o puede ser natural, como la orilla de un lago, si todo este cuerpo de agua es el sistema.

Figura N° 1



Modelo de ecosistema como sistema termodinámico abierto no en equilibrio, en el que se pone de relieve el ambiente externo en cual debe considerarse parte integral del concepto de ecosistema. No es necesario conocer el contenido de la "caja negra" del sistema.

La energía es un insumo (entrada) necesario. El sol es la fuente de energía fundamental para la biosfera, y sostiene directamente la mayoría de los ecosistemas naturales en ella. Pero hay otras fuentes de energía que pueden ser importantes para muchos ecosistemas, por ejemplo el viento, la lluvia, el flujo de agua en las mareas, el vapor de agua de los volcanes o los combustibles fósiles (la principal fuente en el caso de las ciudades modernas). La energía también fluye hacia afuera de un sistema en la forma de calor entrópico y en otras formas transformadas o procesadas, como materia orgánica (p. ej., alimento y productos de desecho) y contaminantes. Agua, aire y nutrientes necesarios para la vida, así como todos los tipos de materias, constantemente entran y salen del ecosistema. Y, por supuesto, organismos y sus propágulos (semillas y otras formas reproductivas) entran (inmigran) o salen (emigran).

En la **Figura N° 1**, la parte del eco sistema correspondiente al sistema se muestra como una "caja negra", la cual es definida por los modeladores como una unidad cuya función o funcionamiento general puede evaluarse sin especificar el contenido. Sin embargo, deseamos observar dentro de esta caja negra para descubrir cómo está organizada internamente y qué ocurre a todas las entradas o insumos. El contenido de un ecosistema se muestra en forma de modelo en la **Figura N° 2** (y gráficamente en las **Figuras N° 4 y 5**). Algunos autores llaman "cajas grises" a aquellas cuyo contenido es conocido de forma parcial o fragmentaria (p. ej., los servomecanismos semi naturales) y "cajas blancas" a los sistemas automáticos cuyo diseño,

construcción y desempeño es completamente conocido (p. ej. la tarjeta madre de las computadoras o el mecanismo de un reloj).

Figura N° 2

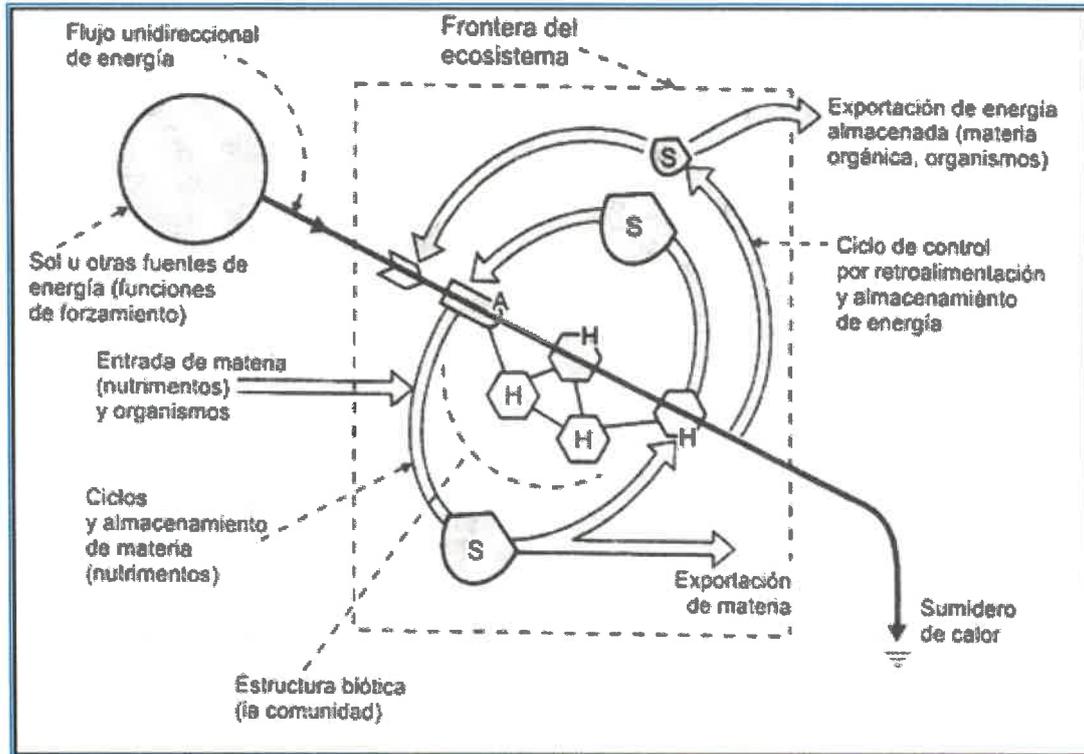
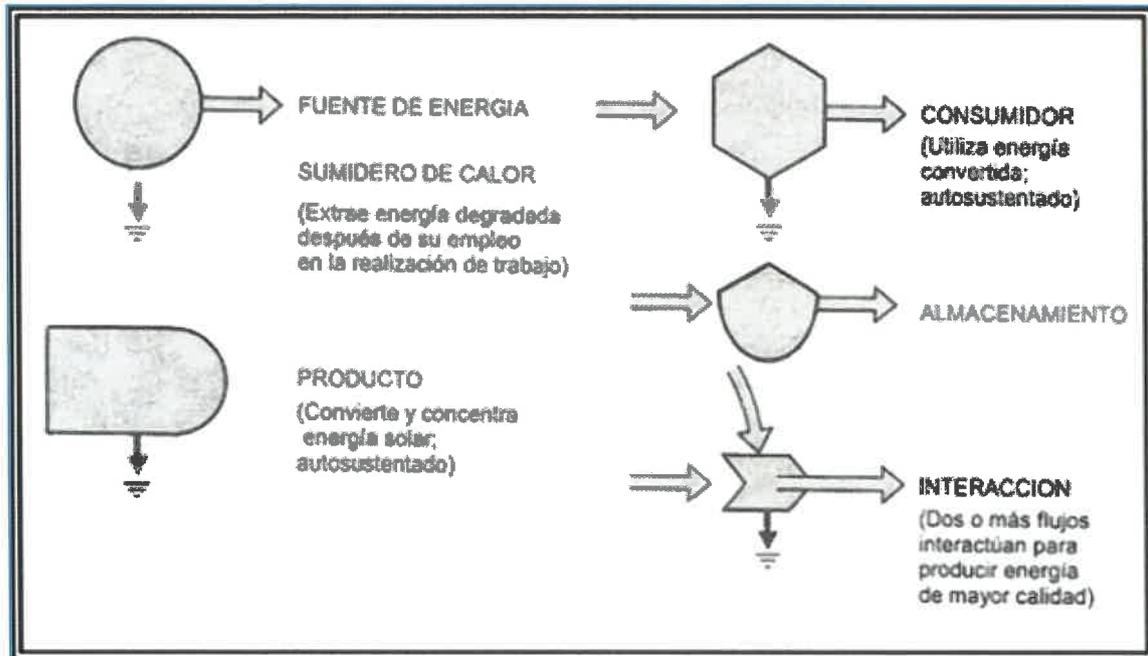


Diagrama funcional de un ecosistema, en el que se pone de relieve la dinámica interna que comprende flujo de energía, ciclos de materia y almacenamiento (S), así como tramas alimentarias que comprenden autótrofos (A) y heterótrofos (H)

En la **Figura N° 2**, a los compartimientos (cajas) del modelo se les han dado diferentes formas según sus funciones básicas, utilizando los símbolos del "lenguaje energético" desarrollado por H. T. Odum (1971) y que se resume en la **Figura N° 3**. Los círculos representan fuentes de energía renovables, los módulos en forma de bala son autótrofos, los hexágonos son heterótrofos, las cajas en forma de tanque son depósitos, y las "colas de flecha" son sumideros o disipadores (sitios donde se pierde o disipa calor entrópico).

Los ecosistemas tienen dos componentes bióticos principales. El primero es un componente autótrofo (autoalimentado), capaz de fijar energía luminosa y producir alimento a partir de sustancias inorgánicas simples (como agua, dióxido de carbono, nitratos) por el proceso de fotosíntesis. Generalmente, las plantas verdes -vegetación terrestre o algas y plantas acuáticas- constituyen el componente autótrofo. Estos organismos pueden considerarse productores. Como se muestra en la **Figura N° 03**, forman un "cinturón verde", estrato (capa) en el cual la entrada de energía solar es máxima.

Figura N° 03



Símbolos del "lenguaje energético" de H. T. Odum

La segunda unidad principal es el componente heterótrofo (que se alimenta de otros), el cual utiliza, re distribuye y descompone las materias complejas sintetizadas por los autótrofos. Hongos, bacterias no fotosintéticas y otros microorganismos, así como los animales incluyendo el ser humano, constituyen los heterótrofos, que concentran sus actividades en (o alrededor de) el "cinturón pardo" constituido por suelo y sedimentos bajo el dosel verde. Estos organismos pueden considerarse los consumidores, ya que son incapaces de producir su propio alimento, y deben obtenerlo consumiendo otros organismos. En el modelo gráfico de la **Figura N° 2**, los componentes autótrofos (A) y heterótrofos (H) se muestran enlazados en una red de transferencias de energía, llamada **trama alimentaria -red alimenticia-**.

A menudo, es útil subdividir a los heterótrofos con base en la fuente de su energía alimentaria. Así, tenemos los **herbívoros** o **presas**, que se alimentan de plantas; los **carnívoros** o **predadores**, que se alimentan de otros animales; los **carnívoros superiores** o **depredadores**, que se alimentan de los predadores; los **omnívoros**, que consumen tanto plantas como animales; y los **sapróvoros** (principalmente hongos y bacterias putrefactoras), que se alimentan de materia orgánica en descomposición.

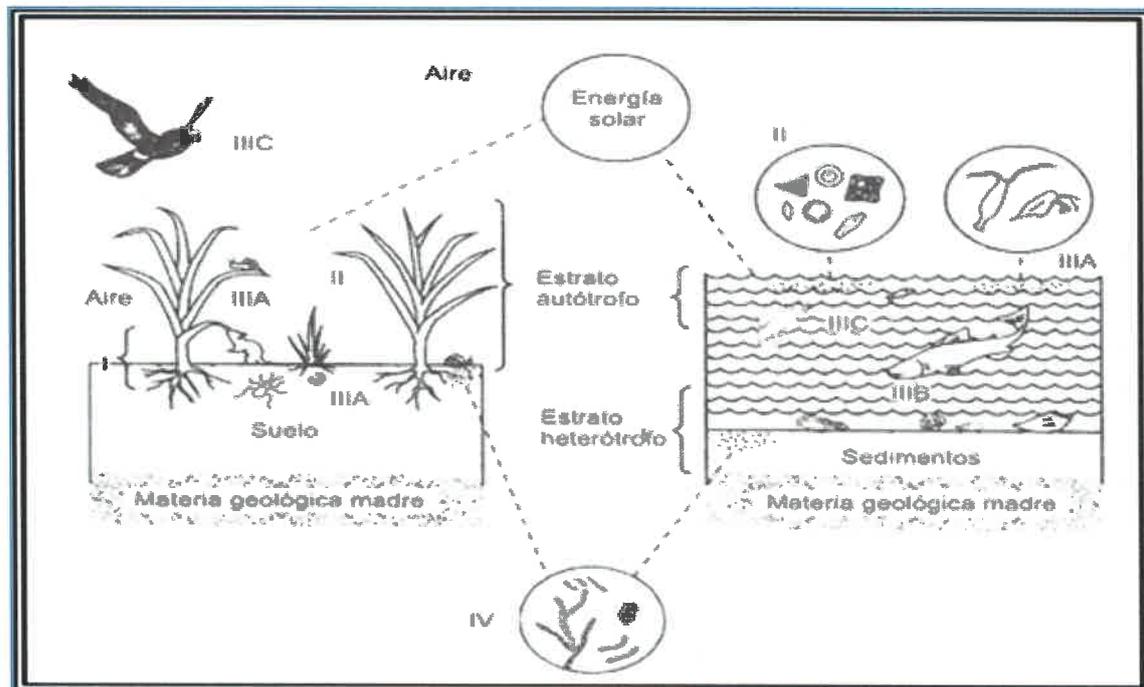
Es evidente que estas clasificaciones ecológicas de los componentes bióticos se basan en los modos de nutrición; esto es, la fuente principal de energía utilizada. Tales clasificaciones ecológicas no deben confundirse con las clasificaciones taxonómicas de las especies (si bien existen paralelismos, dado que los tres modos de nutrición -fotosíntesis, ingestión y absorción- predominan en los reinos taxonómicos de plantas, animales y hongos, respectivamente). La

clasificación ecológica, se refiere a funciones, no a especies. Muchas especies utilizan más de una fuente de energía, y otras más son capaces de variar su modo de nutrición. Por ejemplo, algunos tipos de algas pueden actuar como autótrofos o como heterótrofos, dependiendo de la disponibilidad de luz solar y de materia orgánica.

#### 6.4 PRADO Y ESTANQUE

Los ecosistemas terrestres y acuáticos son contrastantes. En la **Figura N° 4** se ponen de relieve sus semejanzas y diferencias básicas. Los ecosistemas terrestres y los acuáticos, típicamente, son poblados por distintos tipos de organismos (aunque algunos de éstos, como patos y ranas, viven en ambos eco sistemas en diferentes momentos o durante diferentes fases de su ciclo vital). A pesar de amplias diferencias en la composición de especies, están presentes los mismos componentes ecológicos básicos y funcionan de la misma manera en ambos ecosistemas.

Figura N° 4



Ecosistema autótrofos accionados por el sol: Comparación de la estructura macroscópica de un pastizal terrestre y un ecosistema de aguas abiertas. Las unidades necesarias para el funcionamiento son: I. Componentes abióticos (Compuestos orgánicos e inorgánicos esenciales); II, Productores (vegetación en tierra, fitoplancton en el agua); III. Macroconsumidores o animales: A, herbívoros directos o ramoneadores (saltamontes, ratones, etc., en tierra; zooplancton, en el agua); B, consumidores indirectos (detritófagos o sapróvoros; invertebrados del suelo en tierra, invertebrados bentónicos en el agua); e, los "carnívoros superiores" (halcones y peces grandes); IV. Descomponedores (bacterias y hongos).

En tierra, los autótrofos predominantes suelen ser plantas de raíz, que van en tamaño, desde los pastos y otras herbáceas que ocupan terrenos secos o recientemente desmontados, hasta los

grandes árboles forestales adaptados a terrenos húmedos. Cerca de la orilla de un lago o en otras situaciones de agua somera (humedales, por ejemplo) existen plantas acuáticas de raíz (como espadañas, lirios acuáticos, juncos), pero en las vastas extensiones de agua abierta de estanques, lagos y océanos, los autótrofos son organismos microscópicos suspendidos llamados en conjunto fitoplancton (del griego fito, planta, y plankton, flotante), que incluye diversos tipos de algas, bacterias fotosintéticas y protozoarios "verdes".

Dada la diferencia en tamaño de las plantas, la biomasa (peso seco de la materia viva) o la biomasa estable (peso vivo promedio en un lapso dado) de los sistemas terrestres pueden ser muy distintas de las propias de los sistemas acuáticos. En un bosque o selva, la biomasa vegetal puede ser de 10000 g (o más) de materia seca/m<sup>2</sup>, en contraste con los 5 g/m<sup>2</sup> (o menos) en agua abierta de estanques, lagos y océanos. A pesar de esta discrepancia de biomasa, 5 g de fitoplancton pueden producir en un tiempo dado la misma cantidad de alimento que 10 000 g de plantas grandes, dada la misma entrada de energía luminosa y nutriente. Esto se debe a que el metabolismo de los organismos pequeños es mucho mayor por unidad de peso que el de los grandes. Además, las plantas terrestres grandes, como los árboles, están formadas principalmente por tejidos leñosos, relativamente inactivos en la fotosíntesis; sólo las hojas fotosintetizan, y en un bosque, las hojas constituyen sólo 1 a 5% de toda la biomasa vegetal. En consecuencia, la cantidad de materia viva (biomasa) que vemos en un paisaje no es necesariamente indicativa de la tasa de su producción.

Es importante tener en cuenta, el concepto de **renovación** como primer paso para relacionar estructura y función. Podemos considerar a la renovación, como el cociente de la cosecha en pie (esto es, la cantidad presente en cualquier momento dado como existencia instantánea) de componentes bióticos o abióticos entre la rapidez de reposición de esa existencia instantánea. Por ejemplo, si la biomasa de un bosque es de 20000 g/m<sup>2</sup> y el incremento anual por crecimiento es de 1 000 g, entonces la relación 20:1, puede expresarse, como un tiempo de renovación o tiempo de reposición de 20 años. El recíproco,  $1/20 = 0,05$ , es la rapidez o tasa de renovación. En un estanque, el tiempo de renovación para el fitoplancton se mide en días, no en años. La diferencia entre eco sistemas terrestres y acuáticos en biomasa y tiempo de renovación, se refleja en las formas en que obtenemos alimento y fibras de ellos. En tierra, la biomasa vegetal tiende a acumularse con el tiempo -una estación para cultivos agrícolas, muchos años para un bosque-, de modo que puede cosecharse de manera conveniente cuando se ha acumulado una biomasa grande o quizá máxima. Así, el alimento básico producido en tierra para el ser humano es materia vegetal (granos, hortalizas, etc.). En contraste, la renovación del recambio al nivel autótrofo en el mar es tan rápida que se acumula muy poca biomasa. Lo que se acumula en el mar es biomasa animal (peces, cangrejos, ballenas, etc.), de manera, que prácticamente todo el alimento que cosechamos del mar es materia animal. Una excepción son los grandes mantos de macroalgas que se cultivan en Asia y África.

CONSORCIO V-5

Ing. Víctor Díaz Nuñez  
INGENIERO CIVIL  
CIP. 6530

CONSORCIO V-5

Ing. Cesar Zumaran Calderón  
ING. AGRÍCOLA  
CIP. 31565

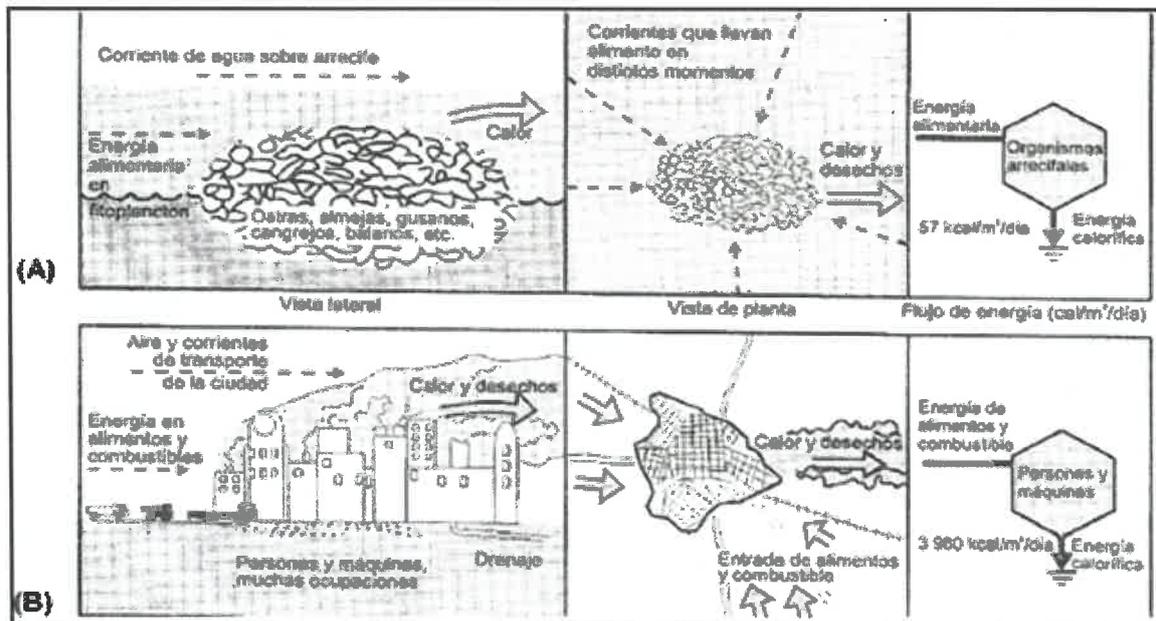
CONSORCIO V-5

Ing. Juan Quiroga Vite  
INGENIERO GEÓLOGO  
CIP. 55872

### 6.5 ECOSISTEMAS HETERÓTROFOS

En los paisajes naturales y semi naturales que contienen una variedad de ecosistemas (como bosques, pastizales, sembradíos, lagos, estanques, ríos), la actividad autótrofa y heterótrofa en conjunto tiende a equilibrarse; la materia orgánica producida se utiliza para crecimiento y mantenimiento en el ciclo anual. Algunas veces, la producción excede al uso; en cuyo caso, la materia orgánica puede almacenarse (como turba en un pantano, por ejemplo) o ser exportada a otro ecosistema o paisaje (como en la agricultura). En contraste, las ciudades (y los paisajes industrializados en general) consumen mucho más alimento y materia orgánica de la que producen, y en consecuencia son ecosistemas heterótrofos. En la **Figura N° 5**, se comparan un arrecife ostrero, uno de los ecosistemas heterótrofos de la naturaleza, y una ciudad; ambos deben obtener su alimento y energía del exterior. Nótese que, por unidad de área, la ciudad requiere mucho más energía al día que el arrecife ostrero (70 veces más en el ejemplo ilustrado).

Figura N° 05



Ecosistemas heterótrofos. A, Este arrecife de ostras, una de las "ciudades" de la naturaleza, depende del influjo de energía alimentaria procedente de una gran extensión del ambiente circundante. B, Una ciudad industrializada es mantenida por un enorme influjo de combustible y alimento, con una salida correspondientemente grande de desechos y calor. Su requerimiento de energía por metro cuadrado es unas 70 veces mayor que el del arrecife: alrededor de 4 000 kcal/día, o 1500000 kcal/año. (Tomado de H. T. Odum, 1971)

No hay nada incorrecto o malo en que nuestras ciudades sean heterótrofas, mientras estén vinculadas con sistemas autótrofos adecuados que puedan proporcionar el alimento y otras formas de energía (por no mencionar materias primas) requeridos y también puedan asimilar la gran cantidad de desechos producidos por la ciudad.

Esto recuerda la idea: el ambiente natural como módulo de soporte de vida de la Nave Espacial Tierra, con la ecología como puente entre la ciencia y la sociedad. Puesto que, según ya se hizo notar, la capacidad de la naturaleza de mantener nuestras siempre crecientes y demandantes ciudades está siendo llevada al límite en muchos lugares, es tiempo de pensar en rediseñarlas para reducir la pérdida.

El reciclaje de agua y desechos, el cultivo de alimentos en azoteas y terrazas y el uso de energía solar, directamente, para calentar edificios y producir electricidad son algunas de las cosas que deben hacerse a mayor escala que en la actualidad, incluso la economía de mercado puede ser útil en este caso: puede hacerse dinero en manejo de desechos (aun la reducción de residuos tóxicos), reciclaje, generación solar de electricidad, agricultura orgánica, desarrollo de combustibles hidrogenados, ingeniería genética para el control de enfermedades y plagas, aislamiento térmico de residencias, restauración y monitorización ambientales, etc.

## 7 COMPONENTES ABIÓTICOS

En la **Figura N° 2**, se ilustran de manera simplificada, las dos funciones abióticas básicas que hacen operacional al ecosistema; a saber: **flujo de energía y ciclos de materia**. La energía fluye desde el sol u otra fuente externa, pasa a través de la comunidad biótica y su trama alimentaria, y sale del ecosistema en la forma de calor, materia orgánica y organismos producidos en el sistema. Si bien la energía puede ser almacenada y utilizada después, el flujo energético es unidireccional en el sentido de que una vez que la energía se ha utilizado -esto es, se ha convertido de una forma en otra (luz solar en alimento, por ejemplo), no puede volver a utilizarse; la luz del sol debe seguir fluyendo, para que la producción de alimento continúe. En contraste, la materia -elementos y compuestos- puede ser utilizada una y otra vez sin pérdida de utilidad. En un ecosistema bien ordenado, muchas materias circulan una y otra vez entre componentes abióticos y bióticos. Como son los ciclos biogeoquímicos.

De la gran cantidad de elementos y compuestos inorgánicos simples presentes en la superficie del planeta o cerca de ella, algunos pocos son esenciales para la vida. Estos son las llamadas sustancias biogénicas o **nutrientes**. Como podría esperarse, dichas sustancias tienden a ser retenidas por los sistemas vivos y a recircular dentro de ellos, en mayor medida que las no esenciales. Carbono, hidrógeno, nitrógeno, fósforo y calcio, entre otros, son necesarios en cantidades relativamente grandes, por lo que se denominan **macronutrientes**; abundan en compuestos simples como dióxido de carbono, agua y nitratos, fácilmente accesibles para los organismos. También existen en formas químicas difíciles de obtener. El nitrógeno gaseoso del aire, por ejemplo, es inaccesible para las plantas mientras no es convertido en una sal inorgánica (digamos nitrato) por microorganismos especializados o por otros medios. El fósforo del suelo puede existir en formas químicas inaccesibles para las raíces de las plantas; el que una planta

CONSORCIO V-5

Ing. Víctor Díaz Nuñez  
INGENIERO CIVIL  
CIP. 6530

CONSORCIO V-5

Ing. Zumarán Calderón  
ING. AGRÍCOLA  
CIP. 31665

CONSORCIO V-5

Ing. Juan Quiroga Vite  
INGENIERO GEÓLOGO  
CIP. 55872

de tomate disponga de fósforo suficiente no depende de la cantidad total de dicho elemento en el suelo, sino de la cantidad presente en una forma utilizable para la planta.

Cuando un agricultor ordena una prueba de suelo de sus tierras o el lector hace examinar el suelo de su jardín, el laboratorio les informa la cantidad de nutrientes disponibles y les indica la cantidad que posiblemente tenga que agregarse de ellos para asegurar un rendimiento adecuado de los cultivos. Otros elementos, no menos vitales que los macronutrientes pero requeridos sólo en pequeñas cantidades por los organismos, se conocen como **micronutrientes, oligoelementos** o elementos traza. Alrededor de una docena de ellos son esenciales para las plantas y la mayor parte de los animales; entre ellos se incluyen varios iones metálicos como hierro, magnesio, manganeso, zinc, cobalto y molibdeno. Se sospecha que otros más son esenciales para grupos específicos de organismos. No se conocen completamente los tipos y las cantidades de oligoelementos necesarios para la salud del ser humano, y ello es en la actualidad tema de amplia investigación y controversia. Mientras que son necesarios de 50 a 150 kg de cada macronutriente como nitrógeno, fósforo y potasio, para obtener una buena cosecha de maíz en una hectárea de tierra, se requiere menos de 0,1 kg de la mayoría de los micronutrientes. Sin embargo, dado que muchos de éstos son escasos en la superficie terrestre, llegan a presentarse deficiencias de ellos, las cuales pueden reducir la productividad de un ecosistema del mismo modo en que lo haría una deficiencia de macronutrientes. Por, ejemplo, sin molibdeno los microorganismos antes mencionados son incapaces de transformar nitrógeno atmosférico en amoníaco y nitratos utilizables para las plantas. Los carbohidratos (como azúcares, almidones y celulosa), las proteínas y aminoácidos y los lípidos (grasas y aceites), que constituyen los cuerpos de los organismos vivos, están también ampliamente dispersos en las formas no vivas del ambiente. Estos y cientos de otros compuestos complejos constituyen el componente orgánico del ambiente abiótico. Más adelante, se comentarán sus importantes funciones como reguladores por retroalimentación.

Cuando los cuerpos de los organismos se descomponen son dispersados en fragmentos llamados en conjunto detritos orgánicos (productos de desintegración, del latín *deterere*, desgastar; en geología, la palabra detritos se refiere a los productos de desintegración de las rocas). Puesto que la biomasa vegetal suele ser mayor que la animal, y dado que las plantas suelen descomponerse más lentamente que los restos animales, los detritos de origen vegetal suelen ser más notables, al menos en el ambiente terrestre. Los detritos orgánicos, no sólo constituyen una fuente de alimento para los sapróvoros, tanto en tierra como en el agua; también mejoran la textura del suelo y favorecen la retención de agua y minerales. Es éste el motivo por el cual el estiércol y la composta son benéficos para los cultivos y jardines.

Los ecólogos a menudo utilizan los acrónimos **MOD** (materia orgánica disuelta) y **MOP** (materia orgánica en partículas) para las dos formas de detritos. En el océano la MOD es un depósito extenso de carbono orgánico y es importante en el ciclo global del carbono (Benner et al., 1992). Es una fuente de alimento para bacterias, e influye en la penetración de la luz. En algunas condiciones la MOD es convertida en MOP, la cual puede ser consumida por animales que se alimentan por filtración (llamados simplemente filtradores).

CONSORCIO V-5

Ing. Víctor Díaz Nuñez  
INGENIERO CIVIL  
CIP. 6530

CONSORCIO V-5

Ing. César Zumarán Calderón  
ING. AGRÍCOLA  
CIP. 31565

CONSORCIO V-5

Ing. Juan Quiroga Vite  
INGENIERO GEÓLOGO  
CIP. 55872

Conforme ocurre la descomposición de la materia orgánica se forman materias llamadas humus o sustancias húmicas, que a menudo son resistentes a una posterior descomposición; ello significa que pueden permanecer por algún tiempo como parte estructural del ecosistema. El humus es la sustancia amorfa o coloidal de color pardo amarillento oscuro, fácilmente visible en suelos y sedimentos y suspendida en el agua de ríos y lagos (y especialmente notable en la de pantanos o tremendales). Las sustancias húmicas son difíciles de caracterizar químicamente. Si el lector ha llevado un curso de química orgánica, podemos decir que consisten en cadenas de anillos de benceno aromáticas o fenólicas con cadenas laterales de complejos de nitrógeno y residuos de carbohidratos. No se comprende bien la función de las sustancias húmicas en los ecosistemas, pero sabemos que pueden estimular o inhibir el crecimiento vegetal, dependiendo de otras condiciones ambientales. En ciertas condiciones, como las que existieron en edades geológicas pasadas, mucha materia orgánica se fosilizó, primero como turba y después como carbón, petróleo y otros combustibles fósiles, de los cuales, ahora dependen nuestras sociedades industriales.

Por desgracia, los sub productos de la industria, incluyendo los petroquímicos (derivados del petróleo), se han hecho cada vez más abundantes y tóxicos en decenios recientes, y la tecnología del manejo y la reducción de los desechos han marchado a la zaga de nuestra capacidad de producir aquellas sustancias.

Ahora se considera la tercera categoría de la parte abiótica del ambiente de entrada de los ecosistemas: los factores físicos que definen las condiciones de existencia de la comunidad biótica. El clima (determinado por aspectos como temperatura, precipitación y humedad), la naturaleza fisicoquímica del suelo y el agua (p. ej. salinidad y pH) y los sustratos geológicos subyacentes, son algunas de las características principales que determinan los tipos de organismos presentes e, indirectamente, la forma en que se organizan en comunidades y su capacidad de utilizar la energía y los recursos disponibles.

## 8 GRADIENTES Y ECOTONOS

La biosfera se caracteriza por una serie de gradientes o zonaciones de factores físicos. Son ejemplos los gradientes de temperatura desde el Ártico hasta los Trópicos y desde las cimas de las montañas hasta los valles; los gradientes de humedad, desde los sistemas húmedos hasta los secos, junto con los principales sistemas climáticos; y los gradientes de profundidad desde el litoral hasta el fondo en cuerpos de agua. Con frecuencia, las condiciones y los organismos adaptados a ellas, cambian de manera gradual a lo largo de un gradiente, pero otras veces hay puntos de cambio abrupto, conocidos como ecotonos: tal es el caso de las fusiones de pradera y bosque o las zonas entre mareas en los litorales.

CONSORCIO V-5

Ing. Víctor Díaz Nuñez  
INGENIERO CIVIL  
CIP: 6530

CONSORCIO V-5

Ing. César Zamora Calderón  
INGENIERO AGRÍCOLA  
CIP: 55872

CONSORCIO V-5

Ing. Juan Quiroga Vite  
INGENIERO GEÓLOGO  
CIP 55872

Un ecotono no es simplemente una frontera o borde; el concepto supone la existencia de interacción activa entre dos o más ecosistemas (o fragmentos de ecosistemas), lo que da por resultado que el ecotono tenga propiedades que no existen en ninguno de los ecosistemas adyacentes (Decamps y Naiman, 1990).

Además de procesos externos que provocan discontinuidades en los gradientes, procesos internos como trampas de sedimentos, marañas de raíces, condiciones especiales suelo-agua, sustancias inhibitoras o actividad animal (construcción de represas por castores, por ejemplo) pueden mantener un ecotono como un sistema distinto respecto de las comunidades colindantes (Odum, 1990).

Algunas veces los ecotonos son poblados por más tipos y mayores cantidades de aves y animales de caza de los que se encuentran en el interior de las comunidades adyacentes, más homogéneas, como sucede en el cinturón de selva de neblina de los Andes Tropicales, con especies de altura y de la planicie amazónica. Los administradores de la vida silvestre llaman a esto el efecto de borde, y a menudo recomiendan plantaciones especiales entre pradera y bosque, por ejemplo, para incrementar el número de estos animales. Sin embargo, un borde abrupto, como el que se observa entre un bosque muy deforestado y uno intacto, puede ser un hábitat inadecuado, y la gran cantidad de borde en un paisaje domesticado/fragmentado suele reducir la diversidad. Los seres humanos tienden a recortar el paisaje en bloques (parcelas o fragmentos) y en franjas (retazos) con bordes abruptos, con lo que eliminan los gradientes naturales y los ecotonos. En América Tropical se habla delafilamiento del hábitat (Janzen, 1987) y de su retaceado (Feisinger, 1994).

### Comunidad biótica: hábitat y nichos

Todos estamos conscientes de que los tipos de organismos presentes, tanto en zonas rurales como en zonas urbanas en regiones específicas del orbe dependen no sólo de las condiciones de existencia -frio o calor, humedad o sequía-, sino también, de la situación geográfica. Cada masa de tierra extensa y cada océano poseen sus propias flora y fauna especiales. Así, esperamos ver canguros en Australia y en ningún otro lugar del planeta, o colibríes y cactus en el Nuevo Mundo pero no en el Viejo Mundo. Y los distintos continentes son los hogares originales de diferentes grupos étnicos humanos y sus plantas y animales domesticados. Desde el punto de vista de la estructura y la función globales de los ecosistemas, sólo es importante que se advierta que las unidades bióticas (especies, etc.) disponibles para su incorporación en comunidades varían con la región.

Lo que no se comprende bien, es que en distintas partes del globo con ambiente físico similar se encuentran especies ecológicamente similares, o equivalentes ecológicos. Las comunidades herbáceas de la parte templada semiárida de Australia están formadas por especies distintas de las que se encuentran en una región climática similar de América del Norte, pero realizan la misma función básica, como productores en el ecosistema. De modo similar, los canguros

(herbívoros) de los pastizales australianos son equivalentes ecológicos del bisonte y el antílope (o el ganado que los ha sustituido) en los pastizales norteamericanos, puesto que tienen una posición funcional similar en el ecosistema. Los ecólogos utilizan el término hábitat para hacer referencia al lugar en que puede encontrarse una especie, y el término nicho ecológico para aludir a la función ecológica de un organismo en su comunidad. El hábitat es la "dirección" de un organismo, por así decirlo (el lugar donde vive), y el nicho es su "profesión" (cómo vive, incluyendo la forma en que interactúa con otras especies y es restringido por ellas). Así, podemos decir, que el canguro, el bisonte y los bovinos domésticos, aunque no están estrechamente relacionados genéticamente, ocupan nichos similares (esto es, son equivalentes ecológicos) cuando están presentes en ecosistemas de pastizal (La forma de delimitar y medir la anchura, la superposición y otras dimensiones de un nicho son tema de amplia polémica entre los ecólogos).

Como ya se dijo, el ser humano ha modificado en gran medida la composición de las comunidades bióticas, dondequiera que se ha establecido, no sólo modificando el ambiente sino también eliminando algunas especies e introduciendo otras nuevas, tanto inadvertida como deliberadamente. Ya sea que una introducción implique sustituir una especie por otra en el mismo nicho u ocupar un nicho vacante, el efecto global sobre el funcionamiento del ecosistema puede ser neutro, benéfico o perjudicial.

## 9 LA BIOGEOQUIMICA EN EL EMBALSE PASTO GRANDE

### 9.1 ASPECTOS GENERALES

El estudio del ciclo biogeoquímico se usa para describir, estudiar la distribución y transporte, circulación de materiales de naturaleza química (materia orgánica, nutrientes, metales pesados, etc.) en un ecosistema acuático, sea de orden natural, antropogénica, se de origen externo o interno el cual determina el ciclo biogeoquímico de un ecosistema acuático (ríos o lagos), los cuales controlan el recambio y transformación de éstos en dichos ecosistemas, influyendo en la calidad del agua y en toda la estructura trófica.

Los ciclos biogeoquímicos en un ecosistema acuático constituyen parte del sistema regulador del estado trófico de éste, donde su estudio describe los movimientos y las interacciones de los elementos químicos esenciales para la vida acuática y la calidad del agua, a través de procesos físicos, químicos y biológicos. Los flujos de los elementos pueden ser *abierto*s, como el flujo de energía o *cerrados*, como el ciclo de la materia.

**El ciclo de la materia (elementos químicos) en un ecosistema acuático es una interacción permanente entre la fase biótica y la fase abiótica, es un proceso sin principio ni fin; es decir, participan en un reciclaje combinado y continuo, en una serie de procesos autorregulados; donde los desechos son el punto de partida para formar algo nuevo.**

**Este es el principio fundamental que rige el ciclo de los nutrientes y otros materiales, que determinan el estado trófico del embalse Pasto Grande, el cual debe ser estudiado a profundidad para comprender la dinámica y estado de "salud ambiental" del ecosistema.**

Los principales elementos químicos son: carbono (C), hidrógeno (H), nitrógeno (N), oxígeno (O), fósforo (P), azufre (S) que en exceso pueden constituir elementos contaminantes, donde los ciclos de estos elementos se combinan de diferentes maneras e interrelacionan entre sí con la participación de factores biológicos. Un solo elemento puede convertirse en el factor limitante en el desarrollo de un ecosistema. Por ejemplo la escasa oferta de nitrógeno o fósforo disponible en el ecosistema, generalmente limita los procesos vitales en los lagos.

Los ciclos se usan para evaluar cualitativamente la dinámica del recambio comparando las magnitudes en el depósito y los flujos en diferentes compartimentos del ecosistema. De particular interés son las escalas espaciales y temporales de las transformaciones y las fases de transición. Ver **Tabla N° 01**.

**Tabla N° 01: ASPECTOS BÁSICOS DE LOS CICLOS BIOGEOQUÍMICOS**

CRITERIOS	DESCRIPCIÓN
Origen y distribución de materiales	Origen interno o externo, natural o antropogénico.
Transporte	Patrones y rutas de flujo: escorrentía, infiltración, etc.
Transformación	Química por vías biológicas a través de procesos de oxidación o reducción, u otros mecanismos de naturaleza química.
Tiempo de residencia	Siglos, años, meses o días. Depende del tamaño de la estructura hidrológica e hidráulica del ecosistema.

Fuente: Elaboración propia

Los ciclos biogeoquímicos generalmente se **conceptualizan en modelos de compartimentos y se visualizan convenientemente por medio de cuadros y flechas**. Desde el punto de vista de la influencia geoquímica de los suelos, cabe resaltar que de los 80 elementos que se encuentran en él, y mediante el transporte en las corrientes de agua, la infiltración de ésta, sólo una tercera parte son componentes esenciales utilizados por la flora y fauna acuática. Entre los elementos principales que constituyen la materia orgánica se tiene: Carbono (C), Hidrógeno (H) Oxígeno (O), Nitrógeno (N), Fósforo (P) y Azufre (S); mientras que otros cumplen la función de matrices iónicas o estructuras de soporte, como: Calcio (Ca), Magnesio (Mg), Silicio (Si), Potasio (K), Sodio (Na), Cloro (Cl) y Fluor (F); también existen algunos otros metales esenciales a nivel de trazas, que participan en la actividad enzimática, generalmente como coenzimas (Fe, Mn, Co, Cu, Zn, Se, Mo). Hay algunos elementos importantes que no son utilizados por los organismos, donde el aluminio es muy abundante y otros son muy tóxicos como: Arsénico (As), Mercurio

(Hg), Cadmio (Cd), Plomo (Pb), Manganeseo (Mn), Cromo hexavalente ( $Cr^{+6}$ ), entre otros, cuyos efectos se manifiestan en el largo plazo en la matriz biológica.

Otro aspecto importante a tener en cuenta, es la participación de la energía en la configuración de la dinámica de los ecosistemas acuáticos. Ningún ecosistema puede funcionar, si no cuenta con la suficiente energía y sustancias o elementos químicos, como los mencionados anteriormente. Desde ese punto de vista es importante analizar la importancia de la energía, definida ésta como capacidad de hacer un trabajo, en el caso de un ecosistema acuático, sirve para activar y mantener la dinámica biológica de éste; donde el flujo de ésta se basa en las dos (2) **leyes de la termodinámica**: La primera ley expresa que la energía ni se crea ni se destruye, sólo se transforma de una forma de energía a otra, y la segunda ley expresa que cuando la energía cambia de una forma a otra, parte de ésta se convierte en calor perdido no útil.

Lo antes señalado en asociación con los factores biológicos rigen la naturaleza y comportamiento de la calidad del agua y, el estado trófico del embalse Pasto Grande, el cual es considerado un ecosistema acuático que se ha formado por el represamiento del río Vizachas, ubicado por encima de los 4000 m.s.n.m., el cual con el tiempo se ha convido en un ecosistema acuático maduro, (a juzgar por las condiciones tróficas actuales), esto en el entendido que un cuerpo de agua se caracteriza por la interrelación conjunta entre sus componentes biológicos y su abiótico, dando lugar al proceso denominado sucesión ecológica, entendida como el conjunto de cambios paulatinos que experimenta al través del tiempo (decenios) en el caso de lagunas artificiales, o siglos o milenios en el caso de grandes lagos, y que se superponen a fluctuaciones y ritmos más breves; por ende se puede considerar a la sucesión como un procesos de auto-organización o "maduración", que con el tiempo pueden ser irreversible. Otro componente secular de la sucesión. El ecosistema va cambiando lentamente, a través de los ciclos anuales, como resultado de la interacción entre el lago y el ecosistema terrestre circundante, intensificada por la acción del hombre (CEPIS 1996).

En el caso del embalse Pasto Grande, las diversas relaciones tróficas, donde el nivel de éste, depende de la calidad del agua de los afluentes, de la naturaleza geoquímica de los suelos de la cuenca, de las actividades socio económicas en el área de influencia de su cuenca, de los vertimientos de aguas residuales y de otras fuentes de contaminación, tanto de origen natural como antropogénicas, incluso de la calidad del sustrato sobre el cual se ha formado él embalse.

## 9.2 ORIGEN Y FORMACIÓN DEL EMBALSE PASTO GRANDE

En los últimos años, el color del agua del embalse Pasto Grande, cambió de un color azul intenso a un color marrón – rojizo; situación que ha generado diversas opiniones y especulaciones, con respecto a sus causas, principalmente atribuido al proceso de contaminación minera. Por ello se realizaron diversos monitoreos de la calidad físico, química y biológica del agua, tanto de los ríos afluentes como de la propia laguna, a cargo de la entidades del estado, como la Autoridad Nacional del Agua (ANA) y la Dirección General de Salud Ambiental (DIGESA); sin embargo a la fecha no se ha logrado explicar con precisión las

CONSORCIO V-5

Ing. Víctor Díaz Nuñez  
INGENIERO CIVIL  
C.I.P. 6530

CONSORCIO V-5

Ing. César Zumarán Calderón  
ING. AGRÍCOLA

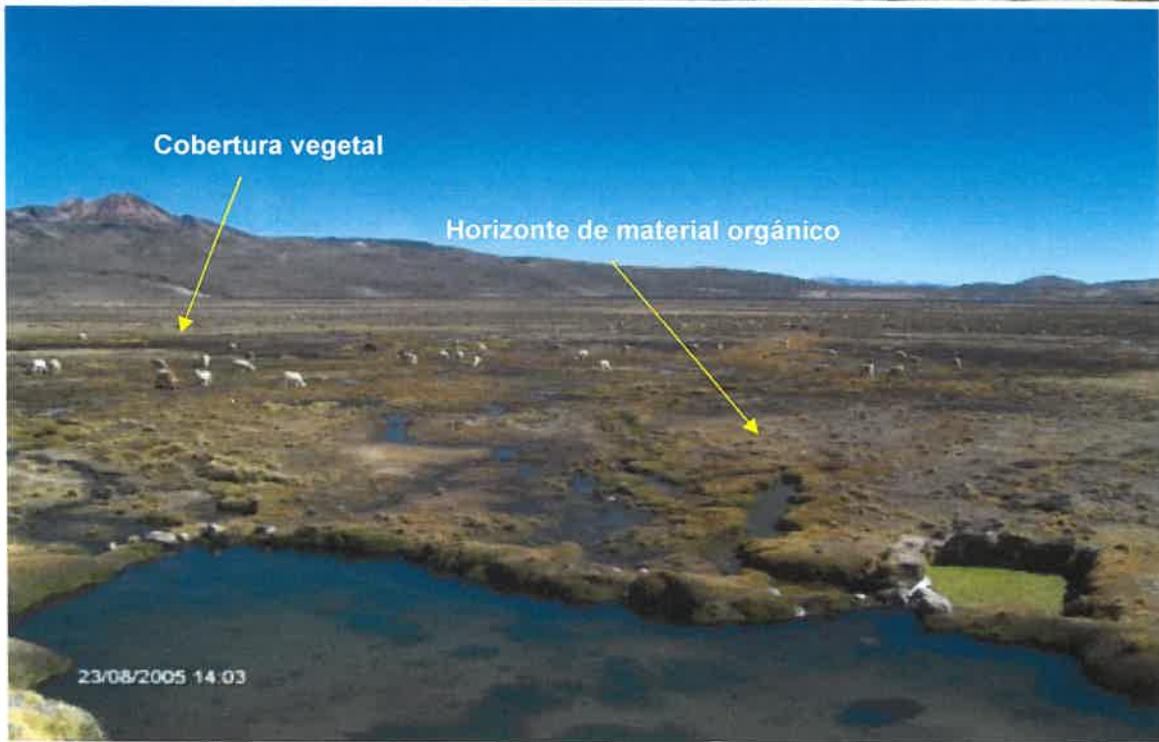
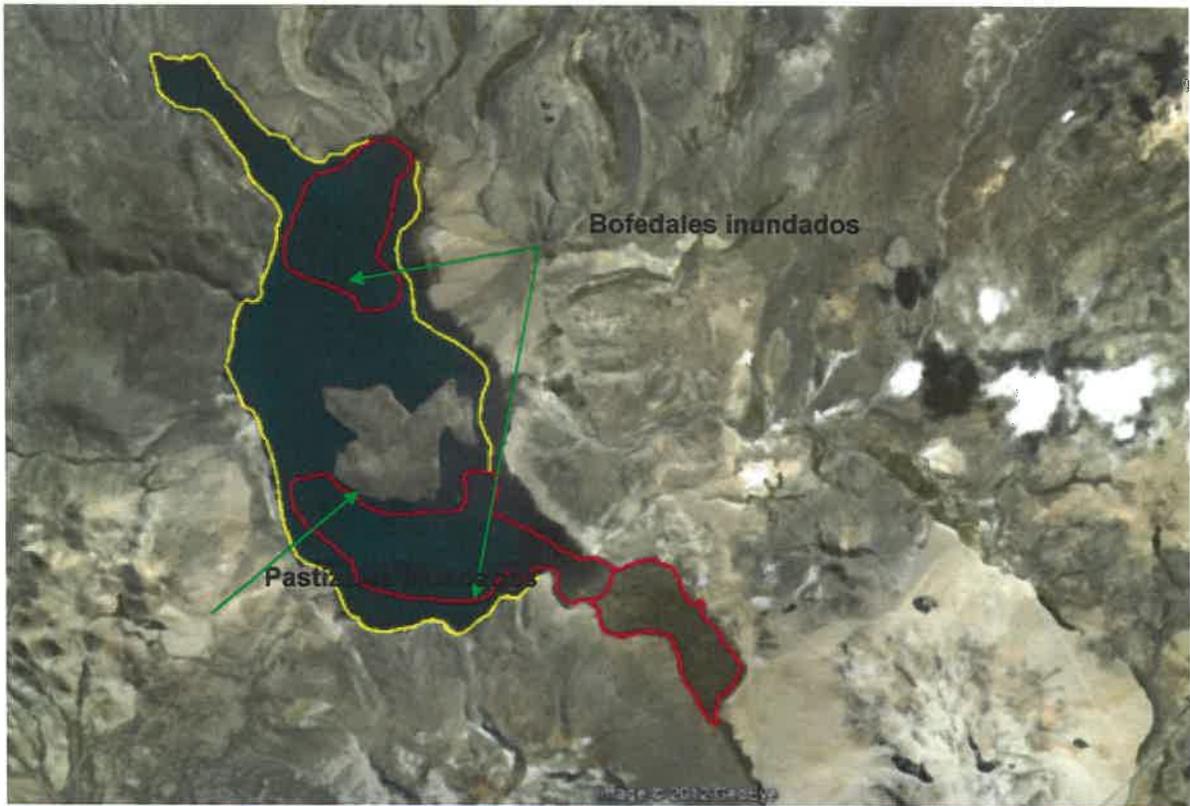
CONSORCIO V-5

Ing. Juan Quiroga Vite  
INGENIERO

verdaderas causas de tal cambio, esto debido a que nunca se ha realizado una vigilancia sistemática de la variación de la calidad del agua del embalse. Tampoco ha evaluado el lugar donde se ha formado dicho ecosistema. Por ende, si no se estudia de manera integral y sistemática la calidad del agua desde el punto de vista físico, químico e hidrobiológico; es casi imposible poder explicar con precisión la causa, la naturaleza y dinámica biogeoquímica del ecosistema.

El embalse Pasto Grande cuyo volumen de almacenamiento es del orden de los 185 MMC, ubicado a una altitud de 4520 m.s.n.m, se formó a partir del represamiento del río Vizcachas en 1989 (23 años); el cual tiene una superficie aproximada de **46 km<sup>2</sup>** (4600 ha.), cuyos ríos afluente principales son el Millojahuirá, Queñuane – Chapoco, Atanjarane, Viscachune, Patara y Tocco. Se formó sobre una superficie considerable de bofedales, estimado en aproximadamente 1500 hectáreas, y alrededor de 3100 hectáreas de pajonales. Los bofedales son ecosistemas característicos de la zona alto andinas del sur del Perú, formados por gran cantidad de materia orgánica (...), contenida en la cobertura vegetal propia, y por material orgánico en proceso de descomposición debido a la sucesión ecológica. Este tipo de ecosistemas son de gran importancia para la ganadería alto andina (alpacas, ovinos y llamas), las cuales también aportan materia orgánica y nutrientes contenidas en las excretas; igualmente los pastizales conformados principalmente por gramíneas, sobre los cuales también se desarrolla la ganadería, en similares condiciones a los bofedales. Ambos ecosistemas, han sido fuentes importantes de materia orgánica y nutrientes, las cuales al ser inundados permanentemente, a través de los años ha ocasionado la descomposición de toda ésta materia orgánica, convirtiéndose en fuentes de eutrofización interna. Tanto los bofedales como los pastizales inundados pertenecían a las Comunidades Campesinas de Pasto Grande, conformadas más de 140 familias, las cuales con la inundación de los bofedales y pastizales se vieron obligados a cambiar su forma de vida y sus actividades económicas, pasando de productores de alpacas, llamas y ovinos a pescadores truchas. Ver **Figuras N° 02-06**.

Figura N° 06



Vista N° 1:

CONSORCIO V-5

*[Signature]*  
 Ing. Víctor Díaz Nuñez  
 INGENIERO CIVIL  
 CIP. 6530

CONSORCIO V-5

*[Signature]*  
 Ing. Juan Zumarán Calderón  
 ING. AGRÍCOLA  
 CIP. 31565

CONSORCIO V-5

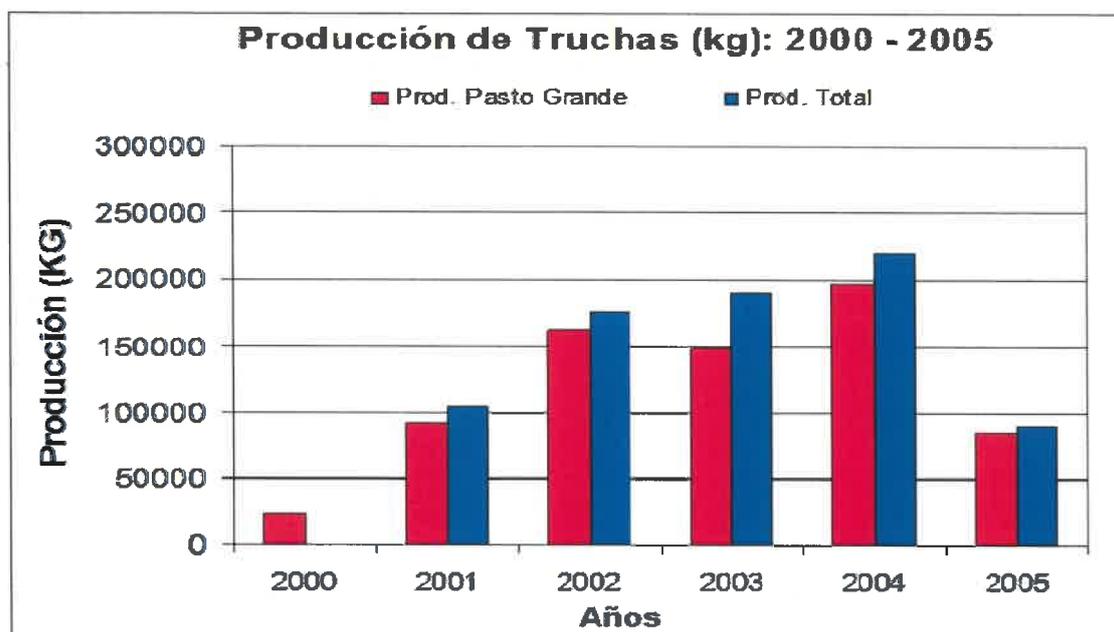
*[Signature]*  
 Ing. Juan Quiroga Vite  
 INGENIERO GEÓLOGO  
 CIP. 55872

Panorámica en la que se aprecia parte de un bofedal aledaño al embalse Pasto Grande, continuidad del bofedal inundado por el embalse. Se aprecia la distribución de la cobertura vegetal, y el horizonte del material orgánico que ha sido inundado por la formación del embalse, los cuales constituyen la fuente de materia orgánica y nutrientes.

### 9.3 PROBLEMÁTICA

Después de 16 años de operación el año 2005 las aguas del embalse Pasto Grande, empezaron a cambiar de color, siendo éste un indicador objetivo de la alteración del estado trófico del ecosistema, como consecuencia del **“estancamiento” de las aguas, debido a la lenta renovación del agua a nivel del embalse**, así como al posible re suspensión de nutrientes (N y P) desde la interface agua, aspecto que no ha sido evaluado con criterios limnológicos, cada vez que sucede, el efecto inmediato se manifiesta en el cambio de la coloración del agua; y en sus inicios (2005) ocasionó la mortandad de trucha, que terminó afectando la economía de las familias dedicadas a la pesca, sospechando que esto se debía a la contaminación del agua, causada por fuentes externas, sin embargo a la fecha no se ha logrado establecer las causas. Hasta antes del problema de calidad del agua, en el embalse Pasto Grande, los volúmenes de pesca eran significativos, llegando a las 200 TM en el 2004.

Gráfico N° 01



Comportamiento de los volúmenes de pesca de trucha en el embalse Pasto Grande.

La pesca de trucha en dicho cuerpo de agua, era llevada a cabo por los pescadores de la empresa Comunal de Producción y Servicios Lago Azul (ECOPS-LAGO AZUL), la cual tuvo su mejor época en el año 2004, empezando a disminuir drásticamente a partir de año 2005.

### 9.4 EVALUACIÓN DE FUENTES CONTAMINANTES EXTERNAS

La contaminación de una laguna, generalmente se debe a causas antropogénicas, que generan descargas de aguas residuales municipales, las cuales contienen altas concentraciones de materia orgánica, materia oxidable, nutrientes (N y P). Desde ese punto de vista, para establecer que fuentes de contaminación están alterando la calidad del agua y alterando el estado trófico del ecosistema Pasto Grande, se ha realizado la identificación cualitativa de las posibles fuentes de contaminación que existen en el ámbito de la cuenca de dicho ecosistema. Ver **Cuadro N° 01**.

**Cuadro N° 01. Fuentes contaminantes en el ámbito de embalse Pasto Grande**

FUENTE DE CONTAMINACIÓN	PRESENCIA		EVALUACIÓN
	Sí	No	
Presencia de vertimientos de aguas residuales domésticas o municipales		X	En el ámbito de la cuenca no existen ciudades o centros poblados que generen y descargas de aguas residuales.
			Sólo existe el caserío de Pasto Grande con no más de 50 familias.
Presencia de vertimientos industriales		X	No existe ninguna actividad industrial
Vertimientos minero metalúrgicos	X		Mina Santa Rosa de la empresa minera Aruntani S.A.C, en proceso de cierre genera vertimientos. Aguas ácidas de mina, procedentes de la bocamina Cacachara.
Fuentes de contaminación "natural"	X		Filtraciones de aguas ácidas en la cabecera del río Millojahuirá.
			Aporte de aguas termales al río Patara
Vertimientos pecuarias	X		En el ámbito de la cuenca existe actividad ganadera

Fuente: Elaboración propia

Vista N° 02



CONSORCIO V-5

ing. Victor Diaz Nuñez  
INGENIERO CIVIL  
CIP. 6530

CONSORCIO V-5

ing. César Zumarán Calderón  
ING. AGRÍCOLA  
CIP 31565

CONSORCIO V-5

Ing. Juan Quiroga Vite  
INGENIERO GEÓLOGO  
CIP 55772

Como se observa en el cuadro anterior, en el ámbito de la cuenca del embalse Pasto Grande no existen actividades socio económicas que generen vertimientos de aguas residuales domésticas, municipales o industriales que aporten contaminantes orgánicos, material oxidable y nutrientes; excepto la actividad minera en proceso de cierre (mina Santa Rosa de propiedad de Aruntani S.A.C), que descarga aguas minero metalúrgicas tratadas; sin embargo las fuentes de contaminación más importantes están representadas por afloramientos de aguas termales, constituyendo estas en las principales fuentes de metales pesados y Arsénico (metaloides), aguas calificadas como drenaje ácidos de roca (DAR), de origen natural, **pero que en ningún caso pueden influenciar en el cambio de nivel trófico del ecosistema**; entonces ¿Cuál es la causa del cambio de nivel trófico? ¿Cuál es la causa de la coloración rojiza?

El drenaje ácido de roca (DAR) (Ver. **Figura N° 7**), corresponde a las aguas fuertemente ácidas y corrosivas, como consecuencia de la oxidación de minerales sulfurosos en zonas donde existe abundante pirita, material químicamente conocido como sulfuro de hierro ( $\text{Fe}_2\text{S}_3$ ) expuestas al aire o aguas con oxígeno. La oxidación de los sulfuros produce ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ), el cual ataca a las rocas disolviendo los metales y metales pesados contenidos en él, generando la llamada "contaminación natural", porque afecta la calidad del cuerpo receptor. Aguas abajo, suelen formarse precipitados minerales de color amarillo o rojizo, siempre y cuando exista la presencia de la pirita, por lo tanto en algunos casos no se presenta la coloración típica del agua ácida. La existencia de cuerpos de agua con DAR en el ámbito de cualquier cuenca puede reconocerse a simple vista por la formación de dichos minerales, por la precipitación de óxidos e hidróxidos férricos, tal es el caso de la cuenca del embalse Pasto Grande. Cabe destacar que cuando las aguas ácidas se mezclan con otros cursos de agua, se neutraliza la acidez y en los primeros metros suelen precipitar algunos óxidos hidróxidos de aluminio que recubren el fondo de las rocas. Un tema conocido por especialistas y académicos, pero no por la población en general.

CONSORCIO V-5

  
Ing. Victor Díaz Nuñez  
INGENIERO CIVIL  
CIP. 6530

CONSORCIO V-5

  
Ing. César Zumarán Calderón  
ING. AGRÍCOLA  
CIP. 31565

CONSORCIO V-5

  
Ing. Juan Quiroga Vite  
INGENIERO GEÓLOGO  
CIP. 55372

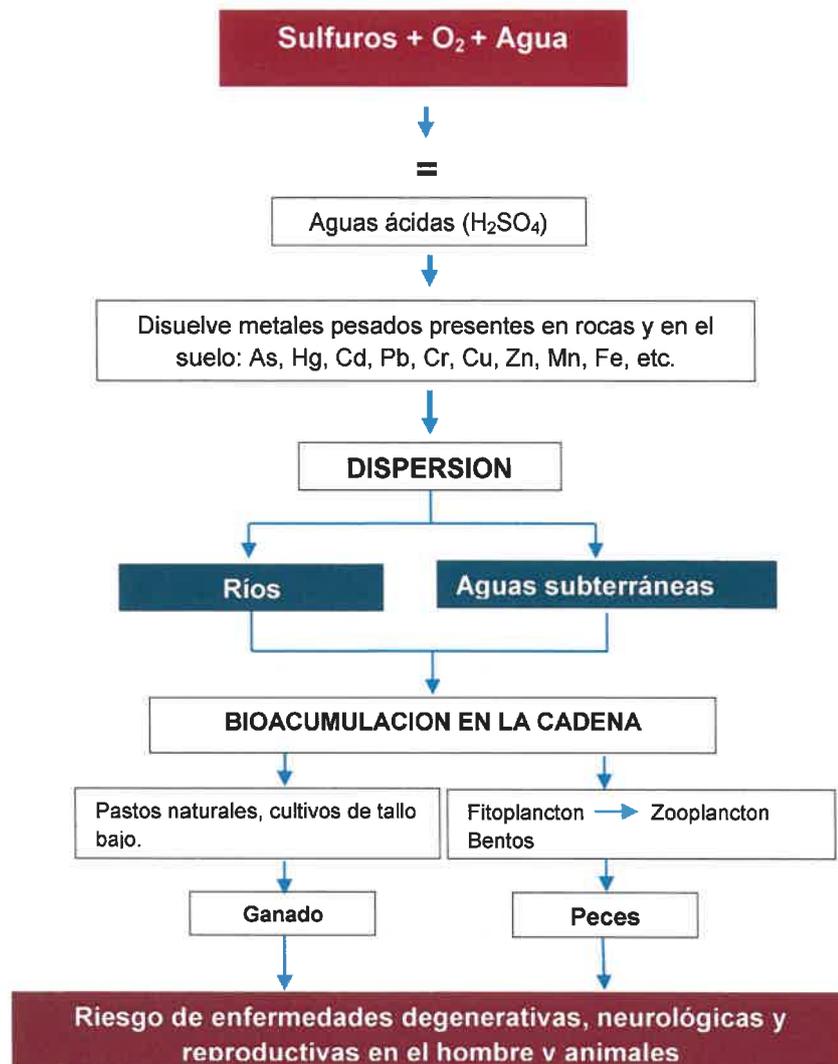


Figura N°7

Esquema de la generación de aguas ácidas y los efectos en la cadena trófica.

La presencia de aguas ácidas y los cuerpos de agua afectados por éstas, en la zona de influencia del embalse Pasto Grande se reconocen fácilmente y a simple vista por la formación de dichos minerales, por la precipitación de óxidos e hidróxidos férricos que colorean el lecho del cuerpo de agua de un color rojizo o amarillento. Cabe destacar que cuando las aguas ácidas se mezclan con otros cursos de agua de mayor caudal y de pH básico, la acidez se neutraliza, dando lugar que en los primeros metros se precipiten algunos óxidos e hidróxidos de aluminio que recubren el material del lecho del cuerpo de agua. Este es el caso del lecho del río Millojahuiria y Patara. En el cuadro siguiente se presenta las características físicas visuales de los cuerpos de agua que drenan hacia el embalse Pasto Grande. Ver **Cuadro N° 02**.

Cuadro N° 02  
Color de los Cuerpos de Agua que drenan al embalse Pasto Grande

N°	RÍOS AFLUENTES AL EMBALSE	COD.	GPS	ALTITUD (msnm)	OBSERVACIÓN COLOR APARENTE DEL AGUA.	pH
1	Huiskalljacco	A-1	N.8156244 E.0367654	4540	Cristalino transparente	3,3
2	Millojahuirá	A-2	N.8144226 E.0372281	4534	Amarillo – marrón Rojizo.	3,94
3	Millojahuirá aguas cabecera	A-2-1	N. 8158405 E. 0371593	4694	Amarillento Marrón Rojiso Azufrado	-
4	Queñuani	A-3	N. 8153172 E. 0373350	4527	Transparentecristalino	-
5	Antajarane	A-4	N.8151716 E.0373646	4539	TransparenteTenue	7,32
6	Patara aguas cabecera	A-5	N. 8147917 E. 0381399	4588	BlancoLechoso tenue.	-
7	Cacachara aguas abajo Mina Sta. Rosa	A-5-1	N. 8155825 E. 0385780	4675	Transparente Cristalino.	-
8	Cotañani aguas arriba Mina Sta. Rosa	A-5-3	N. 8160069 E. 0388155	4813	Transparente Cristalino.	-
9	Acosiri aguas arriba Mina Sta. Rosa	A-5-4	N. 8158877 E. 0390369	4827	Amarillo Tenue Transparente	-
10	Tocco	R-6- S	N. 8139558 E. 0379410	4536	Verde Tenue Transparente.	-
11	Incacachi	A-7	N. 8148405 E. 0369107	4529	Transparente Tenue.	-
12	Canal Efluente (salida) del Embalse	E-5-3	N. 8150694 E. 0368901	4520	Amarillo Tenue.	-
13	Manantial Alevinaje (Chapioco).	S-1- S	N.8143556 E.0372480	4535	Transparente cristalino	-

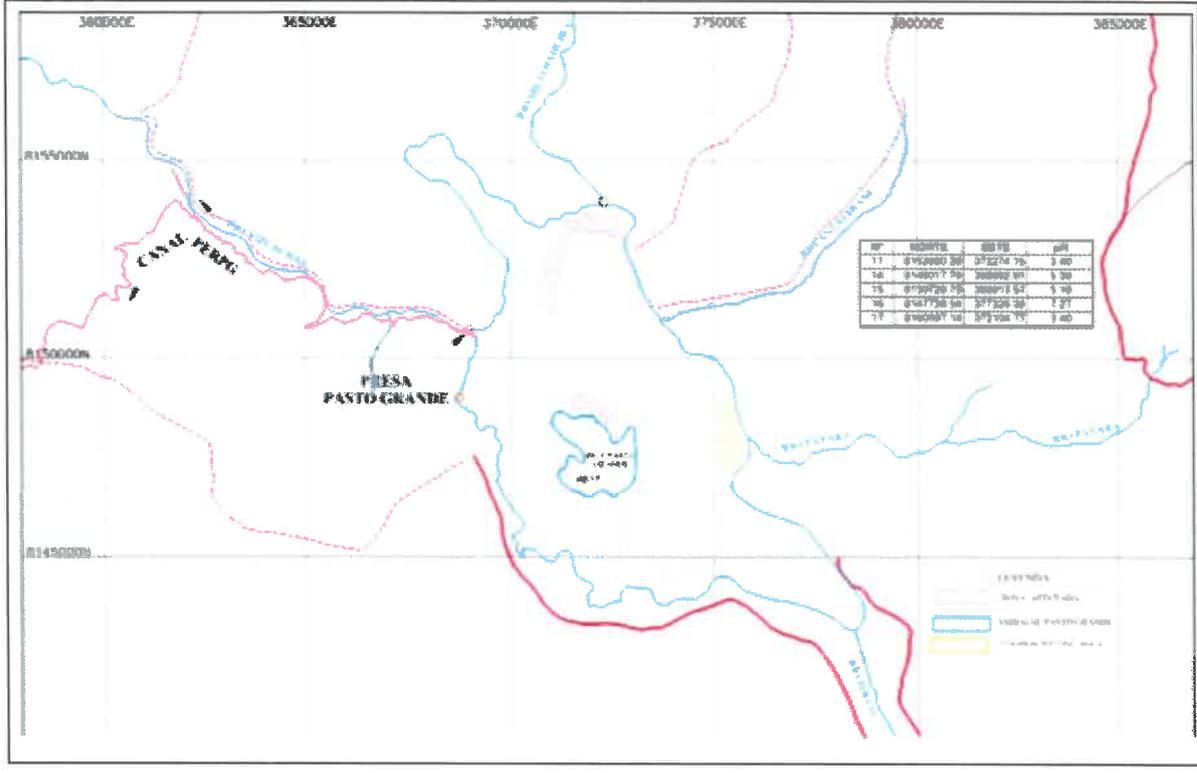
Fuente: Estudio de Prefactibilidad "Recuperación y Conservación de la Calidad de las Aguas del Embalse Pasto Grande" - Proyecto Especial Regional Pasto Grande.

Como se observa en el cuadro anterior, de los 13 cuerpos de agua entre riachuelos y manantiales, 4 de ellos (30,8%) son de color amarillento, lo que indica que sus aguas son de naturaleza ácida.

El cambio de coloración del embalse, en un inicio se presentó en determinados sectores (ver **Figura. N° 08**), principalmente en la zona norte del embalse, en zonas aledañas a la isla Pasto Grande y en otras áreas poco significativas al sur de la isla. Estos fueron los primeros indicios del inicio de un proceso de cambio trófico del ecosistema acuático, el que a la fecha no ha sido estudiado desde el punto de vista de la limnológica (ciencia de los lagos), aunque en realidad se

aplica al estudio de toda clase de aguas epicontinentales, fluyentes o estancadas (Colmenar-2008).

Figura N° 8



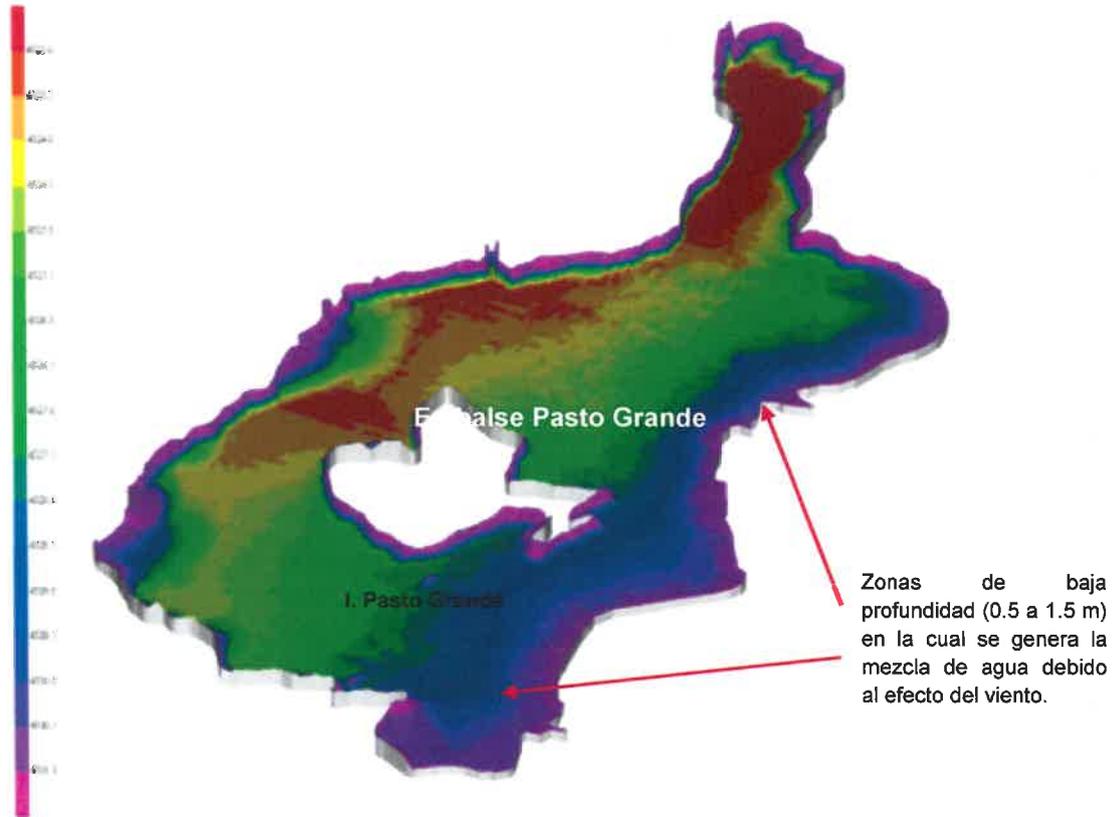
Mapa en la que el PREPG grafica las áreas afectadas por el cambio de coloración del embalse Pasto Grande.

El estudio limnológico involucra la evaluación sistemática de muchos parámetros, físicos, químicos y biológicos, de los cuales los más importante son: nitrógeno total (NT), fósforo total (PT) (ambos conocidos como fertilizantes de las aguas), clorifla "a", transparencia (Z), temperatura (T°), determinación de la termoclina, Oxígeno disuelto (OD), Sulfuros, etc.; aspecto que a la fecha no se han estudiado sistemáticamente.

**9.5 CARACTERÍSTICAS LIMNOLÓGICAS DEL EMBALSE PASTO GRANDE**

El embalse Pasto Grande es un cuerpo de agua artificial, formado por el almacenamiento de agua, cuya capacidad de almacenamiento es del orden de los 185 MMC, que tiene una superficie aproximada de 4 600 hectáreas. Tienen una forma casi alargada, con una longitud máxima de 16 Km., un ancho máximo de 6 Km., una longitud de perímetro de 44 Km. y una profundidad media de 8,30 m (PRPG 2012.). Cabe destacar que el volumen obtenido mediante el software Hypack 2009ª fue de 194 555 662,80 m³ con un área total de 45 616 313,70 m² referidos al NAMO.

**Figura N° 9**  
**Mapa Batimétrico Del Embalse Pasto Grande**



En la **Figura N° 09**, las zonas de color magenta, representan las zonas de menor profundidad del embalse que varían entre 0,5 m y 1,5 m (zonas muy someras), ubicada en el extremo este del embalse. La zona de color rojo representa las zonas más profundas, las cuales se encuentran en el extremo Nor-oeste del embalse y Oeste frente a la represa la cual es de aproximadamente 8 m, luego en la zona central se observa un relieve casi plano en color verde de igual manera en la zona sur en una mayor extensión donde se puede observar la presencia de dos islotes pequeños.

La construcción y operación del embalse, desde la década de los años 80, significó la transformación del ambiente lóxico (río Vizcachas) en uno léntico, en este caso el embalse Pasto Grande; caracterizado por una zonificación horizontal y una vertical asociada a las condiciones hidrográficas y a la morfometría, (Håkanson, 1981; CEPIS, 1990). Los cambios en la calidad del agua a través del tiempo, han sido modificadas debido al cambio en las condiciones del régimen hidráulico, a la naturaleza del suelo sobre el cual se formó el embalse, así como a la calidad natural del agua procedente de la cuenca de drenaje; aspectos que han influenciado negativamente en la calidad del agua del embalse.

La presencia de material orgánico contenido en la cobertura vegetal inundada (pajonales), cuyo contenido de materia orgánica oscila entre 91,0% y 95,7% y de fibra cruda de 39,8% a 45,3% (Genin, Abasto y Tichit (1995) y los vegetales de los bofedales; por esa razón, es que pese al tiempo transcurrido, ambos componentes constituyen la principal fuente de **contaminación interna**, debido a que no existe una renovación significativa del volumen de agua almacenado. Ver **Cuadro N° 03**.

Cuadro N° 03

**Identificación y evaluación de las Fuentes de Contaminación y Eutrofización del embalse Pasto Grande**

FUENTES CONTAMINANTES	ORIGEN	DESCRIPCION	PRIORIZACIÓN	OBS.	EFFECTOS
Materia orgánica	Natural: Interior del embalse Pasto Grande	Pastizales (91% a 95.7% de materia orgánica y 39.8% a 45.3% de fibra) y bofedales inundados y descompuestos a través del tiempo	Primer orden	Descomposición lenta, favorecida por las bajas temperaturas del agua.	Cambio del nivel trófico
Material Oxidable					
Fósforo total					
Nitrógeno total					
Aguas residuales municipales	Inexistente	.-	.-	Inexistencia de centros poblados urbanos	Ninguno
Residuos sólidos	Inexistente	.-	.-		

Fuente: Ocola y Flores 2008.

En el ámbito de la cuenca del embalse Pasto Grande no existen ni centros poblados rurales, ni urbanos que generen y descarguen aguas residuales domésticas y municipales; es decir, no existen fuentes externas de contaminación y eutrofización, **por lo tanto, la única fuente de contaminación y aporte de nutrientes que están afectando el nivel trófico es principalmente de origen interno.**

Por otro lado, al no existir una renovación suficiente de agua fresca a nivel del embalse Pasto Grande, situación que asociada a la posible re suspensión desde los sedimentos de N y P debido a factores ambientales ocasiona el incremento temporal de la carga interna de estos nutrientes (N y P), algo de material oxidable (DQO) y materia orgánica (DBO<sub>5</sub>),

CONSORCIO V-S

Ing. Víctor Díaz Nuñez  
INGENIERO CIVIL  
CIP. 6530

CONSORCIO V-S

Ing. César Zumarán Calderón  
ING. AGRICOLA  
CIP. 31565

CONSORCIO V-S

Ing. Juan Quiroga Vite  
INGENIERO GEÓLOGO  
CIP. 65378

**cuya distribución en la columna de agua, dependerá en gran medida de la estratificación térmica, de la velocidad de las corrientes de agua y del pH.**

Se estima que la descomposición de la materia orgánica que existió en el fondo del embalse, se dio a través de procesos anaeróbicos lentos, favorecidos por las bajas temperaturas del agua, lo cual en su momento implicó la liberación de  $H_2S$ ,  $CO_2$ ,  $NH_4^+$ , ácidos orgánicos, alcoholes, fosfatos ( $PO_4$ ), nitratos ( $N-NO_3$ ), etc. los cuales posiblemente continúen dándose en un ciclo cerrado, donde su concentración se incrementan exponencialmente en determinados y cortos periodos de tiempo, favorecidos por la retención hidráulica del embalse, los cuales también pueden disminuir significativamente debido a la actividad (consumo) biológica intensa que se presenta en la columna de agua; por ello, cuanto más tiempo permanezca "estancada" el agua, mayores serán los problemas con la calidad del agua, la cual terminará afectando el equilibrio ecológico.

CONSORCIO V-5

Ing. Víctor Díaz Nuñez  
INGENIERO CIVIL  
CIP. 6530

CONSORCIO V-5

Ing. César Zumarán Calderón  
ING. AGRÍCOLA  
CIP. 31565

CONSORCIO V-5

Ing. Juan Quiroga Vite  
INGENIERO GEÓLOGO

00 042



**E.P.G - 2007**

Aguas verdosas ligeramente transparentes: indican la presencia de algas verdes (fotosintéticas).

**E.P.G – FEB. 2008**

Aguas de color amarillento: indican la presencia de una intensa floración algal (blooms).

**Julio 2011**

Vista N° 03: Comportamiento de la coloración del agua desde el año 2001.

En julio del 2011, se observó, que gran parte del embalse Pasto Grande tenía un color rojizo a púrpura, lo que indica que el ecosistema es afectado por una floración algal importante que pone en evidencia el desequilibrio trófico. Aspecto que no fue estudiado adecuadamente en su oportunidad. En la **Vista N° 03**, se presenta la secuencia de fotografías, que ponen en evidencia el cambio de coloración de las agua del embalse Pasto Grande.

CONSORCIO V-5

Ing. Víctor Díaz Nuñez  
INGENIERO CIVIL  
CIP. 6530

CONSORCIO V-5

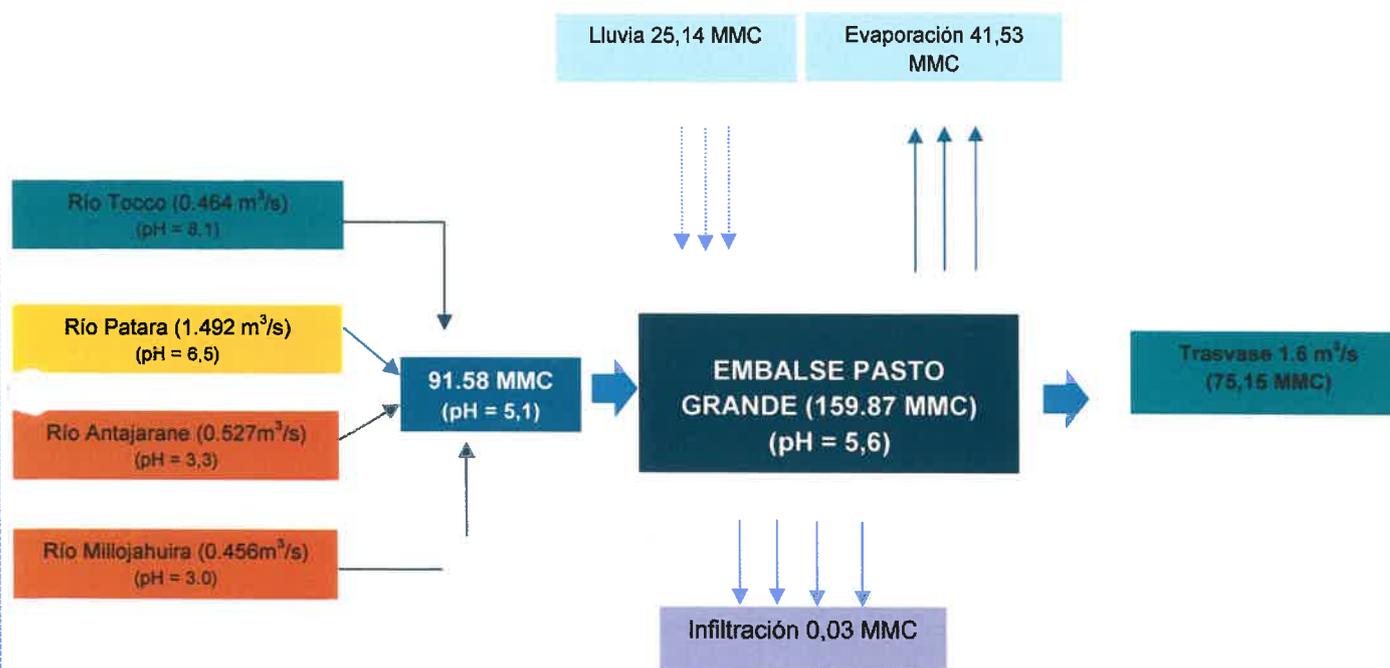
Ing. César Zumarán Calderón  
ING. AGRÍCOLA  
CIP. 31565

CONSORCIO V-5

Ing. Juan Quiroga Vite  
INGENIERO GEÓLOGO  
CIP. 55872

Otro aspecto importante que se ha tomado en cuenta en la evaluación, es el balance hidrológico del embalse Pasto Grande, por que juega un papel determinante en el comportamiento de la biología del ecosistema acuático. Ver **Figura N° 10**.

Figura N° 10



Esquema general de la dinámica hidrológica del embalse Pasto Grande. Fuente. Tomado y adaptado de Vera. G.-2012.

El esquema de la dinámica hidrológica del embalse Pasto Grande, permite tener una idea de lo que ocurre, ecológicamente hablando. En primer lugar, se observa, que existen cuatro ríos afluentes importantes, localizados alrededor del cuerpo de agua, cuyo caudal promedio anual es del orden de los  $2,93 \text{ m}^3/\text{s}$  (según el estudio Hidrológicos del embalse Pasto Grande elaborado por el Ing. G. Vera 2012), donde su calidad no está influenciada por actividades poblacionales importantes, excepto la actividad minera en la mina Santa Rosa (actualmente, en proceso de cierre); cuyo volumen total, incluyendo la suma de otros drenajes e infiltraciones puede llegar un volumen total anual máximo del orden de los 200 MMC, requiriendo alrededor de 2,2 años para alcanzar el volumen de almacenamiento ordinario de 200 MMC, dependiendo del año hidrológico; es decir, si es húmedo o seco. Evaluaciones realizadas por el Ing. José Barrientos en el 2005, indican que se trasvasan anualmente alrededor de **71,15 MMC/año**, el cual representa el **44,4%** con respecto al volumen de almacenamiento ordinario (159,87 MMC); es decir que **88,72 MMC** son aguas "estancadas".

Esta cifra de por sí nos da una idea clara del comportamiento ecológico del cuerpo de agua, el cual se comporta como una gran "laguna estática", principalmente, el agua que se localiza hacia el norte y sur del embalse. Cabe destacar que el tiempo de retención hidráulica del embalse Pasto Grande, es un aspecto importante, que en asociación a otros factores

ambientales externos, como la temperatura, los sedimentos orgánicos, la profundidad del cuerpo de agua y la mezcla; son la causa fundamental que está afectando la calidad del agua y que ha ocasionan el cambio trófico del cuerpo de agua.

Con la finalidad de tener una idea del tiempo de residencia del agua en el embalse Pasto Grande se ha calculado dicho tiempo, aplicando la ecuación propuesta por el CEPIS en 1996, y tomado como referencia el volumen actual del embalse, el cual es de aproximadamente 193 MMC.

$$T_w = V/Q_d$$

$T_w$  = Tiempo de residencia o de retención hidráulica  
 $V$  = Volumen del embalse  
 $Q_e$  = Volumen extraído anualmente por el afluente.

$$T_w = \frac{V}{Q_d} = \frac{193 \text{ MMC}}{75,15 \text{ MMC}} = 2,6 \text{ años}$$

El tiempo de residencia del agua en el embalse Pasto Grande, es de aproximadamente **2,6 años**, considerado como demasiado tiempo para renovar el agua; lo que permite sostener, que dicho cuerpo de agua, funciona como una **gran estanque de agua**; así mismo este periodo de residencia hidráulica, contribuye notoriamente a la retención del nutrientes los cuales participan en un ciclo casi cerrado, es decir donde aparte, del material orgánico y nutrientes de origen autóctono, más los aportes externos quedan el ecosistema.

## 10 LA HIDRÁULICA DE LA RENOVACIÓN DE AGUA DEL EMBALSE

La vida útil del embalse Pasto Grande depende de la cantidad de sedimentos que este es capaz de retener y no depende únicamente, de los sedimentos que son aportados desde la cuenca sino también de la proporción de ellos que son retenidos.

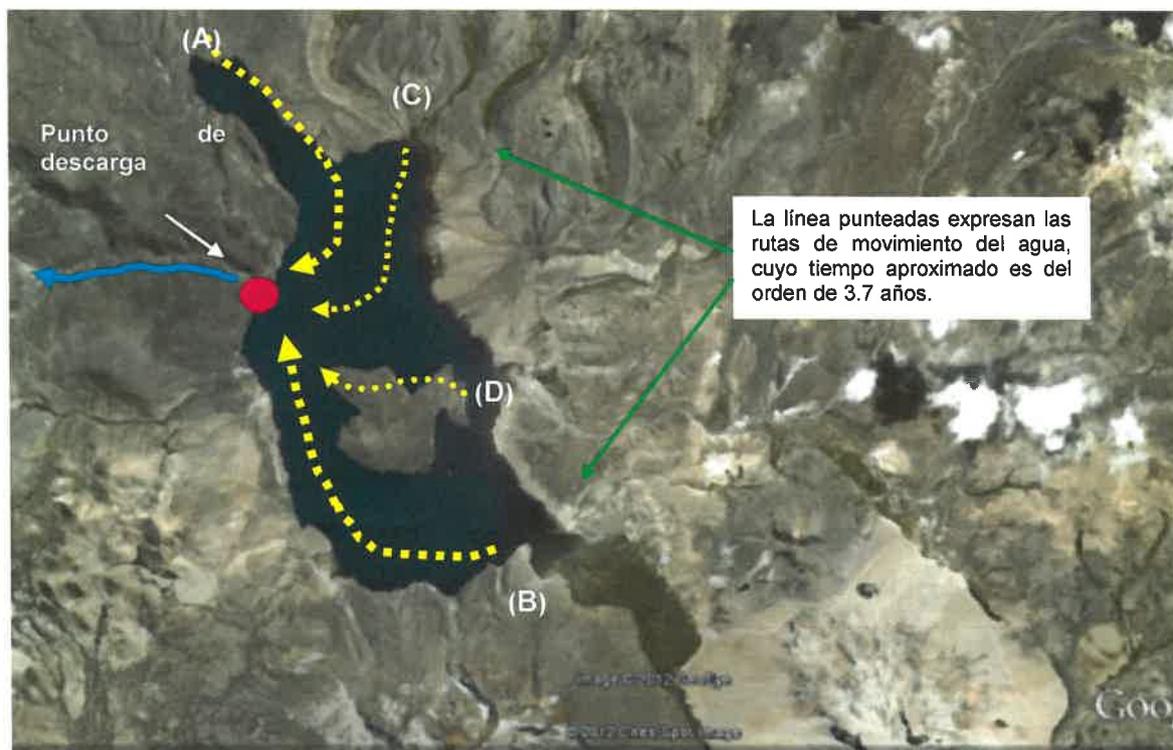
La eficiencia de retención depende de la velocidad de caída de las partículas que constituyen el sedimento y del caudal que fluye a través del embalse.

Aun cuando la eficiencia de retención del embalse disminuye con el almacenamiento progresivo, no es práctico calcular la eficiencia para periodos menores de 10 años ya que las variaciones anuales en los aportes de sedimentos pueden producir distorsiones en el análisis cuando se usan periodos muy cortos.

Con respecto al arrastre de los sedimentos, es muy poco probable que éste sea significativo; ya que los únicos sedimentos que pueden ser descargados mediante la compuerta e fondo, son los

que se encuentran en suspensión; mientras que los que llegaron al fondo del embalse, no podrán ser eliminados fácilmente por medio de la descarga de fondo; debido a que hidráulicamente la descarga del agua es puntual, es decir sólo arrastra el agua que se encuentra próxima al punto de descarga; por lo tanto la renovación del volumen de agua desde la cola del embalse, o en de las zonas alejadas al punto de descarga, demorará mucho tiempo en ser renovada por agua fresca.

Figura N° 11



No se tiene información respecto a la hidrodinámica de descarga del embalse Pasto Grande, sin embargo debido la ubicación del punto de descarga con relación a los extremos más alejados, se puede inferir que el desplazamiento del agua es muy lento, lo que definitivamente influye en la retención de material contaminante; así como a la generación de un ciclo biogeoquímico cerrado y acumulativo, como consecuencia del largo periodo de retención hidráulica.

El tiempo de retención hidráulica de un embalse permite tener una idea clara de su evolución y conocer el patrón interno de circulación. Entre más tiempo permanezca el agua "estancada", mayor es la probabilidad de e nivel trófico cambie de un nivel a otro en periodos de tiempo cortos, tal como lo que sucede en el embalse Pasto Grande.

CONSORCIO V-5

Ing. Víctor Díaz Nuñez  
INGENIERO CIVIL  
CIP. 6530

CONSORCIO V-5

Ing. César Zumarán Calderón  
ING. AGRÍCOLA  
CIP. 31565

CONSORCIO V-5

Ing. Juan Quiroga Vite  
INGENIERO GEÓLOGO

## 11 LOS SEDIMENTOS Y LA EUTROFIZACIÓN DEL EMBALSE PASTO GRANDE

Con respecto a la presencia de sedimentos, es muy escasa la información generada, sin embargo según el Estudio de Batimetría del Embalse Pasto Grande realizado en el 2012, se ha estimado que el sedimento acumulado es de aproximadamente **5 444 337 m<sup>3</sup>**, lo que significa que en 18 años de operación del embalse, se ha perdido alrededor de 71% respecto al volumen muerto (5 MMC), previsto en el diseño. El volumen actual de sedimentos equivale a un volumen de cobertura del orden de **120 cc/m<sup>2</sup>**, lo que puede constituir una pequeña capa de sedimentos asentado sobre el lecho natural orgánico.

Hay que señalar que la presencia de sedimentos en el embalse desempeña un papel crucial en la dinámica del ecosistema, tanto desde el punto de vista hidrológico como biológico. Su interés a nivel ecológico reside en que, por una parte, los sedimentos constituye una fuente importante de registro de información de carácter químico y biológico, ya sea de origen interno como externo. Por otra parte, los sedimentos, no pueden ser considerados como un simple compartimiento compactado e inactivo del ecosistema, sino que es la causa de numerosos procesos biogeoquímicos que determina el ciclo global de numerosos elementos y compuestos químicos a nivel del embalse. Hay que precisar que no se tiene información del perfil químico vertical de los sedimentos, debido a que el muestreo se ha realizado con una draga de corte.

Con la finalidad de conocer la naturaleza química de los sedimentos del embalse Pasto Grande, se realizaron dos campañas de muestreo y análisis de laboratorio para determinar entre otros parámetros, la concentración de nutrientes, materia orgánica (DBO<sub>5</sub>), materia oxidable (DQO) y metales pesados, etc., en 13 puntos, en el mes de mayo (primera campaña) y en julio la segunda campaña; así mismo se realizó el análisis granulométricos. Los resultados se presentan en el **Cuadro N° 04**.



CONSORCIO V-5

Ing. Victor Díaz Nuñez  
INGENIERO CIVIL  
C.I.P. 6530



CONSORCIO V-5

Ing. Cesar Zumarán Calderón  
ING. AGRÍCOLA  
C.I.P. 21565

CONSORCIO V-5

Ing. Juan Quiroga Vite  
INGENIERO GEÓLOGO  
C.I.P. 55872

## Cuadro N° 04

## Características Físico-Químico de los sedimentos del embalse Pasto Grande

N°	PUNTO	DESCRIPCION	pH	mg/Kg					
				DBO <sub>5</sub>	DQO	PT	N-NH <sub>3</sub>	SO <sub>4</sub>	S <sub>2</sub>
<b>10 DE MAYO DE 2012</b>									
1	S-01	Frente al río Millojahuirra	3,90	68 698,00	108 767,00	N.D	31,56	140,10	N.D
2	S-02	Frente al río Antajarani	4,00	175,00	334,00	0,60	2,75	89,50	N.D
3	S-03	Frente al río Patara	5,40	255,00	432,00	1,93	2,35	67,30	N.D
4	S-04	Frente al río Tocco	6,10	600,00	917,00	4,80	27,70	32,20	N.D
5	S-05	Frente a la Salida	6,70	27 750,00	42 065,00	3,89	42,29	297,50	6.9
6	S.06	Centro del Embalse -1	4,90	188,00	387,00	0,96	19,40	281,90	N.D
7	S-07	Centro del Embalse -2	6,70	375,00	563,00	13,30	44,60	221,80	9.4
8	S-08	Centro del Embalse - 3	5,60	26 000,00	46 375,00	5,93	45,45	407,70	N.D
9	S-09	Centro del Embalse - 4	6,40	25 500,00	40 325,00	0,70	25,28	305,30	N.D
10	S-10	Centro del Embalse - 5	5,10	260,00	467,00	3,60	2,96	45,70	N.D
11	S-11	Centro del Embalse - 6	5,60	27 500,00	48 375,00	4,61	13,43	406,20	N.D
12	S-12	Frente a la Cabaña Chapiocco	4,20	390,00	637,00	3,22	13,01	472,50	N.D
13	S-18	Frente a la Qda. Incacachi	4,60	15 000,00	22 175,00	2,37	11,97	202,60	N.D
<b>PROMEDIO</b>			<b>5,32</b>	<b>14 822,38</b>	<b>23 986,08</b>	<b>3,53</b>	<b>21,75</b>	<b>228,48</b>	<b>8.15</b>
<b>7 DE JULIO DE 2012</b>									
N°	PUNTO	DESCRIPCION	pH	DBO <sub>5</sub>	DQO	PT	N-NH <sub>3</sub>	SO <sub>4</sub>	S <sub>2</sub>
1	S-01	Frente al río Millojahuirra	3,10	56 500,00	75 692,00	--	0,58	404,80	N.D
2	S-02	Frente al río Antajarani	4,00	1 000,00	1 575,00	N.D	38,10	489,00	N.D
3	S-03	Frente al río Patara	6,90	3 900,00	6 140,00	25 148,00	0,77	35,60	N.D
4	S-04	Frente al río Tocco	6,80	34 000,00	41 143,00	60 611,00	30,33	50,60	N.D
5	S-05	Frente a la Salida	3,80	27 667,00	38 152,00	--	4,39	276,70	10760
6	S.06	Centro del Embalse -1	6,40	59 000,00	85 000,00	18 079,00	72,40	89,60	N.D
7	S-07	Centro del Embalse -2	6,30	27 800,00	37 647,00	39 949,00	2,20	139,40	46,9
8	S-08	Centro del Embalse - 3	3,70	62 000,00	81 846,00	--	1,83	460,70	421
9	S-09	Centro del Embalse - 4	3,90	63 500,00	82 350,00	--	2,61	332,90	4 404
10	S-10	Centro del Embalse - 5	5,20	37 000,00	50 000,00	64,032.00	21,60	76,70	N.D
11	S-11	Centro del Embalse - 6	5,70	27 200,00	37 600,00	14,834.00	33,07	398,50	146,9
12	S-12	Frente a la Cabaña Chapiocco	6,40	46 500,00	63 077,00	29,815,00	22,28	220,00	187,3
13	S-18	Frente a la Qda. Incacachi	5,40	8 600,00	12 047,00	--	0,45	678,00	9

CONSORCIO V-5

CONSORCIO V-5

CONSORCIO V-5

38



Ing. Víctor Díaz Nuñez  
INGENIERO CIVIL  
CIP. 2550



Ing. Cesar Zumarán Calderón  
ING. AGRÍCOLA  
CIP. 31565



Ing. Juan Quiroga Vite  
INGENIERO GEÓLOGO  
CIP. 55672

PROMEDIO		5,20	34 974,38	47 097,62	36 066,86	17,74	280,96	2282,16
----------	--	------	-----------	-----------	-----------	-------	--------	---------

Fuente: ENVIROLAB PERU S.A.C

 Puntos ubicados en el centro del embalse Pasto Grande

**Observación:** La concentración de DBO<sub>5</sub>, DQO y PT reportados por el laboratorio Envirolab Perú para sedimentos, son considerados extremadamente altos, por lo que es recomendable realizar investigaciones complementarias a fin de confirmar o descartar dichos valores.

Si se asume que las concentraciones tanto de DBO<sub>5</sub> y DQO son reales; se estaría demostrando claramente que la calidad del agua del embalse Pasto Grande, aun cuando la concentración de éstos parámetros a nivel de la columna de agua son bajos; existe la posibilidad que en determinados meses del año puedan causar influencia significativa y negativamente en gran parte del ecosistema; ya que como se observa en el cuadro anterior, en los 13 puntos ubicados en el embalse y para las dos campañas, la concentración de la DBO<sub>5</sub> oscila entre 175 mg/Kg (S-02) y 68 698,00 mg/Kg (S-01); mientras que la cantidad de material oxidable (DQO), en la mayoría de los casos es extremadamente alta, oscilando entre 334 mg/Kg (S-02) y 108 767,00 mg/Kg en S-01 (frente al río Millojahuira). Por otro lado, confirmaría que pese al tiempo transcurrido, la fuente de materia orgánica es de origen interno.

Con respecto a la concentración de Fósforo Total (PT), la variación es significativa entre ambas campañas. En la primera campaña realizada en mayo, sólo se reportó presencia de PT en 11 puntos, cuya concentración osciló entre 0,60 mg/Kg en el punto S-02 (Frente al río Antajarani) y 13,30 mg/Kg en el punto S-07 ubicado en el centro del embalse. Mientras que en la segunda campaña, realizada en julio de 2012, se evidencia una variación notable respecto a la presencia de PT con respecto al S-02, el que en esta campaña, aparece como no detectado; sin embargo, para los demás puntos se reportan valores extremadamente superiores a los reportados en mayo, cuyas concentraciones de PT, fluctúan entre 14 834,00 mg/Kg en el centro del Embalse (S-11) y 64 032,00 mg/Kg en el punto S-10, también ubicado en el centro del embalse.

No se ha realizado mediciones de Nitrógeno orgánico; sin embargo se ha realizado análisis de Nitrógeno amoniacal (N-NH<sub>3</sub>), cuyas concentraciones respecto al de PT, es muy inferior, con un comportamiento muy similar entre ambas campañas; las cuales oscilan entre 0,58 mg/Kg en el punto S-01 (frente al río Millojahuira) y 72,40 mg/Kg en el centro del embalse (S-06). Las concentraciones de N-NH<sub>3</sub>, de alguna manera indican que el elemento limitante, desde el punto de vista trófico, en el embalse Pasto Grande es el Nitrógeno.

**Cabe destacar que generalmente el Fósforo total, desde el punto de vista trófico de un cuerpo de agua, es el nutriente más importante y crítico, porque en la mayoría de las veces limita la producción primaria. En el caso del embalse las concentraciones de PT en la columna de agua son bajas en relación a la concentración de PT en los sedimentos, los**

CONSORCIO V-5

Ing. Víctor Díaz Nuñez  
INGENIERO CIVIL  
CIP. 6530

CONSORCIO V-5

Ing. César Zumarán Calderón  
ING. AGRÍCOLA  
CIP. 55872

CONSORCIO V-5

Ing. Juan Quiroga Vite  
INGENIERO GEÓLOGO  
CIP. 55872

cuales contienen una concentración promedio de 36 066,86 mg/Kg, reportadas en la segunda campaña de monitoreo.

No existe una buena relación entre la concentración de PT en la columna de agua y la contenida en los sedimentos, debido a que dos campañas de monitoreo no reportan suficiente información para ello; es decir no se sabe en qué periodo del año, en la columna de agua aumenta o disminuye significativamente la concentración de PT y de NT disponible en la columna de agua; sin embargo se presume que para los periodos monitoreados, existieron bajas concentraciones de NT que asociado a determinadas concentraciones de PT, son las causas que están generando la proliferación de CLOROPHYCEAS, las cuales están causando graves problemas a la calidad del agua y al ecosistema; por lo tanto se puede inferir que la baja concentración de NT en relación al PT, presente en el embalse Pasto Grande, es la razón principal de la mala calidad del agua desde el punto de vista biológico.

Hay que tener en cuenta que el paso de un lago oligotrófico a un eutrófico se caracteriza por un cambio importante en las poblaciones. En el lago oligotrófico el cociente producción/biomasa es más bajo y existe mayor diversidad biótica. Conforme se tiende a la eutrofia disminuye el número de especies, pero no la densidad. En cuanto al fitoplancton y zooplancton se produce una sustitución de grupos y poblaciones. Las algas diatomeas y crisofíceas van siendo sustituidas por clorofíceas y cianofíceas. En el zooplancton, las especies de larga vida y carnívoras dan paso a una mayor proliferación de rotíferos y pequeños copépodos de alta tasa de renovación (CEPIS 1996.).

Por otro de confirmarse las altas concentraciones de DBO<sub>5</sub>, DQO y PT en el sedimento del embalse, comprobarían que la principal fuente de estos parámetros, es de origen interno, que se ha originado a partir de la descomposición de la materia orgánica contenida en los bofedales y pastizales inundados y descompuestos a través de más de 15 años de operación del embalse Pasto Grande; comportamiento asociado (posiblemente) a la re suspensión en determinado periodos del año de parte de los sedimentos desde el fondo del embalse, debido al viento, favorecida por la baja profundidad; siendo el viento uno de los principales factores que gobierna el funcionamiento abiótico y biológico de embalses poco profundos, como Pasto Grande.

En un lago o laguna existen diversos compartimientos intercomunicados: interface aire-agua, columna de agua, sedimento e interface agua-sedimento. Para analizar sus características limnológicas hay que tener en cuenta la interacción entre estos compartimientos. **Donde la relación más importante es la que se produce entre la columna de agua y el sedimento en la interface sedimentaria;** donde los intercambios están regulados por mecanismos asociados al equilibrio agua-mineral, interacciones dependientes del redox, oxígeno disueltos y actividades de los distintos seres vivos (CEPIS 1996).

CONSORCIO V-5

Ing. Víctor Díaz Nuñez  
INGENIERO CIVIL  
CIP. 6530

CONSORCIO V-5

Ing. César Zumarán Calderón  
ING. AGRÍCOLA  
CIP. 31565

CONSORCIO V-5

Ing. Juan Quiroga Vite  
INGENIERO GEÓLOGO  
CIP. 55872

Los procesos de adsorción - liberación de nutrientes por el sedimento - dependen de la presencia-ausencia de oxígeno ( $O_2$ ) en la interfase sedimentaria. El contenido de oxígeno en esta microzona está influenciado por el metabolismo de las algas, bacterias, hongos, invertebrados planctónicos que migran a la interface e invertebrados bentónicos sésiles. Cuando en la superficie del sedimento hay una microzona oxidada (al menos 1 a 2 mg/ 1 oxígeno), se previene la liberación de los componentes solubles desde el agua intersticial del sedimento a la columna de agua. Funciona como una trampa eficiente de  $Fe^{2+}$  y  $Mn^{2+}$ , así como de  $PO_4^{3-}$  (absorbido y complejoado con óxidos e hidróxidos de Fe). (CEPIS 1996). La liberación de fósforo aumenta con la anerobiosis (la ausencia de  $O_2$  reduce los hidróxidos férricos y el  $PO_4$  se libera). Para verificar el grado de influencia de los sedimentos en la calidad del agua y la estructura trófica, es recomendable realizar mayores investigaciones con un enfoque limnológico.

## 12 TERMOCLINA

Pese a que el embalse Pasto Grande, tiene una profundidad máxima de 8,5 m, ubicada en el eje central, en dirección sur-norte, es muy probable que debido a la radiación solar intensa de la zona, en algún mes del año se presente la estratificación de la columna de agua y en consecuencia, a la formación de una termoclina estable, ubicada posiblemente por debajo de los 6 m de profundidad. De ser así, en algún mes del año, esta condición implica la resistencia al mezclado vertical completo de las capas superiores (epilimnion) con las inferiores (hipolimnion), ricas en concentración de nutrientes; por lo que el primer parámetro afectado en este proceso es el oxígeno disuelto (OD). Este disminuye a raíz del consumo realizado por los diversos organismos (macro y microorganismos) que habitan en el agua. El descenso paulatino de OD genera una serie de situaciones que modifican la calidad del agua del hipolimnion, afectando adicionalmente las primeras capas del sedimento. Parámetros como el pH, el potencial redox y algunos iones como el manganeso, el hierro, el calcio y el magnesio, modifican su comportamiento poniendo de manifiesto su clara intervención en el metabolismo de los nutrientes que en el embalse limita el crecimiento de las algas verdes. Para corroborar esta apreciación, es recomendable realizar evaluaciones mensuales, durante todo un año, y por lo menos durante 4 veces durante el día, en los meses de febrero, julio y noviembre.

Se recomienda este tipo de evaluación, a fin de determinar si existe o no la formación de alguna estratificación térmica; ya que los resultados reportados en mayo de 2012, respecto a la concentración de Oxígeno disuelto ( $O_2$ ) en la columna de agua, en promedio es del orden de los 6.24 mg/l, lo que indican que la columna de agua se encontraba bien oxigenada, situación que sostiene una degradación de la materia orgánica en fase aeróbica.

CONSORCIO V-5

Ing. Víctor Díaz Nuñez  
INGENIERO CIVIL  
CIP. 8530

CONSORCIO V-5

Ing. César Zumarán Calderón  
ING. AGRÍCOLA  
CIP. 31565

CONSORCIO V-5

Ing. Juan Quiroga Vite  
INGENIERO GEÓLOGO  
CIP. 55872

### 13 NIVEL TROFICO DE LA LAGUNA PASTO GRANDE

#### 13.1 ASPECTOS CONCEPTUALES

Para comprender el comportamiento ecológico del embalse Pasto Grande, es necesario determinar el nivel trófico, de allí la importancia de realizar las evaluaciones necesarias.

La determinación del estado trófico, tiene que ver con la evaluación de las características limnológicas de un lago, laguna o embalse. Esta evaluación se puede realizar en base a información puntual en términos de espacio y tiempo, o en base a la disponibilidad de series históricas representativas, donde la evaluación y determinación del estado trófico debe ser una tarea casi permanente, considerando los procesos de cambio ya sean naturales o influenciados por las actividades antrópicas, que pueden resultar perjudiciales para el equilibrio ecológico y socio ambiental. (Ocola y Flores 2008.)

Entre los criterios más comunes, para clasificar las condiciones tróficas de los lagos, tenemos: visuales, químicos y biológicos (**Tabla N° 02**); muchos de los cuales fueron aplicados en la evaluación del ecosistema en estudio.

Tabla N° 02  
**Criterios para evaluar los cambios Tróficos en un Lago**

ASPECTOS	INDICADORES	OBSERVACIÓN
Visuales	Cambios del color del agua	A simple vista (caso embalse Pasto Grande)
	Aparición de floraciones algales	
	Reducida transparencia	
	Crecimiento de macrofitos	
Físico - químicos	Turbidez	Mediante análisis de laboratorio
	pH	
	Nitrógeno Total (Nt)	
	Fósforo total (Pt)	
	Oxígeno disuelto	
	Clorofila "a"	
Biológicos	Concentración de org/l	Evaluaciones de campo/análisis de laboratorio
	Macrofitos: tipo, cobertura y biomasa	
	Zooplankton	
	Zoobentos: composición y biomasa	
	Peces: especie y distribución	

Fuente: Ocola y Flores 2008

Además de los indicadores de la **Tabla N° 02**, para la determinación del estado trófico del embalse Pasto Grande, se requiere disponer mínimamente de los criterios establecidos por Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico (OECD 1982), presentados en la **Tabla N° 03**, así como de la disponibilidad de una serie histórica mínima de por lo menos 1 año. Se han adoptado estos criterios teniendo en cuenta que son los más utilizados desde 1970; es necesario señalar, que estos criterios son el producto de muchas investigaciones por reconocidos investigadores como Vollenweider, Wetzel entre otros.

**Tabla N° 03**  
**Criterios para la Clasificación Trófica**

CATEGORÍA TRÓFICA	CLOROFILA (mg/m <sup>3</sup> )		FÓSFORO TOTAL (ug/L)	TRANSPARENCIA A DISCO SECHI (m)	
	Media	Máxima		Media	Mínimo
Ultraoligotrófico	< 1,0	< 2,5	< 4,0	> 12,0	> 6,0
Oligotrófico	< 2,5	< 8,0	< 10,0	> 6,0	> 3,0
Mesoeutrófico	2,5 – 8	8-25	10 - 35	3-6	1,5-3
Eutrófico	8 – 25	25 – 75	35 – 100	1,5-3	0,7-1,5
Hipereutrófico	> 25	> 75	>100	< 1,5	< 0,7

Fuente: OCDE 1982

Los lagos o embalses se pueden clasificar según la cantidad de nutrientes en ultra oligotróficos, oligotróficos, meso tróficos, eutróficos e hiper eutróficos, cada uno de ellos, presenta sus propias características físicas, químicas y biológicas, las cuales se describen cualitativamente en la **Tabla N° 04**.

CONSORCIO V-5

Ing. Víctor Díaz Nuñez  
INGENIERO CIVIL  
CIP. 6530

CONSORCIO V-5

Ing. César Zumarán Calderón  
ING. AGRÍCOLA  
CIP. 31565

CONSORCIO V-5

Ing. Juan Quiroga Vite  
INGENIERO GEÓLOGO  
CIP. 55872

Tabla N° 04  
Aspectos relacionados con el Nivel trófico de un Laguna o Embalse

CATEGORÍA TRÓFICA	CARACTERÍSTICAS GENERALES	REFERENCIA
Oligotróficos	Ecosistema acuático de bajo contenido de nutrientes, por tanto, baja producción primaria. La principal característica son aguas muy transparentes.	Natural
Meso eutróficos	Ecosistemas acuáticos con características intermedias entre oligotrófico y eutrófico.	Natural
Eutróficos	Ecosistema acuático con alto contenido de nutrientes y producción primaria alta, sobre todo presencia de abundante fitoplancton, la cual se evidencia por la coloración verde del agua y bajos niveles de transparencia.	Modificado
Hipertróficos	Ecosistemas acuáticos con altos niveles de nutrientes (N y P), excesiva abundancia de fitoplancton, aguas de una coloración verde olivo, ausencia de macrófitos acuáticos sumergidos, nula presencia de organismos bentónicos.	Modificado

Fuente. Tomado de Ocola y Flores 2008

Si bien es cierto que no existe una demarcación fija que distingan los niveles tróficos de un lago o un embalse, existen ciertos aspectos cualitativos que permiten distinguirlos a simple vista.

Los lago pobres en nutrientes (oligotróficos y mesotróficos), se caracterizan por contener aguas cristalinas, con altos niveles de transparencia; los cuerpos de agua en proceso de eutrofización, se caracterizan por que sus aguas son de un color verdusco, con niveles de transparencia que puede variar entre 5 y 6 m, mientras los cuerpos de agua en condiciones de hiper eutrofia, las aguas son de un color verde olivo, con niveles de transparencia por debajo de 0,7 m.

Cabe destacar que el cambio de estado trófico de un lago, se caracteriza por un cambio importante en las poblaciones biológicas, principalmente de tipo algal. En el caso de un lago oligotrófico, el cociente producción/biomasa es bajo y existe mayor diversidad biológica. Conforme se tiende a la eutrofia disminuye el número de especies, pero aumenta la densidad.

Es necesario destacar, que en el caso de la eutrofización, no necesariamente puede hablarse de una sucesión hacia el estado maduro o de equilibrio, sino por el contrario, de una regresión o envejecimiento del cuerpo de agua (Ocola y Flores 2008). En el caso del embalse Pasto Grande, por los acontecimientos ocurridos en el cambio de coloración, todo indica que en determinados

periodos del año, se manifiestan procesos acelerados de eutrofización "atípica" a juzgar por la coloración del agua, que no es el verde, que caracteriza a los cuerpos de agua eutróficos.

Es conveniente, indicar que también existen otras clasificaciones tróficas de los lagos como la **Clasificación de SAKAMOTO (1966)**, quien clasificó los lagos en función de las concentraciones de Nitrógeno Total. Lagos oligotróficos entre 20 a 200  $\mu\text{g/l}$ . Lagos mesotróficos entre 100 a 700  $\mu\text{g/l}$ . Lagos eutróficos 500 a 1 330  $\mu\text{g/l}$ . También existe la Clasificación de **Vollenweider (1968)**, que realizó su clasificación considerando las concentraciones de Nitrógeno Inorgánico Total y Fósforo Inorgánico Total. Ver **Tabla N° 5**.

Tabla N° 05

**Clasificación Trófica según la Concentración de Nitrógeno y Fósforo Inorgánico**

TIPO DE LAGO	NITRÓGENO Inorgánico total (ug/l)	FOSFORO inorgánico Total (ug/l)
Ultra oligotrófico	.-	<5
Oligo mesotrófico	228 a 392	5 a 10
Meso eutrófico	342 a 618	10 a 30
Eutropolitrotrófico	.-	30 a 100
Politrófico	420 a 2370	>100

Fuente: Vega y Paz 2005.

Los criterios del Nitrógeno inorgánico y fósforo inorgánico total, son dos parámetros importantes que deben ser tomados en cuenta en futuras investigaciones del embalse Pasto Grande.

### 13.2 EVALUACIÓN DE LA INFORMACIÓN DISPONIBLE BASE PARA LA EVALUACIÓN TRÓFICA DEL ECOSISTEMA

#### CALIDAD DE LOS AFLUENTES

Para efectos de un mejor estudio relacionado a los factores de interrelación trófica, se ha tomado en cuenta la información disponible relacionada a los parámetros básicos útiles para la determinación del nivel trófico del embalse Pasto Grande, la cual es incompleta, no se ha medido nitrógeno total (NT), sólo se dispone de datos de Fósforo total (PT) transparencia (Z) y Clorofila "a", reportados para los meses de mayo y de julio de 2012 correspondiente a 12 puntos ubicados en el cuerpo de agua, en los cuales se ha medido la concentración de PT y Clorofila "a" en 3 partes de la columna de agua: a nivel de la superficie (S), a media agua (M) y a nivel del fondo (F). Ver **Cuadro N° 05 y 06**.

Con el mismo criterio, se ha seleccionado la información de determinados parámetros físicos y químicos presentes en los 4 ríos afluentes del embalse pasto grande, esto con la finalidad de tener una idea de la calidad del agua producida en la cuenca que puede estar afectando la calidad del agua del embalse. La evaluación se ha realizado para cada uno de los meses monitoreados, mayo y julio respectivamente.

El mes de mayo (2012), es el segundo mes de estiaje, donde en la zona alto andina de la región empiezan a bajar la temperatura, la cual tiene un efecto directo en la biología del ecosistema.

El valor promedio del pH obtenido de los 36 registros correspondientes a la columna de agua para el mes de mayo fue de **5,09** unidad de pH (ver cuadro N° 05), es decir aguas ligeramente ácidas. Cabe destacar que generalmente el pH de los lagos o lagunas está influenciado fundamentalmente por la actividad fotosintética del fitoplancton y la degradación de la materia orgánica por las bacterias. Las algas consumen anhídrido carbónico en la fotosíntesis, lo que desplaza el equilibrio de los carbonatos y da lugar a un aumento del pH (básico). **Por otra parte, la degradación de la materia orgánica conduce a la formación de CO<sub>2</sub> como producto final, lo que causa una disminución del pH (que no es el caso);** por lo tanto, cuando un cuerpo de agua se encuentra en estado de equilibrio presenta valores ligeramente básicos del orden de 7,5-8,5 unidades de pH.

Con respecto a la acidez del agua del embalse Pasto Grande, no está gobernado por el proceso de biodegradación de materia orgánica a nivel de la columna de agua, ya que la concentración promedio de DBO<sub>5</sub> así lo demuestran **2,0 mg/L**. Este valor también demuestra que no existe aporte importante de materia orgánica (DBO<sub>5</sub>) y otros materiales oxidables (DQO) a través de los ríos afluentes, ya que los resultados reporta para ambos parámetros como no detectado (N.D). Entonces cabe preguntar ¿cuál es la causa de que las aguas de pasto Grande sean ácidas?.

**La respuesta la podemos encontrar en la acidez del agua de los ríos Patara, Millojahuirá, Antajarane, con valores de pH 6,5, 3,0 y 3,3 respectivamente, cuyo volumen anual de descarga al embalse Pasto Grande es del orden 78.05 MMC de aguas ácidas, con un valor promedio es de 4.3 de pH, el cual representa aproximadamente el 84,1% respecto al total de la descarga (92,68 MMC). Ver Cuadro N° 05.**

  
CONSORCIO V-5  
Ing. Víctor Díaz Nuñez  
INGENIERO CIVIL  
CIP. 6530

  
CONSORCIO V-5  
Ing. César Zumarán Calderón  
ING. AGRÍCOLA  
CIP. 31565

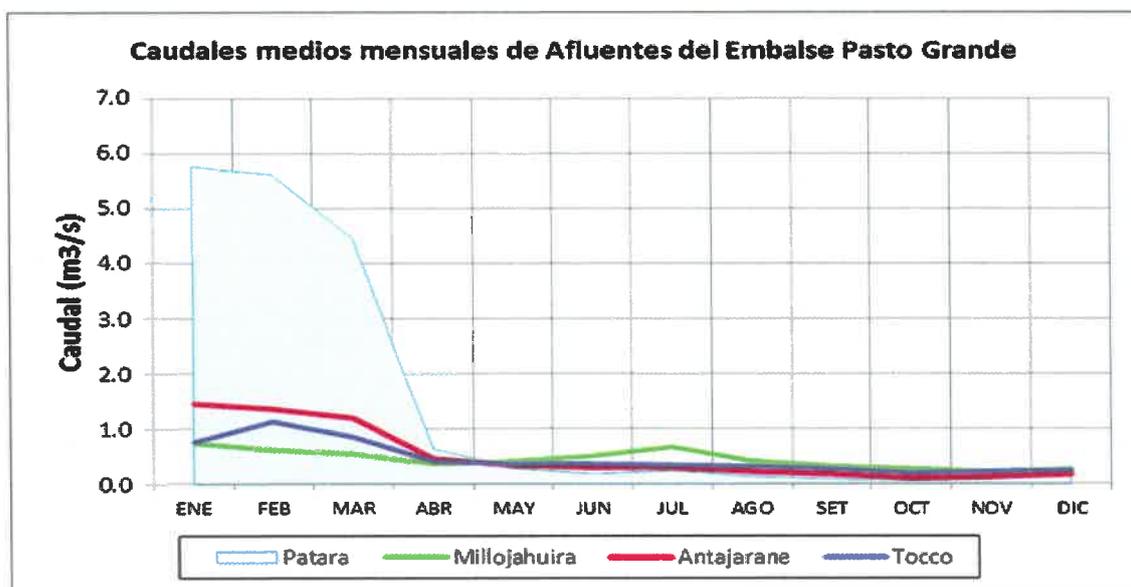
CONSORCIO V-5  
Ing. Juan Quiroga Vite  
INGENIERO GEÓLOGO  
CIP. 55872

Cuadro N° 05  
**Parámetros Básicos de la Calidad del Agua de los Ríos Afluentes del Embalse Pasto Grande-mes de mayo**

N°	EST.	PROCEDENCIA	COORDENADAS UTM (19K)		RESULTADOS (mg/L)										Q (l/s)	MMC	
			NORTE	ESTE	pH	T°	O.D	Cl	SO <sub>4</sub>	PT	N-NO <sub>3</sub>	S <sub>2</sub> H	DBO	DQO			Si
<b>19 De Mayo De 2012</b>																	
1	E-36	R. Patara	0376938	8147400	6,5	10	5,6	70,50	67,4	N.D.	0,41	N.D.	N.D.	N.D.	26,2	1,492	47,05
2	E-39	R. Millojahuirá	0372221	8154288	3,0	10	4,3	1,20	262,4	N.D.	0,13	N.D.	N.D.	N.D.	67,4	0,456	14,38
3	E-44	R. Antajarane	0373814	8151749	3,3	10	4,5	1,10	247,2	N.D.	0,61	N.D.	N.D.	N.D.	59,3	0,527	16,62
4	E-47	R.Tocco	0379892	8139274	8,1	10	5,7	1,90	6,0	N.D.	0,07	N.D.	N.D.	N.D.	35,7	0,464	14,63
<b>PROMEDIO</b>					<b>5,1</b>	<b>10</b>	<b>5,0</b>	<b>18,7</b>	<b>145,8</b>	<b>N.D</b>	<b>0,31</b>	<b>N.D</b>	<b>N.D</b>	<b>N.D</b>	<b>47,15</b>	<b>2,933</b>	<b>92,68</b>

Fuente: Elaboración propia en base a información proporcionada por especialistas del equipo consultor.

Gráfico N° 2



Comportamiento de los caudales medios mensuales de los ríos afluentes del embalse Pasto Grande. Fuente. Estudio Hidrológico (G.Vera 2012).

Igualmente, se observa que los ríos afluentes del embalse, no aportan Fósforo total (PT). El laboratorio reporta como no detectado (N.D). Los únicos parámetros relevantes son el Sulfato (SO<sub>4</sub>) y el nitrato (N-NO<sub>3</sub>) con una concentración promedio del orden de 145,8 mg/l y 0,31 mg/l respectivamente, equivalente a 28 093 Tn/año de SO<sub>4</sub> y 60 Tn/año de N-NO<sub>3</sub>. En términos de carga para el primer caso es del orden 63 g/m<sup>2</sup>, y en el segundo caso (N-NO<sub>3</sub>) es insignificante; por lo tanto se puede decir que el SO<sub>4</sub>, presente en los afluentes como el que se encuentra en el ecosistema, es el parámetro crítico, el que de alguna forma determina las condiciones de acidez del agua; el cual participa a nivel del ecosistema en un proceso de alta mineralización.

CONSORCIO V-5

Ing. Víctor Díaz Nuñez  
INGENIERO CIVIL  
CIP. 6530

CONSORCIO V-5

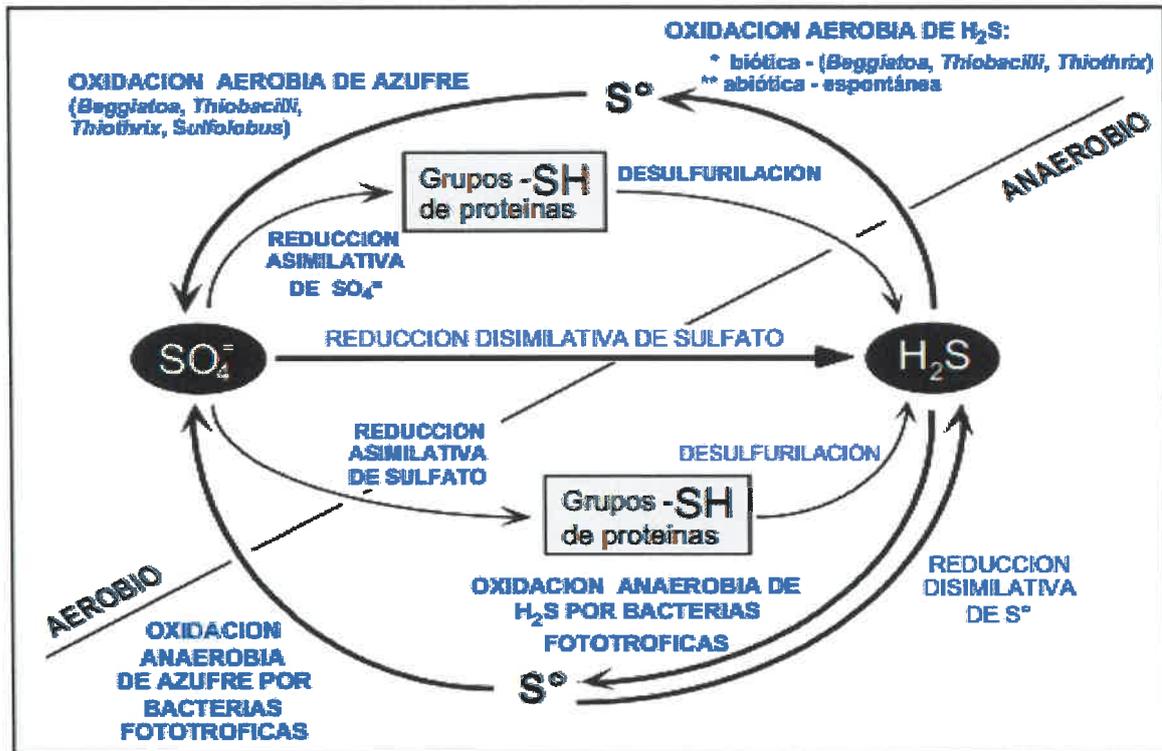
Ing. Cesar Zumarán Calderón  
ING. AGRÍCOLA  
CIP. 31565

CONSORCIO V-5

Ing. Juan Quiroga Vite  
INGENIERO GEÓLOGO  
CIP. 55872

Es necesario destacar, que gran parte del  $\text{SO}_4$  presente en el agua de los ríos afluentes se origina de la mineralización de las rocas y el suelo de la cuenca donde se forman los ríos, donde por cierto existen aguas tipo DAR y aguas termales. Existen muy pocas probabilidades de que su presencia este asociado a la presencia en el aire en forma de dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ), ello debido a que no existen fuentes cercanas, como (1) emanaciones gaseosas de origen industrial y del (2) sulfuro de hidrógeno ( $\text{H}_2\text{S}$ ) y de origen biogénico y de origen geológico como emanaciones volcánicas y depósitos de gas natural), que no es el caso.

Figura N° 2



Esquema general del ciclo del Sulfuro

Como referencia, se sabe que el  $\text{H}_2\text{S}$  liberado a la atmósfera es oxidado espontáneamente a  $\text{SO}_2$  por oxígeno atómico, oxígeno molecular o por ozono. El  $\text{SO}_2$  puede a su vez disolverse en agua para formar ácido sulfuroso ( $\text{H}_2\text{SO}_3$ ) o bien puede continuar su oxidación hasta trióxido de azufre ( $\text{SO}_3$ ). Esta última ruta envuelve varias reacciones en serie, de lenta progresión (se requieren de horas o días), (Stanier et al., 1986). Una vez se disuelve en agua, el trióxido de azufre se convierte en ácido sulfúrico. Una porción del ácido sulfúrico y del ácido sulfuroso producidos por transformaciones abióticas es neutralizado por pequeñas cantidades de amoníaco que existen en la atmósfera. No obstante, una porción substancial de ambos ácidos regresa a la superficie terrestre en forma de lluvia ácida. Tampoco es el caso en el ámbito de estudio, ya que las concentraciones de Sulfuro en los ríos no han sido detectadas.

### 13.3 EVALUACIÓN DE LOS PARÁMETROS RELACIONADOS CON LA EUTROFIZACIÓN

Como se vio anteriormente, las condiciones tróficas de un ecosistema acuático están determinadas por la presencia de determinados parámetros, principalmente el Fósforo total (PT), Nitrógeno total (NT), clorofila "a" y transparencia, además de otros que permiten tener idea de lo que ocurre, biológicamente hablando en un cuerpo de agua. Desde ese punto de vista, en el presente estudio, se ha recopilado la información relacionada con los parámetros indicados correspondientes a las dos campañas de monitoreo. Ver **Cuadro N° 06**.

  
CONSORCIO V-5

.....  
Ing. Víctor Díaz Nuñez  
INGENIERO CIVIL  
CIP. 6530

CONSORCIO V-5

  
.....  
Ing. César Zumarán Calderón  
ING. AGRÍCOLA  
CIP. 31565

CONSORCIO V-5

.....  
Ing. Juan Quiroga Vite  
INGENIERO GEÓLOGO  
CIP. 55872

Cuadro N° 06  
**Parámetros relevantes relacionados con Eutrofización del embalse Pasto Grande, medido  
entre el 09 y 10 de mayo de 2012**

N°	ESTACION	PROCEDENCIA	COORDENADAS UTM (19K)		pH	T° (°C)	RESULTADOS (mg/L)									Z (m)
			NORTE	ESTE			O.D	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	PT	N- NO <sub>3</sub>	S <sub>2</sub> H	DBO	DQO	Si	
1	E-48 (S)	Frente al Río Millojahuirá.	0372265	8154004	4,1	9	6,6	45,7	103	0,105	0,10	N.D.	2	20	30,9	0,7
	E-48 (M)	Frente al Río Millojahuirá.	0372265	8154004	3,6	8	6,6			0,039	0,18	N.D.			38,7	
	E-48 (F)	Frente al Río Millojahuirá.	0372265	8154004	3,7	8	6,2			0,041	0,20	N.D.			34,9	
2	E-49 (S)	Frente al Río Antajarani.	0372744	8151528	5,3	14	6,4	65,8	99,3	0,043	0,27	N.D.	N.D.	N.D.	24,0	1,0
	E-49 (M)	Frente al Río Antajarani.	0372744	8151528	5,2	14	6,3			0,025	0,14	N.D.			24,2	
	E-49 (F)	Frente al Río Antajarani.	0372744	8151528	5,2	13	6,3			0,019	0,62	N.D.			24,0	
3	E-50 (S)	Frente al Río Patara.	0374680	8148457	6,0	12	6,5	49,0	86,4	N.D.	0,21	N.D.	N.D.	N.D.	25,4	1,20
	E-50 (M)	Frente al Río Patara.	0374680	8148457	5,5	12	6,3			N.D.	0,7	N.D.			25,50	
	E-50 (F)	Frente al Río Patara.	0374680	8148457	5,6	12	6,2			N.D.	0,30	N.D.			24,2	
4	E-51 (S)	Frente a la Cabaña Chapiocco.	0372515	8143908	5,2	10	6,0	48	92,8	0,011	0,19	N.D.	2	N.D.	25,5	4
	E-51 (M)	Frente a la Cabaña Chapiocco.	0372515	8143908	5,2	10	6,0			0,013	0,14	N.D.			24,1	
	E-51 (F)	Frente a la Cabaña Chapiocco.	0372515	8143908	5,2	10	6,0			0,011	0,34	N.D.			24,3	
5	E-52 (S)	Frente a la Quebrada Incacachi.	0369274	8148361	4,5	12	6,0	48,20	88,3	N.D.	0,18	N.D.	N.D.	N.D.	24,2	2,5
	E-52 (M)	Frente a la Quebrada Incacachi.	0369274	8148361	4,4	11	6,0			0,020	0,13	N.D.			25,9	
	E-52 (F)	Frente a la Quebrada Incacachi.	0369274	8148361	4,2	10	6,0			0,042	0,16	N.D.			26,5	
6	E-53 (S)	Frente al Río Tocco.	0376114	8144557	6,3	11	6,3	31,0	49,7	0,049	0,08	N.D.	2	N.D.	23,7	0,7
	E-53 (M)	Frente al Río Tocco.	0376114	8144557	6,3	11	6,2			0,028	0,19	N.D.			25,1	
	E-53 (F)	Frente al Río Tocco.	0376114	8144557	6,3	11	6,1			0,043	0,16	N.D.			23,3	
7	E-54 (S)	Centro de Embalse - 1.	0375181	8145305	6,2	13	6,5	45,3	99,89	0,037	0,15	N.D.	N.D.	N.D.	24,3	2
	E-54 (M)	Centro de Embalse - 1.	0375181	8145305	6,0	12	6,2			0,010	0,17	N.D.			22,2	
	E-54 (F)	Centro de Embalse - 1.	0375181	8145305	5,8	12	5,9			N.D.	0,13	N.D.			24,4	
8	E-55 (S)	Centro de Embalse - 2.	0373091	8148956	5,6	13	6,2	39,6	83,8	N.D.	0,08	N.D.	N.D.	N.D.	25,0	3,0
	E-55 (M)	Centro de Embalse - 2.	0373091	8148956	5,7	13	6,1			N.D.	0,13	N.D.			24,4	
	E-55 (F)	Centro de Embalse - 2.	0373091	8148956	5,6	13	6,0			N.D.	0,29	N.D.			24,1	
9	E-56 (S)	Centro de Embalse - 3.	0370444	8152700	4,4	9	6,8	48,30	92,5	0,053	0,15	N.D.	N.D.	N.D.	26,0	3,2
	E-56 (M)	Centro de Embalse - 3.	0370444	8152700	4,4	9	6,5			N.D.	0,14	N.D.			27,3	
	E-56 (F)	Centro de Embalse - 3.	0370444	8152700	4,5	8	6,4			0,059	0,11	N.D.			25,6	
10	E-57 (S)	Centro de Embalse - 4.	0370415	8146949	4,8	11	6,8	58,20	96,5	N.D.	0,11	N.D.	N.D.	N.D.	26,1	3
	E-57 (M)	Centro de Embalse - 4.	0370415	8146949	4,5	11	6,0			N.D.	0,16	N.D.			25,4	
	E-57 (F)	Centro de Embalse - 4.	0370415	8146949	4,4	10	6,0			N.D.	42,3	N.D.			24,9	
11	E-58 (S)	Centro de Embalse - 5.	0373971	8149160	5,2	13	6,3	56,3	90,5	N.D.	0,25	N.D.	N.D.	N.D.	25,3	1,8
	E-58 (M)	Centro de Embalse - 5.	0373971	8149160	5,1	13	6,2			0,010	0,24	N.D.			25,1	
	E-58 (F)	Centro de Embalse - 5.	0373971	8149160	5,2	13	5,8			N.D.	0,12	N.D.			25,1	
12	E-59 (S)	Centro de Embalse - 6.	0370651	8149511	4,6	11	6,5	48,60	55,9	N.D.	0,10	N.D.	N.D.	N.D.	26,2	4
	E-59 (M)	Centro de Embalse - 6.	0370651	8149511	4,8	9	6,2			N.D.	0,14	N.D.			27,1	
	E-59 (F)	Centro de Embalse - 6.	0370651	8149511	4,5	8	6,2			N.D.	0,37	N.D.			25,7	
<b>PROMEDIO</b>					<b>5,1</b>	<b>11,1</b>	<b>6,24</b>	<b>48,67</b>	<b>86,55</b>	<b>0,035</b>	<b>1,37</b>	<b>N.D.</b>	<b>2</b>	<b>20</b>	<b>25,79</b>	<b>2,26</b>

Fuente: Elaboración propia en base a los resultados de análisis reportados por ENVIROLAB PERU S.A.C

Dónde: (S) = superficie (M) = media agua (F) = Fondo

\* = Datos de clorofila reportados para los días 7 y 8 de julio

CONSORCIO V-5

Ing. Víctor Díaz Nuñez  
INGENIERO CIVIL  
CIP. 6530

CONSORCIO V-5

Ing. Cesar Zumarán Calderón  
ING. AGRÍCOLA  
CIP. 31565

CONSORCIO V-5

Ing. Juan Quiroga Vite  
INGENIERO GEÓLOGO  
CIP. 55872

La concentración promedio de Fósforo tota (PT) en el embalse Pasto Grande para el mes de mayo fue de 0.035 mg/l, equivalente a **35,0 µg/l**, con una transparencia (Z) promedio al disco Secchi del orden de **2,26 m**, valores que comparados con los reportados en el mes de julio permitirán establecer el nivel trófico de dicho cuerpo de agua, tomando en cuenta los criterios de la OECD.

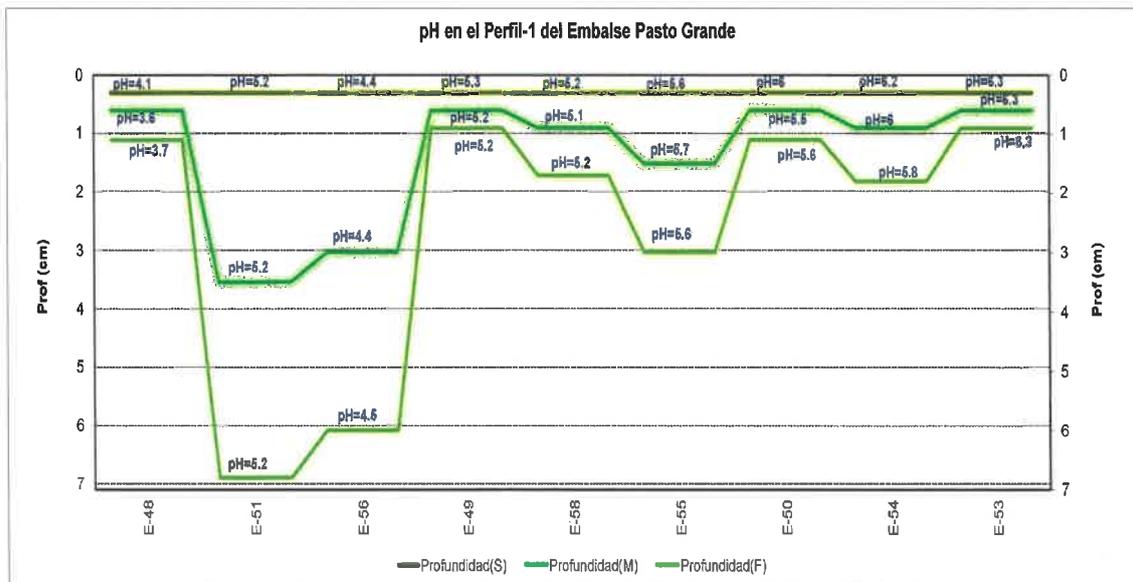
Las aguas del embalse Pasto Grande son ligeramente ácidas, cuyo promedio para el mes de mayo es del orden de 5,1, fuera del límite inferior de la Categoría 4 de los Estándares de Calidad Ambiental para agua (6,5 a 8,5).

Figura N° 13



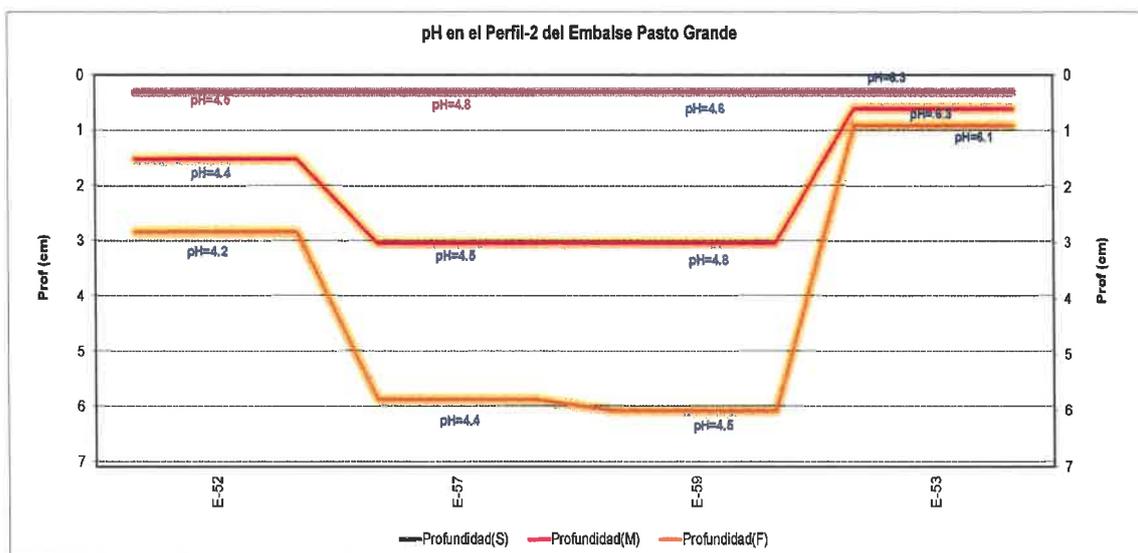
Los **Gráficos N° 03 y 04** en los que se representan los perfiles longitudinales (1 y 2), se observa que no existe una variación significativa de pH, entre punto y punto, cuyos valores corresponde a aguas ácidas, en ambos casos.

Gráfico N° 3



pH en el Perfil Longitudinal -1 en el Embalse Pasto Grande

Gráfico N° 4



pH en el Perfil Longitudinal-2 del Embalse Pasto Grande

Con esta información, se ratifica lo anteriormente expresado, en cuanto a que la causa de la acidez del agua del embalse Pasto Grande, es ocasionada por el aporte de aguas ácidas procedentes de su cuenca colectora.

La concentración promedio de O.D es de 6,24 mg/l, valor que indica que el embalse no presenta problemas de mala oxigenación en ningún nivel de la columna de agua, es decir existe una

buena oxigenación del cuerpo de agua, favorecida por la baja profundidad; por lo tanto no debería existir restricciones para el desarrollo de la vida acuática, principalmente truchas; sin embargo para tener la certeza de que no existen periodos anóxicos, es recomendable realizar el monitoreo sistemáticos durante todo el año, esto teniendo en cuenta que en el mes de julio, la concentración promedio de toda la masa de agua, disminuye ligeramente a 4,4 mg/L, es decir 1,84 mg/l con respecto a mayo, igualmente las aguas se vuelven más ácidas, con un promedio de 4,4, observando que la concentración de  $SO_4$ , en el mes indicado, se incrementa a 95.6 mg/l, 9,05 mg/L por encima del registrado en mayo. Ello explica de alguna manera el aumento de la acidez del agua. Ver **Cuadro N° 07**.

El mes de julio, es periodo típico de estiaje, donde las temperaturas de los cuerpos de agua son muy bajas, de igual modo afecta el comportamiento trófico del embalse.



CONSORCIO V-5

.....  
Ing. Víctor Díaz Nuñez  
INGENIERO CIVIL  
CIP. 6530

CONSORCIO V-5



.....  
Ing. César Zumarán Calderón  
ING. AGRÍCOLA  
CIP. 31565

CONSORCIO V-5

53

.....  
Ing. Juan Quiroga Vite  
INGENIERO GEÓLOGO  
CIP. 55872

**Cuadro N° 07**  
**Parámetros relevantes relacionados con la Eutrofización del embalse Pasto Grande,**  
**medido entre el 02 al 08 de julio de 2012**

N°	ESTACION	PROCEDENCIA	COORDENADAS UTM (19K)		RESULTADOS (mg/L)											Z (m)	Clorofila "a"
			NORTE	ESTE	pH	T°	O.D	Cl-	SO <sub>4</sub>	PT	N-NO <sub>3</sub>	S	DBO	DQO	Si		
1	E-48 (S)	Frente al Río Millojahuirá.	0372265	8154004	4,7	5	5,2	45	99,1	N.D.	0,11	N.D.	N.D.	N.D.	30,0	1,4	9,012
	E-48 (M)	Frente al Río Millojahuirá.	0372265	8154004	4,4	4	5,0			N.D.	0,14	N.D.			35,0		9,129
	E-48 (F)	Frente al Río Millojahuirá.	0372265	8154004	4,2	3	5,0			N.D.	0,15	N.D.			41,1		7,246
2	E-49 (S)	Frente al Río Antajarani.	0372744	8151528	4,1	4	5,4	48	104,7	N.D.	0,13	N.D.	2	N.D.	28,6	1,1	10,126
	E-49 (M)	Frente al Río Antajarani.	0372744	8151528	4,1	3	5,1			N.D.	0,10	N.D.			28,6		10,479
	E-49 (F)	Frente al Río Antajarani.	0372744	8151528	4,6	3	4,9			N.D.	0,11	N.D.			29,3		12,048
3	E-50 (S)	Frente al Río Patara.	0374680	8148457	4,2	5	5,2	47,8	98,6	N.D.	0,10	N.D.	3	N.D.	28,2	1,3	10,766
	E-50 (M)	Frente al Río Patara.	0374680	8148457	4,1	5,3	5,0			N.D.	0,11	N.D.			27,50		10,993
	E-50 (F)	Frente al Río Patara.	0374680	8148457	4,1	5,2	4,8			N.D.	0,11	N.D.			28,1		9,999
4	E-51 (S)	Frente a la Cabaña Chapiocco.	0372515	8143908	4,2	5,2	5,2	49	89,2	0,01	0,11	N.D.	N.D.	N.D.	26,4	3,5	6,798
	E-51 (M)	Frente a la Cabaña Chapiocco.	0372515	8143908	4,6	5,6	5,0			N.D.	0,12	N.D.			28,6		6,977
	E-51 (F)	Frente a la Cabaña Chapiocco.	0372515	8143908	4,5	5,1	4,7			0,03	0,12	N.D.			27,7		7,112
5	E-52 (S)	Frente a la Qda. Incacachi.	0369274	8148361	4,2	6	5,4	56,2	112,0	N.D.	0,18	N.D.	N.D.	N.D.	26,2	2,5	11,892
	E-52 (M)	Frente a la Qda. Incacachi.	0369274	8148361	4,3	6	5,2			N.D.	0,11	N.D.			26,4		11,346
	E-52 (F)	Frente a la Qda. Incacachi.	0369274	8148361	4,3	6	5,0			N.D.	0,10	N.D.			25,7		13,900
6	E-53 (S)	Frente al Río Tocco.	0376114	8144557	5,9	4,1	5,1	44	80,1	N.D.	0,11	N.D.	3	N.D.	27,8	0,8	16,799
	E-53 (M)	Frente al Río Tocco.	0376114	8144557	5,9	3,7	5,0			0,04	0,09	N.D.			29,0		17,010
	E-53 (F)	Frente al Río Tocco.	0376114	8144557	5,9	3,9	4,8			0,01	0,08	N.D.			28,5		16,223
7	E-54 (S)	Centro de Embalse - 1.	0375181	8145305	4,5	3,8	4,7	43,6	89,6	N.D.	0,10	N.D.	2	N.D.	27,2	2,3	11,990
	E-54 (M)	Centro de Embalse - 1.	0375181	8145305	4,2	3	4,6			N.D.	0,12	N.D.			26,9		12,000
	E-54 (F)	Centro de Embalse - 1.	0375181	8145305	4,9	3	4,3			N.D.	0,12	N.D.			26,9		11,971
8	E-55 (S)	Centro de Embalse - 2.	0373091	8148956	4,2	5,7	5,6	58,2	94,4	N.D.	0,10	N.D.	1	N.D.	26,1	2,8	7,602
	E-55 (M)	Centro de Embalse - 2.	0373091	8148956	4,3	6	5,7			N.D.	0,11	N.D.			27,1		7,009
	E-55 (F)	Centro de Embalse - 2.	0373091	8148956	4,3	6	5,2			0,02	0,10	N.D.			27,3		8,010
9	E-56 (S)	Centro de Embalse - 3.	0370444	8152700	4,3	6	5,4	48	92,6	N.D.	0,08	N.D.	N.D.	N.D.	27,5	3,5	8,091
	E-56 (M)	Centro de Embalse - 3.	0370444	8152700	4,3	6	5,1			N.D.	0,12	N.D.			27,4		8,758
	E-56 (F)	Centro de Embalse - 3.	0370444	8152700	4,3	6	5,0			N.D.	0,10	N.D.			26,9		8,000
10	E-57 (S)	Centro de Embalse - 4.	0370415	8146949	4,4	6	5,6	50,2	81,9	N.D.	0,11	N.D.	N.D.	N.D.	27,2	2,8	13,010
	E-57 (M)	Centro de Embalse - 4.	0370415	8146949	4,4	5	5,5			N.D.	0,10	N.D.			22,7		10,234
	E-57 (F)	Centro de Embalse - 4.	0370415	8146949	4,3	5	5,1			N.D.	0,10	N.D.			26,2		9,954
11	E-58 (S)	Centro de Embalse - 5.	0373971	8149160	4,2	5,2	5,4	48,2	97,8	0,01	0,10	N.D.	6	N.D.	27,0	1,9	15,978
	E-58 (M)	Centro de Embalse - 5.	0373971	8149160	4,2	5,2	5,4			0,01	0,12	N.D.			26,5		12,757
	E-58 (F)	Centro de Embalse - 5.	0373971	8149160	4,2	5,1	5,1			0,13	0,10	N.D.			26,5		12,677
12	E-59 (S)	Centro de Embalse - 6.	0370651	8149511	4,2	6	5,2	64	100,3	N.D.	0,11	N.D.	6	N.D.	26,7	3,5	12,679
	E-59 (M)	Centro de Embalse - 6.	0370651	8149511	4,2	6	5,1			N.D.	0,10	N.D.			25,1		12,433
	E-59 (F)	Centro de Embalse - 6.	0370651	8149511	4,4	6	5,0			0,01	0,11	N.D.			26,5		13,000
<b>PROMEDIO</b>					<b>4,4</b>	<b>4,9</b>	<b>5,1</b>	<b>50</b>	<b>95,0</b>	<b>0,03</b>	<b>0,11</b>	<b>N.D.</b>	<b>3,3</b>	<b>N-D</b>	<b>27,8</b>	<b>2,3</b>	<b>10,65</b>

Fuente: Elaboración propia en base a los resultados de análisis reportados por ENVIROLAB PERU S.A.C

Dónde: (S) = superficie (M) = media agua (F) = Fondo

CONSORCIO V-5

Ing. Víctor Díaz Nuñez  
INGENIERO CIVIL  
CIP. 6530

CONSORCIO V-5

Ing. César Zumarán Calderón  
ING. AGRÍCOLA  
CIP. 31565

CONSORCIO V-5

Ing. Juan Quiroga Vite  
INGENIERO GEÓLOGO  
CIP. 55172

Con respecto a la presencia de nutrientes (N y P), se observa que las concentraciones reportadas en ambos meses, no varían mucho. En mayo se registró una concentración promedio de 0,035 mg/l y en julio 0,030 mg/l; sin embargo se observa que la concentración de PT de mayo a julio disminuye significativamente de 1,37 mg/l de N-NO<sub>3</sub> en mayo a 0,11 mg/L en julio. En el mes de julio se reporta una concentración promedio de clorofila "a" para los 36 puntos monitoreados de **10,65 mg/m<sup>3</sup>**

#### 13.4 ESTADO TRÓFICO DEL EMBALSE PASTO GRANDE

Según los promedios obtenidos de Fósforo total (PT), la transparencia del agua al disco Secchi y la concentración de clorofila "a", el embalse Pasto Grande, en términos generales puede ser clasificado **como un cuerpo de agua de tipo MESO EUTRÓFICO, y por los datos de clorofila "a" con ligera tendencia a eutrófico (ver Cuadro N° 08)**, donde la principal causa, es la presencia de fósforo total, generado posiblemente a partir de la liberación de nutrientes desde el fondo del embalse en un determinado periodo del año, donde se ha originado la descomposición de la materia orgánica contenida en los pastizales y bofedales inundados. Con la finalidad de verificar con mayor precisión el cambio de nivel trófico, es recomendable realizar evaluaciones sistemáticos de los parámetros: Fósforo total, Nitrógeno total, Clorofila "a" y transparencia, por lo menos una vez al mes y en los mismas estaciones de monitoreo.

Cuadro N° 08

#### Nivel Trófico del Embalse Pasto Grande

Categoría trófica	Clorofila (mg/m <sup>3</sup> )		Fósforo total (ug/l)	Transparencia al Disco Secchi (Z) en m.		EMBLSE PASTO GRANDE			
	Media	Máxima		Media	Mínimo	Fósforo total (ug/l)	Z (m)	Clorofila (mg/m <sup>3</sup> )	
						Media	Media	Media	Máxima
Ultra oligotrófico	< 1,0	< 2,5	< 4,0	> 12,0	> 6,0				
Oligotrófico	< 2,5	< 8,0	< 10,0	> 6,0	> 3,0				
<b>Meso eutrófico</b>	<b>2,5 – 8</b>	<b>8 – 25</b>	<b>10 a 35</b>	<b>3 a 6</b>	<b>1,5-3</b>	<b>35,00</b>			<b>17,00</b>
Eutrófico	8 – 25	25 – 75	35 – 100	1,5-3	0,7-1,5		<b>2,30</b>	<b>10,6</b>	
Hiper eutrófico	> 25	> 75	>100	< 1,5	< 0,7				

Fuente: Elaboración propia en base a la clasificación de la OECD 1982.

Las lagunas y lagos naturales situados en latitud baja, 16° de latitud sur (tropicales o sub tropicales), pero de altura elevada por encima de los 3000 m.s.n.m ubicados en la región alto andina del Perú, generalmente son de características oligotróficas, pero vulnerables a la eutrofización y a problemas de contaminación. Como referencia, se tiene el caso del lago Titicaca ubicado a 3810 m.s.n.m, en la zona denominada lago mayor, donde la transparencia,

dependiendo del mes en que se la mida, oscila entre 7 y 16 m (aguas muy transparentes), la concentración de PT es  $< 10 \text{ ug/L}$  y la clorofila puede ser  $< 8 \text{ mg/m}^3$ .

Si el embalse Pasto Grande, fuera una laguna natural, por la altura a la que se encuentra, sería de similares características. Pero este cuerpo de agua es considerado una laguna "artificial", ubicado por encima de los 4000 m.s.n.m, - como se indicó anteriormente- formado sobre extensas áreas de bofedales y pastos naturales, expuesto a una fuerte radiación solar que tienen una extensa superficie y una profundidad somera, el cual es susceptible de presentar temperaturas anuales medias elevadas para los meses de octubre a noviembre ( $> 16 \text{ }^\circ\text{C}$ ) para el cuerpo de agua, con un gradiente térmico muy heterogéneo entre el día y la noche lo que se traduce por un período de actividad biológica más larga, dando lugar a "blooms algales", con predominancia de determinadas especies, que terminan afectando la calidad del agua, y por ende causando la muerte de determinadas especies de macro invertebrados y peces, como lo ocurrido a partir del año 2005 en el embalse Pasto Grande.

Hay que señalar que la causa principal del cambio trófico del cuerpo de agua en estudio, es la presencia de nutrientes en sus diferentes formas (N y P); siendo necesario indicar que en este proceso no participan los metales pesados.

#### 14 CICLO BIOGEOQUÍMICO EN EL EMBALSE PASTO GRANDE

En el embalse Pasto Grande el ciclo biogeoquímico, está gobernado principalmente por la liberación de nutrientes desde los sedimentos orgánicos del fondo de éste, participando a través de un ciclo cerrado. En el esquema siguiente se ilustra cualitativamente el ciclo de los principales elementos que participan en el ciclo biogeoquímico. Ver **Figura N° 14**.

CONSORCIO V-5

Ing. Víctor Díaz Nuñez  
INGENIERO CIVIL  
CIP. 6530

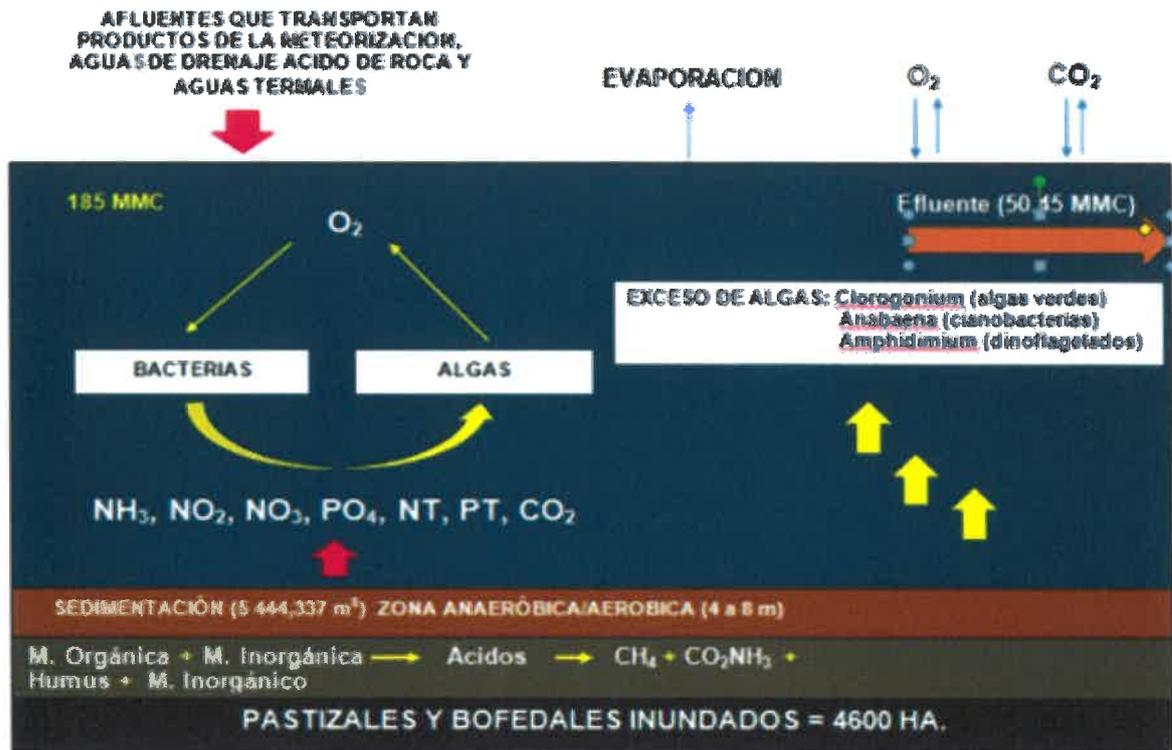
CONSORCIO V-5

Ing. César Zumarán Calderón  
ING. AGRÍCOLA  
CIP. 31565

CONSORCIO V-5

Ing. Quiroga Vite  
INGENIERO BIÓLOGO  
CIP. 72

Figura N° 14



Modelo conceptual básico del ciclo Biogeoquímico en el embalse Pasto Grande

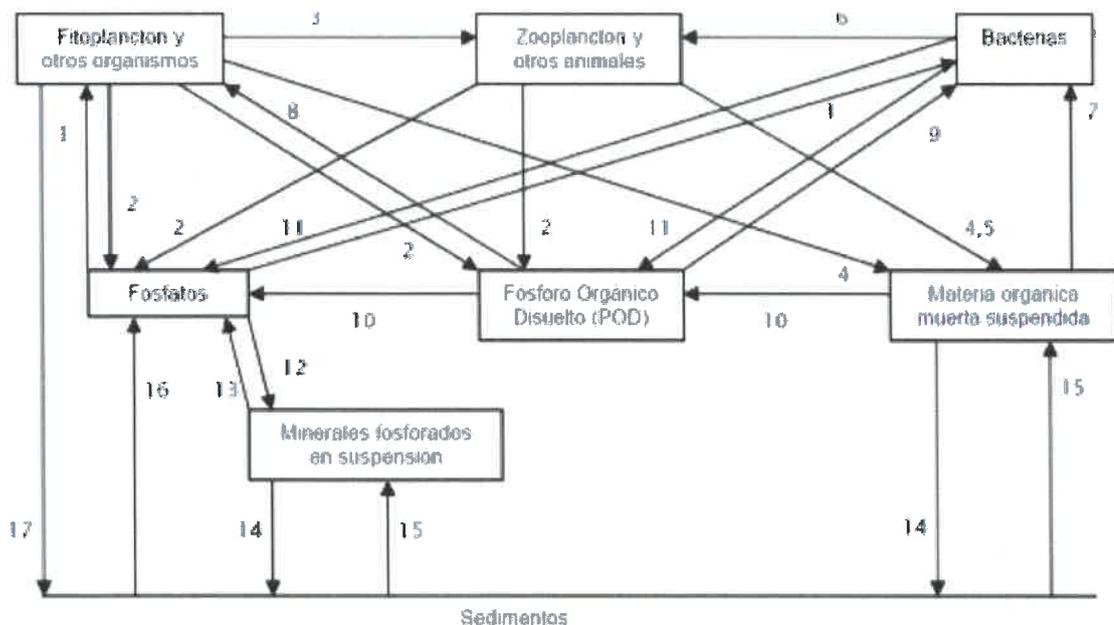
Según el esquema anterior, se puede observar que el ciclo biogeoquímico en el embalse Pasto Grande es casi cerrado, ya que la eliminación de los nutrientes (N y P) permanece algo más de 15 años. Si existiera una renovación más rápida del agua del embalse, y con ella la eliminación de nutrientes, situación que ayudaría a recuperar o mantener la calidad del agua; sin embargo a la fecha no es posible; por ende el problema subsistirá por tiempo indeterminado. A nivel del embalse Pasto Grande, se ha estimado una carga total de PT equivalente a 5 837 kg y 400 000 kg de Nitrógeno de Nitrato (N-NO<sub>3</sub>); suficiente cantidad de nutrientes para mantener al cuerpo de agua en estado meso eutrófico.

### 14.1 CICLO DEL FÓSFORO EN EL EMBALSE

Todo indica que el comportamiento biológico del embalse Pasto Grande, está gobernado en gran medida por la presencia de Fósforo; de allí la importancia de conocer cualitativamente el ciclo de éste, en el cuerpo de agua, ya que este componente es esencial para el desarrollo de los organismos, porque forma parte del ADN, ARN, fosfolípidos, ATP y c-AMP (Martínez. R. 2004).

Cabe destacar que el ciclo de este nutriente (Ver fig. 15) difiere en muchos aspectos al del nitrógeno; en éste caso la principal reserva de N es la atmósfera, mientras que la del P, es de tipo sedimentario. De tal manera que el 95% del P, se encuentra en forma de apatito ( $\text{Ca}(\text{PO}_4)_3(\text{F}, \text{Cl}, \text{OH})$ ). Otra diferencia importante es la relativa a los estados de oxidación. En los ecosistemas naturales el Fósforo aparece casi exclusivamente en forma pentavalente, en estado de oxidación +5, encontrándose como fosfato ( $\text{PO}_4^{3-}$ ), donde todas las formas disueltas y particuladas de fósforo son combinaciones, acomplejamientos o modificaciones de este ión, por lo que en este caso no tiene lugar cambios en el estado de oxidación y en general el ciclo biogeoquímico del fósforo es similar al del fosfato. En el modelo conceptual se presenta el ciclo del fósforo a nivel del embalse o cualquier otro cuerpo de agua.

Figura N° 15



Como se observa en el modelo, el ciclo del fósforo, no tiene un inicio determinado; pero puede empezar con el metabolismo a nivel de los primeros eslabones de la cadena trófica, a partir de la "captura" del fósforo disuelto en el agua. El fitoplancton asimila fosfatos (1) y consume POD (monoésteres) (8), pudiendo liberar ambos tipos de compuestos al medio acuático (2). Con la muerte del fitoplancton aumenta la materia orgánica muerta suspendida (4) en el medio, ya sea

de esa forma o como fitoplancton vivo o senescente (envejecimiento biológico) que sedimenta hasta el fondo (17).

El segundo eslabón trófico, el zooplancton consume fitoplancton (3) y bacterias (6). Con sus excreciones se liberan fosfatos y POD (2), y con su muerte y heces aumenta la cantidad de materia orgánica muerta suspendida en el agua (BDO<sub>5</sub>) 4 y 5 respectivamente.

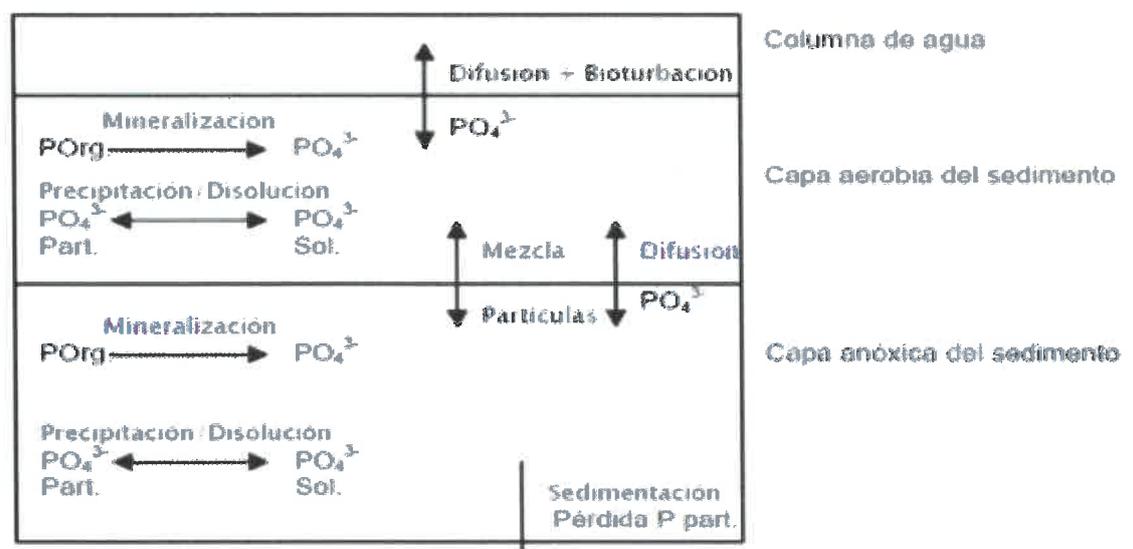
Las bacterias absorben fosfatos (1) utilizan el POD (9) y degradan la materia orgánica muerta suspendida (7). En la autólisis bacteriana se libera fosfato y POD (11).

La materia orgánica muerta suspendida puede llegar a sedimentar (14) o degradarse abióticamente a POD (10) y posteriormente a fosfatos (10). Los fosfatos pueden formar partículas minerales al combinarse con cationes (Ca, Fe, etc.) o ser adsorbidas en ellas (12), partículas que pueden llegar a sedimentar (14) o producirse una desorción y disolución liberando de nuevo fosfatos (13).

Por último se puede producir una re-suspensión de los sedimentos (15) o una liberación de fosfatos desde éstos (16). Esto es lo que ocurre a nivel de la columna de agua.

Pero a nivel del propio sedimento asentado en el fondo del embalse, también ocurren complejas interacciones químicas y físicas (Ver Figuras N° 14-16) que caracterizan las diversas formas de fósforo, que es conveniente conocer, para comprender el ciclo biogeoquímico de éste importante nutriente.

Figura N° 16



En los sedimentos de un embalse u otro cuerpo de agua, generalmente se distinguen dos capas, una más superficial y normalmente oxidada y otra más profunda en condiciones

anóxicas/anaerobias. Es de señalar que solamente en una capa de aproximadamente 10 cm, es donde normalmente se presenta actividad.

Es la diferencia de concentraciones entre el agua intersticial y la columna de agua, la que crea un flujo desde el compartimiento de mayor concentración al de menor; aunque la presencia de organismos puede aumentar de manera significativa el intercambio entre la columna de agua y los sedimentos.

#### 14.2 INDICADORES BIOLÓGICOS DEL NIVEL TRÓFICO

Los niveles tróficos de un cuerpo de agua, también está representado por en número y especies fitoplanctónicas. Cuando un lago es pobre en nutrientes (oligotrófico), generalmente la concentración de organismos por litro es baja, en comparación a lagos mesoeutróficos o eutróficos, donde el número está por encima de varios millones de organismo/litro. Su conteo es útil para evaluar el estado ecológico del cuerpo de agua. Desde ese punto de vista, en base a la información disponible, se ha intentado buscar información biológica que permita dar mayor sustento a la clasificación trófica determinada para el embalse Pasto Grande. Se ha tomado en cuenta la información reportada por Lorena Alvariño, en el Informe de caracterización biológica. En la **Tabla N° 06**; se presenta en resumen el número de organismos por litro, los taxones y su comportamiento en el tiempo desde el 2008 al 2012.

Tabla N° 06

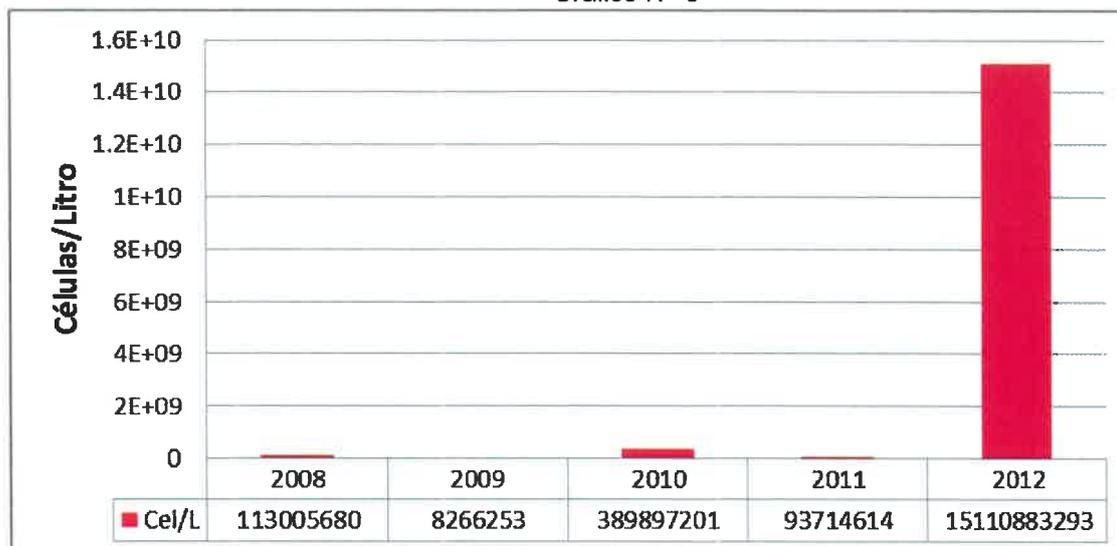
**Valores de especies Clave Fitoplanctónicas analizadas en cada año 2008-2012 en CEL./L.**

GRUPO	ESPECE	2008	2009	2010	2011	2012
Algas Verdes	Chlorogonium sp.	17 355 889	4 350 000	237 969 131	15 109 769	15 109 769 000
Cianobacterias	Anabaena sp.	1 152 890	12 783	20 000	48 056	22 900
Dinoflagelados	Amphidinium sp.	28 614 352	3 610 210	10 889 685	2 961 180	2 759
Fitoflagelados	Otros fitoflagelados (<20µ)	65 882 549	293 260	141 018 385	75 595 609	1 088 634
<b>TOTAL (Cel./L)</b>		<b>113 005 680</b>	<b>8 266 253</b>	<b>389 897 201</b>	<b>93 714 614</b>	<b>15 110 883 293</b>

Fuente: Informe de Caracterización biológica (Blga. Lorena Alvariño Flores)

Como se observa en la tabla anterior, se observa que el 2012, se reporta una cantidad muy grande de organismos del orden de los las 15 billones de células por litro, que comparada a los años anteriores, la diferencia es muy superior. Esta gran cantidad de organismo, corrobora la conclusión de que el embalse Pasto Grande, se encuentra en un estado mesoeutrófico.

Gráfico N° 5



Desde el año 2008 en adelante, la especie que ha predominado en el embalse Pasto Grande, son las algas del grupo de las algas verdes, representadas por altas concentraciones de *Chlorogonium sp.*, las cuales son las responsables de conferir al cuerpo de agua una coloración pardo rojiza, tal como indica la DIGESA en febrero de 2008 (Ver **Tabla N° 07**). Cabe destacar que este grupo de algas, son características de cuerpos de agua eutroficados. Es necesario indicar, que pese a que las aguas del embalse Pasto Grande son ácidas, el fitoplancton es resistente.

Tabla N° 07

**Composición de Especies de Algas en el Embalse Pasto Grande-febrero 2008**

GRUPO	PUNTOS DE MUESTREO				FLORACIÓN ALGAL (Cel./l)
	P-8 DENTRO DE LA LAGUNA PASTO GRANDE	P-18 DENTRO DE LA LAGUNA PASTO GRANDE	P-23 ORILLA DE LA LAGUNA PASTO GRANDE	P-24 COMPUERTA PRESA LAGUNA PASTO GRANDE	
Chlorogonium sp.	700 000	2 273 086	4 180 000	580 000	> 10 <sup>6</sup>
Fitoflagelados	4 450 923	3 424 000	6 826 624	2 203 848	
Crisófitas	2738	0	0	0	
Algas verdes	3580	12500	12800	5144	
Euglenoides	2106	1000	5600	10860	
Dinoflagelados	0	0	0	286	

Fuente: Informe N° 0141 de la DIGSEA de febrero 2008

CONSORCIO V-5

CONSORCIO V-5

CONSORCIO V-5

61

Si se comparan los resultados entre los reportados en las campañas realizadas en el presente año (2012), con los del 2008, la diferencia es significativa

## 15 EVALUACION DE LA INFORMACION PARA EL MODELAMIENTO BIOGEOQUIMICO DEL EMBALSE PASTO GRANDE

### 15.1 REQUERIMIENTOS

Los Términos de Referencia del estudio **“MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DE LAS AGUAS DEL EMBALSE PASTO GRANDE, DISTRITO CARUMAS, PROVINCIA MARISCAL NIETO, REGIÓN MOQUEGUA”**, plantea desarrollar el modelamiento del ecosistema y ciclos biogeoquímicos; así como desarrollar un sistema de modelamiento dinámico biogeoquímico del embalse Pasto Grande, para determinar el comportamiento del ecosistema en función de los factores y parámetros ambientales. El cual consiste en: Modelo matemático y/o estadístico u otros y la aplicación de un software científico.

### 15.2 OBJETIVO

El objetivo del presente estudio es, simular numéricamente la geoquímica del embalse Pasto Grande. Además cuantificar los efectos que la heterogeneidad en el embalse podría producir en las concentraciones registradas por los trabajos de campo en la zona. Estos efectos podrían producirse bajo ciertas condiciones asignadas al modelo (escenarios), de los ciclos biogeoquímicos del agua.

### 15.3 EVALUACIÓN DE LOS PARÁMETROS A UTILIZAR

Para determinar el comportamiento biogeoquímico del agua, se planteó utilizar parámetros de calidad tanto en la matriz líquida (agua) así como en la matriz sólida (sedimentos):

- a. En agua.- pH, O<sub>2</sub>, Transparencia (z), DBO<sub>5</sub>, DQO, Fósforo total, PO<sub>4</sub>, N-NH<sub>3</sub>, NO<sub>3</sub>, SO<sub>4</sub>, metales pesados como: Hg, As, Cd, Mn, Cr+6, Fe, Pb, Zn, Cu.
- b. La interrelación con los siguientes parámetros contenidos en los sedimentos: pH, DBO<sub>5</sub>, DQO, Fósforo Total, N-NH<sub>3</sub>, Sulfuro y Sulfatos.

CONSORCIO V-5

Ing. Víctor Díaz Nuñez  
INGENIERO CIVIL  
CIP. 6530

CONSORCIO V-5

Ing. César Zumarán Calderón  
ING. AGRÍCOLA  
CIP. 31565

CONSORCIO V-5

Ing. Juan Quiroga Vite  
INGENIERO GEÓLOGO  
CIP. 5372

#### 15.4 ASPECTO METODOLÓGICO

La metodología del estudio está basada en la implementación de dos modelos; uno la hidrodinámica y otro de transporte, cuyas soluciones se plantean haciendo uso de:

- La técnica Euleriana, que considera la conservación de las masas sobre los volúmenes de control.
- El modelo de Transporte utilizado para simular el comportamiento de la pluma se basa en una aproximación Euleriana, de la Ecuación de Convección-Difusión, y
- La solución de las ecuaciones gobernantes, está basado en el método de diferencias finitas, que parte de un dominio de malla regular.
- Como solo se tienen datos sólo de 2 campañas (mayo y julio), con muestreos de frecuencias horarias, sin embargo estas se inician a las 10:00 y terminan a las 2:00, con lo que no se completan siquiera un ciclo diurno. Además no se dispone de información completa a nivel de la columna de agua.
- En la toma de datos, no han tomado en cuenta la variación temporal ni espacial de los procesos.
- En este contexto, se plantea hacer la modelación hidrodinámica del sistema, y hacer que los parámetros listados arriba se dispersen en el lago, pero la forma como ellos reaccionan químicamente tendría que tomarse de la observación, o, mediante simulaciones plantear escenarios posibles.

#### 15.5 REQUERIMIENTOS DE INFORMACIÓN

Para la aplicación o desarrollo de cualquier modelamiento biogeoquímico, se requiere la siguiente información:

1. Relieve del fondo del lago (batimetría), de alta resolución, lo cual definirá la heterogeneidad hidrodinámica de la zona del embalse.
2. Perfil vertical de temperatura del lago, en al menos en 40 puntos. El espaciamiento del perfil vertical debe ser 0.5m y la distribución de los 40 puntos debe ser en forma de una grilla regular distribuido de tal manera que el área entre cuatro puntos vecinos cubra siempre un área similar, es decir, que estén igualmente distribuidas a lo largo del embalse. Las medidas de estos perfiles se harán por un día, con una frecuencia temporal de al menos 3 horas. Esto debido a que el ciclo diurno debe ser una componente importante en la dinámica de la zona de estudio, siendo de gran importancia en la modelación del flujo. (Calvo. M 2012).
3. Registros de la dirección y velocidad de vientos con una frecuencia de 0. Horas durante los días de medición de los perfiles de temperatura de agua en el embalse. Para la modelación se necesita el efecto sobre la zona del embalse, así que se debe tomar la medición de los

CONSORCIO V-5

Ing. Víctor Díaz Nuñez  
INGENIERO CIVIL  
CIP. 6530

CONSORCIO V-5

Ing. César Zumarán Calderón  
ING. AGRÍCOLA  
CIP. 31565

CONSORCIO V-5

Ing. Quiroga Vite  
INGENIERO GEÓLOGO  
CIP. 5122

vientos a 2, 1 y 5 metros de altura, respecto de la superficie del agua. Además debe ser tomadas en 3 ubicaciones, formando un triángulo que cubra toda el área del embalse. Los puntos de los triángulos deben estar a 50 metros de la orilla de la zona del embalse.

4. Imágenes de satélite en alta resolución para determinar la temperatura superficial del lago. Estas se pueden conseguir por internet a una resolución baja o comprarse con una resolución mejor (proporcionan mejores resultados).

La dinámica del lago estará altamente ligada al calentamiento del ciclo diurno. Esto último, los vientos, y la topografía del fondo deben ser las forzantes de primer y segundo orden que alimenten al modelo para describir la dinámica local de la zona del embalse.

Para la correcta aplicación de determinados modelos biogeoquímicos, como para la construcción de un modelo, se requiere de series históricas de calidad de agua, teniendo en cuenta los parámetros indicados en el numeral 2.11.3, de por lo menos un año completo. Desde ese punto de vista, la información disponible, resulta insuficiente, ya que por un lado, se dispone de información de calidad del agua, correspondiente a 2 campañas de monitoreo (mayo y julio); es incompleta y no es representativa ni espacial, ni temporal.

La información histórica, también es incompleta, tampoco se dispone de series histórica, no existe información a nivel de la columna de agua; por lo tanto si se tiene en cuenta que el modelamiento biogeoquímico del ecosistema es un proceso largo, complejo y requiere de numerosos datos para obtener un modelo satisfactorio, **la información disponible no permite ni aplicar un modelo ni construir uno; porque se requiere como mínimo datos históricos con 1 año de antigüedad, la misma metodología de muestreo y generados de un adecuada red de puntos de monitoreo.**

Solo se poseen datos de Fitoplancton en una escala temporal de 4 años, los datos de Zooplancton y Bentos son solo del último muestreo del presente año. Esto impide alcanzar el objetivo de la tareas asignada.

## 15.6 MODELOS BIOGEOQUÍMICOS

Los modelos que se pueden aplicar al modelamiento biogeoquímico son diversos, pero generalmente para el modelamiento biogeoquímico de cuerpos de agua marinos. Para el caso de lagos o embalses se requiere de muestreo mínimos de los siguientes parámetros, que comprenda series históricas de por lo menos un año como mínimo.

### 1. Datos Físicos

- Área superficial, volumen, profundidad
- Disco Secchi
- pH

CONSORCIO V-5  
  
 Ing. Víctor Díaz Nuñez  
 INGENIERO CIVIL  
 CIP. 6530

CONSORCIO V-5  
  
 Ing. César Zumarán Calderón  
 ING. AGRÍCOLA  
 CIP. 31565

CONSORCIO V-5  
  
 Ing. Juan Quiroga Vite  
 INGENIERO GEÓLOGO  
 CIP. 72

- Temperatura del agua + y del aire
- Precipitación (medición del nutriente si su contribución es significativa)
- Área de drenaje directo - uso de la tierra
- Flujo efluente (Qef)
- Volúmenes epi/hipolimnéticos (si fuera posible)
- Tiempo de retención hidráulica
- Flujo de afluentes (Qaf) del embalse

## 2. Datos Químicos, Bioquímicos Y Biológicos

- Fósforo total (PT)
- Ortofosfato (PO-34)
- Clorofila "a"
- Nitrógeno total Kjeldahl (NTK)
- Nitrógeno amonio (NH<sub>4</sub>)
- Nitrito-nitrato (NO<sub>2</sub>-NO<sub>3</sub>)
- Conductividad
- Oxígeno disuelto (epil/hipolimnión)
- Productividad primaria
- Cobertura de macrofitos
- Biomasa de macrofitos
- Determinación de carga de NT y PT de origen externo
- Evaluación de corrientes de agua
- Corrida de metales pesados, tanto a nivel del embalse como el los afluentes principales y la descarga.
- Análisis químico de sedimentos en mínimamente 8 puntos y 2 veces por año.

Con la información generada es desarrollar y validar un modelo biogeoquímico para el embalse Pasto Grande, que permita evaluar y predecir el comportamiento de la calidad del agua como base para la toma de decisiones adecuadas en materia de gestión de la calidad del agua. Para ello es recomendable que el Proyecto Pasto Grande ejecute un programa de vigilancia de la calidad del agua, realizando la medición de parámetros de campo, como realizando análisis de calidad del agua en un laboratorio acreditado de los parámetros químicos orgánicos e inorgánicos, según lo antes señalado.

Los costos que demanda llevar a cabo esta actividad se presentan en la tabla siguiente.

CONSORCIO V-5

Ing. Víctor Díaz Nuñez  
INGENIERO CIVIL  
CIP. 6530

CONSORCIO V-5

Ing. César Zumarán Calderón  
ING. AGRÍCOLA  
CIP. 31565

CONSORCIO V-5

Ing. Juan Quiroga Vite  
INGENIERO GEÓLOGO  
CIP. 55272

Tabla N° 08  
**Análisis de Costos para el Diseño y Validación de un Modelo Biogeoquímico para el Embalse Pasto Grande**

RUBROS	U.MED.	CANT.	C. UNT.	C. TOTAL
<b>Personal</b>				<b>56,000.00</b>
Especialista en modelamiento	Mes	4	10,000.00	40,000.00
Químico especialista en calidad de agua	Mes	1	8,000.00	8,000.00
Biólogo especialista en hidrobiología	Mes	1	8,000.00	8,000.00
<b>Servicios de laboratorio</b>				<b>992,000.00</b>
Análisis físico químico de calidad del agua y sedimentos	Análisis	496	2,000.00	992,000.00
Otros	Glb.	1	10,000.00	<b>10,000.00</b>
<b>Sub Total (A)</b>				<b>1,058,000.00</b>
G. Generales (10 %) de A				105,800.00
Utilidades (10% de A)				105,800.00
Sub total (B)				<b>1,269,600.00</b>
IGV (18%)				228,528.00
<b>TOTAL S/.</b>				<b>1,498,128.00</b>

### 15.7 RED DE PUNTOS DE MONITOREO

La red de puntos deberá estar conformada por los 12 puntos actualmente establecidos en el embalse Pasto Grande y 4 ubicados en los 4 ríos afluentes. El monitoreo deberá de realizar con una frecuencia mensual. La finalidad de ésta actividad es construir una serie histórica completa y representativa en términos de tiempo y espacio, de utilidad tanto para el modelamiento biogeoquímico como para la gestión de la calidad del embalse Pasto Grande.

### 15.8 LOS MODELOS DE CALIDAD DEL AGUA

Un modelo de calidad del agua, tiene un concepto diferente al de un modelo de ciclos Biogeoquímicos. El modelo de calidad del agua permite predecir el comportamiento de la calidad de ésta a partir de la evaluación de determinados parámetros de calidad del agua, permite predecir la eficacia de las alternativas de control de fuentes contaminantes. Por lo tanto los modelos matemáticos se han transformado en una herramienta de gran utilidad al momento de estudiar fenómenos relacionados con la calidad de agua en medios receptores y fuentes de abastecimiento. Sin embargo, dichas herramientas tienen limitaciones provocadas por sus

CONSORCIO V-5

Ing. Víctor Díaz Nuñez  
 INGENIERO CIVIL  
 CIP. 6530

CONSORCIO V-5

Ing. César Zumarán Calderón  
 ING. AGRÍCOLA  
 CIP. 31565

CONSORCIO V-6

Ing. Juan Quiroga Vire  
 INGENIERO GEÓLOGO  
 CIP. 55472

mismos algoritmos de resolución y no siempre son de aplicación precisa en la variedad de situaciones que se presentan en la realidad.

Es así que en áreas de compleja hidrodinámica altamente no lineal, es necesario extremar en el cuidado en la selección y aplicación de modelos matemáticos. Por esta razón para los estudios del comportamiento de la calidad del agua del embalse Pasto Grande deberá de plantearse la necesidad de desarrollar un modelo de calidad que permitiera simular con precisión la compleja realidad de éste.

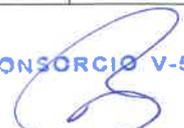
Este modelo deberá por tanto tener una gran adaptabilidad para tratar diferentes sustancias y algunos parámetros los cuales interactúan con otros, dentro de un medio físico de reducida profundidad con una muy compleja hidrodinámica.

El modelo de calidad que se desarrolle deberá estar dividido en dos partes conceptuales: 1) la resolución del transporte de las sustancias disueltas en el medio a causa de procesos físicos y químicos de los ríos afluentes y 2) la resolución del decaimiento y/o transformación de las mismas en virtud de procesos físicos, químicos y bacteriológicos en el embalse Pasto Grande.

En el cuadro siguiente se presenta una relación de algunos de los modelos de calidad del agua a manera de referencia.

Tabla N° 09  
Modelos de Calidad del Agua

NOMBRE	TIPO	DOMINIO	CARACTERÍSTICAS
CE-QUAL-ICM	1,2,3-D	Ríos, estuarios, zonas costeras, reservorios	El algoritmo de este modelo es capaz de realizar la simulación de la dispersión específica de parámetros tales como el Fe y Sólidos Totales Suspendidos, además de procesar la data hidrodinámica. Debido a que el modelo asume homogeneidad lateral, que es el más adecuado para cuerpos de agua relativamente largos y estrechos que presentan gradientes de agua longitudinal y vertical de calidad. El modelo puede ser aplicado a los ríos, lagos, embalses y estuarios. Redes ramificadas pueden ser modeladas. La porción de la calidad del agua del modelo incluye los principales procesos de la cinética de eutrofización y un compartimiento de algas. El compartimiento del sedimento del fondo almacena partículas sedimentadas, nutrientes comunicados a la columna de agua y sedimentos ejerce la demanda de oxígeno basados en los flujos suministrados por el
CE-QUAL-R1	1-D (v)	Reservorios y lagos	

CONSORCIO V-5  
  
 Ing. Victor Diaz Nuñez  
 INGENIERO CIVIL  
 CIP. 6530

CONSORCIO V-5  
  
 Ing. Cesar Zumarán Calderón  
 ING. AGRÍCOLA  
 CIP. 31565

CONSORCIO V-5  
  
 Ing. Juan Quiroga Vite  
 INGENIERO GEÓLOGO  
 CIP. 55372

			usuario.
RMA10	3-D	Reservorios, lagos, estuarios, zonas costeras	Para realizar modelados y simulaciones numéricas en tres dimensiones de la circulación hidrodinámica
RMA2	2-D (h)	rivers, lakes, estuarios, reservoirs, coastal areas	Modelo numérico hidrodinámico en elementos finitos bidimensional promediado en la vertical. Calcula las cotas de la superficie libre y las componentes horizontales de la velocidad para flujo subcrítico en campos bidimensionales de flujo.
RMA4	2-D (h)	Ríos, lagos, estuarios, reservorios, zonas costeras	Modelo de circulación 2D para un sector del Mar
WASP5	1, 2, 3-D	Ríos, lagos, estuarios, reservorios, zonas costeras.	<p>Modelo <b>de calidad de agua</b> que va realizar la simulación en los cuerpos receptores con respecto a los contaminantes tóxicos, tales como los metales aunque sea solo un grupo de ellos; As, Ba, Cd, Cu, Hg, Pb, Se, Zn además del cianuro.</p> <p>El Análisis de la Calidad de Agua del Programa de Simulación (WASP) es un marco generalizado para modelar el destino y transporte de contaminantes en las aguas superficiales. WASP se basa en el enfoque de modelado compartimiento flexible, y se puede aplicar en una, dos, o tres dimensiones. Cada compartimiento, o segmento, se designa como una capa hipolimnion, epilimnion capa, capa bentónica superior, o capa inferior bentónica.</p> <p>WASP5 incluye dos submodelos para la calidad del agua: la eutrofización y tóxicos, conocidos como EUTRO5 y TOXI5, respectivamente.</p> <p>WASP5 explícitamente maneja la mayor parte de la física, química, y los procesos biológicos que afectan a compuestos orgánicos sintéticos, con exclusión de reducción y precipitación de disolución. Si la cinética de estas reacciones se describe por el usuario, también pueden ser incluidos como una reacción adicional. Requiere de información sistemática y consistente en términos de tiempo y espacio.</p>
DYRESM	--	Dynamic Reservoir Simulation Model	Utilizado en la evaluación de la eutrofización de embalses mediante la observación, medición y aplicación de herramientas numéricas.

## Modelamiento para Alternativas de Tratamiento Seleccionadas

Como ejemplo se presenta los resultados de la aplicación del modelo DYRESM (modelo para la evaluación de la eutrofización), para el caso del lago San Roque en la República de Argentina. En las figuras adjuntas se presenta a manera de ejemplo las gráficas resultados de su aplicación para determinados parámetros del lago San Roque en Argentina.

En las figuras 17 al 21 se presenta el grado de ajuste logrado en la variable temperatura del agua durante las simulaciones, campos de temperatura, oxígeno disuelto, pH y nutrientes modelados para el lago San Roque.

Las corridas del modelo obtenidas para estas variables indicaron un ajuste aceptable entre lo simulado y lo observado. Asumiendo esta condición, se puede observar que a partir del mes de septiembre la concentración de OD en la zona profunda alcanzó el umbral de anoxia. Esta tendencia al déficit de oxígeno provocó un aumento de la cantidad de capas de agua con estas características a medida que se ingresó al período estival. La consideración permitió detectar que la anoxia, que involucró unos 10 m desde el fondo, coincidió con un aumento de las concentraciones de  $PO_4$ , (Fig. 21) situación comprobada en campo.

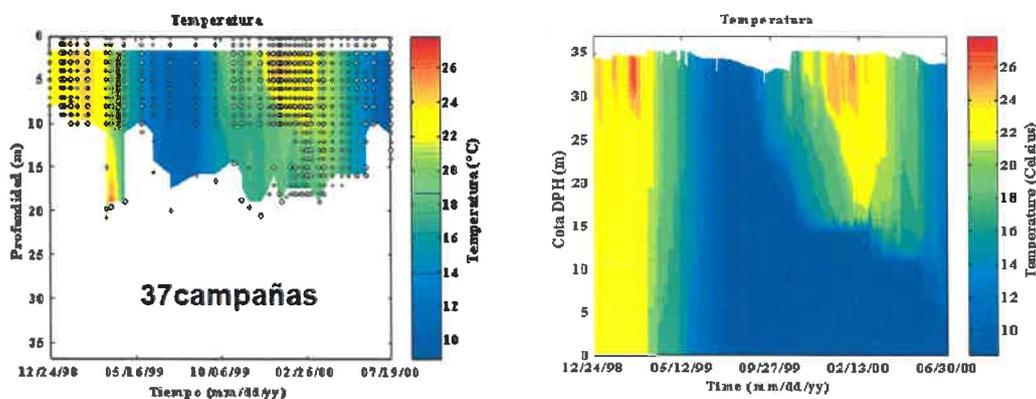


Fig. N° 17: Campo de temperaturas relevado in-situ (izq) y campo de temperaturas del agua modelado (der) en el Embalse San Roque (período dic 1998 – junio 2000). Obsérvese que se han ejecutado 37 campañas de monitoreo.

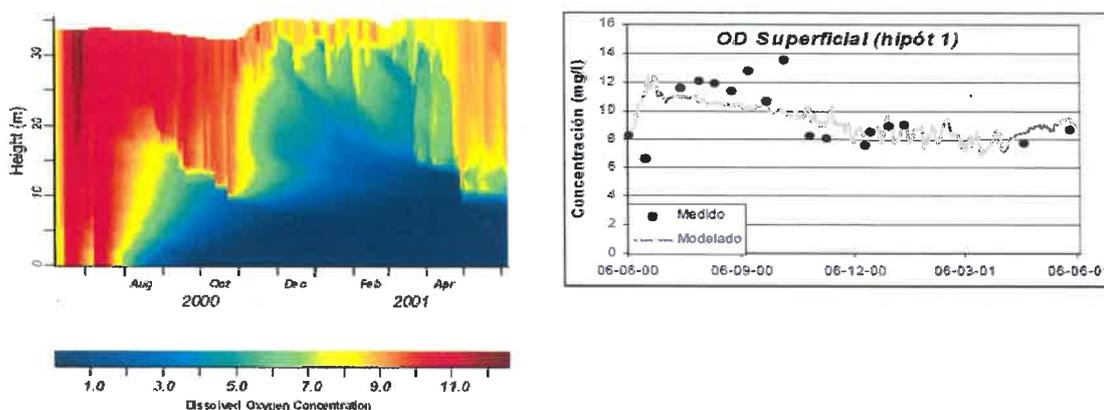


Fig. N° 18: Gráfico campo de Oxígeno disuelto simulado. Comparación de OD superficial modelado vs medido.

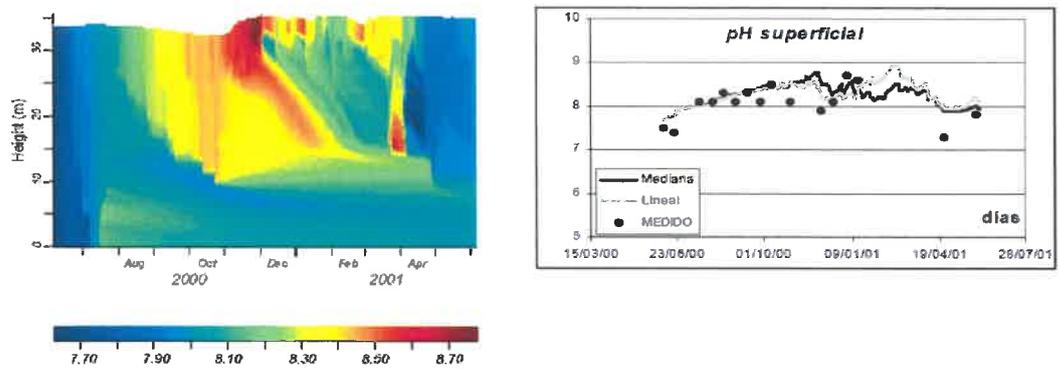


Fig. N° 19: Gráfico campo de pH simulado. Comparación de pH superficial modelado vs medido.

Los resultados obtenidos para la variable "nitrato" muestran la diferencia de concentración que existió entre los períodos de estiaje y estival. A partir del mes de junio y hasta octubre las concentraciones de este nutriente fueron homogéneas en el gradiente vertical, coincidiendo con la dinámica de este nutriente, típica de un **embalse eutrófico**. Coincidente con el período de estratificación las concentraciones en la superficie fueron simuladas con bastante exactitud.

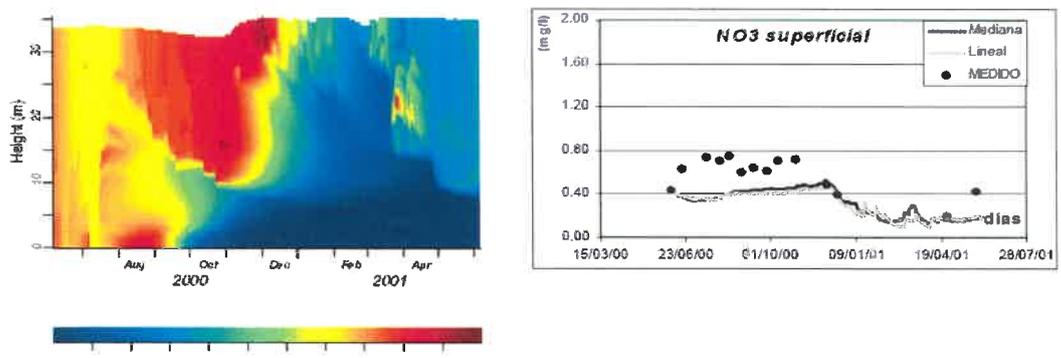


Fig. N° 20: Campo de NO<sub>3</sub> Simulado. Comparación de NO<sub>3</sub> superficial modelado vs medido.

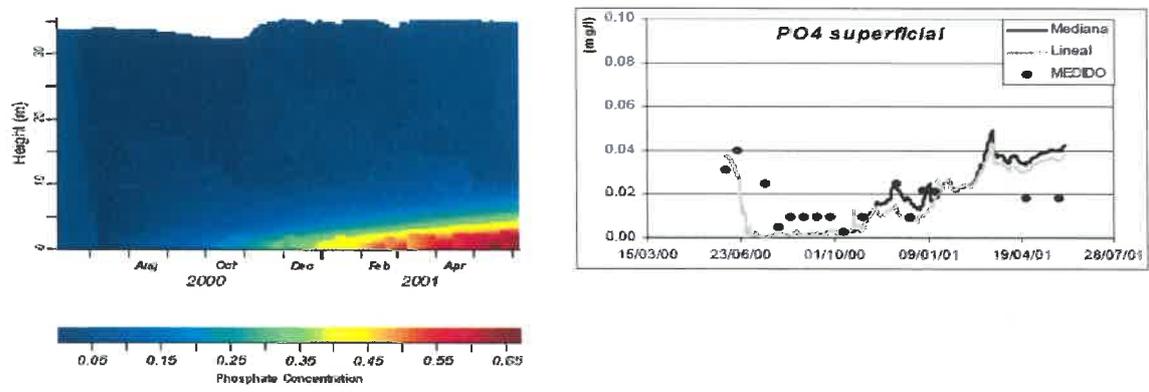


Fig. N° 21: Campo de PO<sub>4</sub> Simulado. Comparación de PO<sub>4</sub> superficial modelado vs medido.

Si bien es cierto que existen diversos tipos de modelos de calidad del agua, no es posible aplicarlos para el presente caso, debido a que para la aplicación de cualquiera de ellos se requiere determinadas condiciones y cantidad de información de calidad del agua; lo que quiere decir que el proyecto Especial Pasto Grande deberá tomar en cuenta este requerimiento para poder desarrollar o aplicar un modelo de calidad del agua.

## 16 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 16.1 CONCLUSIONES

- El embalse Pasto Grande se encuentra en estado meso eutrófico, caracterizado por la concentración media de Fósforo total del orden de los 35 ug/l, 10.6 mg/m<sup>3</sup> de clorofila y una transparencia media de 2.30 m.
- La carga interna total de Nitrato (N-NO<sub>3</sub>) en la columna de agua se ha estimado en 5,837 kg y 400,000 kg, suficiente cantidad de nutrientes para mantener al cuerpo de agua en estado meso eutrófico.
- El nutriente limitante es el nitrógeno total, que asociado a la concentración de Fósforo total, es la causa principal que está generando la proliferación excesiva de algas verdes del grupo de las Chlorophyceas, representadas por el Chlorogonium sp., las cuales cada cierto tiempo causan graves problemas a la calidad del agua y al ecosistema.
- Una de las causas principales que ha afectado la calidad del agua del embalse Pasto Grande, es la escasa renovación de agua, 2.7 años, lo que origina que anualmente sólo se renueve alrededor del 44% (75.15 MMC/año) respecto al volumen ordinario de almacenamiento (159.87 MMC).
- La información disponible corresponde sólo a 2 campañas de monitoreo, la cual es insuficiente para aplicar un modelo biogeoquímico estándar o desarrollar un modelo apropiado para modelar el comportamiento del ciclo biogeoquímico del embalse Pasto Grande. Se requiere como mínimo datos históricos de un año y bajo la misma metodología de muestreo y en los 12 puntos ubicados en el embalse, 4 en los afluentes principales.
- La calidad del embalse Pasto Grande está determinada por la naturaleza de geoquímica de la cuenca de influencia, la cual genera aguas de drenaje ácido de roca (DAR), caracterizadas por aguas ácidas, que propicia de la disolución de metales; sin embargo no interfiere con determina la biogeoquímica interna del embalse; ya que la presencia de metales no tiene relación con el cambio del nivel trófico del embalse.
- El ciclo biogeoquímico a nivel del embalse Pasto Grande está gobernado principalmente por la presencia de Fósforo total, el cual participa en ciclo cerrado a nivel del ecosistema.
- La información respecto al parámetro básico como Nitrógeno total no permiten realizar una adecuada determinación del estado trófico del embalse Pasto Grande.
- En el ámbito de la cuenca del embalse Pasto Grande, no existen vertimientos de aguas domésticas y municipales y vertimientos industriales con altos contenido de materia

CONSORCIO V-5

Ing. Víctor Díaz Nuñez  
INGENIERO CIVIL  
CIP: 6530

CONSORCIO V-5

Ing. César Zumbado Calderón  
ING. AGRÍCOLA  
CIP: 31565

CONSORCIO V-5

Ing. Juan Quiroga Vite  
INGENIERO GEÓLOGO  
CIP: 5572

orgánica, materiales oxidables y nutrientes, que estén causando la contaminación y eutrofización del cuerpo de agua.

- La información respecto a la concentración de materia orgánica, materia oxidable y PT, es inconsistente, así como la de metales pesados la cual no es representativa y de utilidad desde el punto de vista requerimientos de información para la aplicación o desarrollo de un modelo del ciclo biogeoquímico.
- El agua del embalse Pasto Grande es de tipo ácido, con un pH promedio del orden 5.09, donde la causa principal, es el aporte de aguas ácidas de los ríos Patara, Millojahuirá, Antajarane, cuyo volumen representa el 84.1% respecto al volumen anual total (92.68 MMC), cuyo pH promedio es de 4.3.
- No es posible realizar el modelamiento biogeoquímico del Sistema del Embalse Pasto Grande, ya que no se dispone de series históricas de calidad de agua (consistente) en términos de tiempo y espacio (horizontal y vertical).

## 16.2 RECOMENDACIONES

- Realizar el monitoreo sistemático de la calidad del agua con una frecuencia mensual de los parámetros físicos, químicos e hidrobiológicos tanto a nivel del embalse como en los 4 ríos afluentes, esto con la finalidad de construir una adecuada serie histórica que permita realizar una adecuada evaluación de la calidad del agua y del estado trófico del ecosistema, así como para diseñar y validar el correspondiente modelamiento biogeoquímico.
- Realizar el monitoreo del gradiente térmica y de la oxiclina una vez al mes durante los 12 meses del año, y por lo menos durante 4 veces durante el día, en los meses de febrero, julio y noviembre.
- Recomendar al equipo de calidad del agua, incluir en las recomendaciones, que se establezca una red de monitoreo de calidad de agua tanto en el embalse Pasto Grande, así como en los afluentes que aportan sus agua al citado cuerpo de agua. En el caso del embalse establecer una red de 12 puntos como mínimo.
- Que el monitoreo debe realizarse de manera mensual y durante un año. En el caso del embalse Pasto Grande deberá realizarse mediciones horizontal y verticalmente.
- Recomendar al equipo de calidad del agua, incluir en las recomendaciones, que se establezca una red de monitoreo de calidad de agua tanto en el embalse Pasto Grande, así como en los afluentes que aportan sus agua al citado cuerpo de agua. En el caso del embalse establecer una red de 12 puntos como mínimo y 4 en los principales ríos afluentes.
- Con la finalidad de determinar con mayor precisión el volumen de sedimentos de tipo orgánico y su distribución espacial existentes en el fondo del embalse Pasto Grande, así como verificar la caracterización física, química y biológica es recomendable realizar un muestreo con un muestreador tipo "cilindro", a fin de obtener muestras no perturbadas del perfil de los sedimentos.

CONSORCIO V-5  
  
Ing. Víctor Díaz Nuñez  
INGENIERO CIVIL  
CIP. 6530

CONSORCIO V-5  
  
Ing. Cesar Zumarán Calderón  
ING. AGRÍCOLA  
CIP. 31565

CONSORCIO V-5  
  
Ing. Juan Quiroga Vite  
INGENIERO GEÓLOGO  
CIP. 55872

- Realizar una evaluación de la carga de sedimentos provenientes desde la cuenca y determinar la forma de deposición a nivel del embalse.
- Con la necesidad de determinar con mayor precisión los efectos de la mala calidad del agua del embalse Pasto Grande, se recomienda realizar bioensayos en sistemas controlados utilizando para ello la especie *Oncorhynchus mykiss* (trucha) en el momento que se detecte cambios en la coloración del agua. Se deberá de realizar los análisis físicos, químicos y biológicos necesarios.

## 17 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AGUIRRE, N. 1995. Estructura térmica en un embalse neotropical. Revista AINSA. 26:48-56 . ISSN 0120-372 X. Medellín.
2. Benner R, Pakulski, JD, McCarthy M, Hedges JI, and Hatcher PG. Bulk Chemical Characteristics of Dissolved organic matter in the Ocean. Science, 1992;255:1561-1565.
3. BJÖRK, S. & GELIN, C. 1980. Limnological function and management on the El Peñol reservoir Colombia. University of Lund. Sweeden.
4. CEPIS. 1990. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria. Proyecto Regional de Eutroficación en Lagos Cálidos Tropicales.
5. CEPIS 1996. Curso de Eutroficación de lagos Cálidos Tropicales
6. Claude Dejoux y André Iltis. 1991. El lago Titica Síntesis del Conocimiento Limnológico Actual.
7. Colvin et al., 2010. The Clear Lake Ecosystem Simulation Model (CLESM)
8. Decamps H, Naiman RJ. Towards an Ecosystem Perspective. En: Naiman RJ, and Decamps H (eds). The ecology and management of Aquatic-Terrestrial Ecotones. Man and the Biosphere series. Park Ridge, NJ: Parthenon Publishing Group, 1990;4.
9. Feisinger P. Habitat "Shredding". En: Maffe G, and Carrol R (eds). Conservation Biology. Sunderland, MA: Sinaeurassociates, 1994:258-260
10. MÁRQUEZ, G. & GUILLOT, G. 1988. Proyecto estudios ecológicos de embalses colombianos. Etapa prospectiva. Informe final, FEN- Universidad Nacional de Colombia. Bogotá.
11. Ocola y Flores 2008. Contaminación y Gestión Ambiental de la Bahía Interior de Puno Lago Titicaca: Realidad, Crítica y Aportes.
12. Odum HT. Enviroment, Power and Society, Nueva york: Wiley-Interscience, 1971.
13. Odum WE, Internal processes influencing the maintenance of Ecotones: Do they Exist? En: NaimanRj, and Decamps H (eds). The ecology and management of Aquatic-Terrestrial Ecotones. Park Ridge, NJ: Parthenon Publishing gropu, 1990:91-102.
14. OECD, .1982. Eutrophication: monitoring assessment and control. Organism for Economic Co-operation and Development. Paris.
15. Proyecto Especial Regional Pasto Grande 2012. Batimetría del Embalse Pasto Grande
16. ROLDÁN, G. 1992. Fundamentos de limnologianeotropical. Universidad de Antioquia. 1ra ed. Medellín, Colombia.

CONSORCIO V-5

Ing. Victor Diaz Nuñez  
INGENIERO CIVIL  
CIP-6536

CONSORCIO V-5

Ing. Cesar Zumarán Calderón  
ING. AGRÍCOLA  
CIP 31565

CONSORCIO V-5

Ing. Juan Quiroga Vite  
INGENIERO GEÓLOGO  
CIP-55872

17. RUEDA, T. 1990. Características limnológicas y calidad del agua del embalse Guatapé-Peñol. Revisión de Literatura. CORNARE. Medellín.
18. Salas et Al. Metodología simplificada para la evaluación de eutrofización en lagos cálidos tropicales. CEPIS, Lima, Perú, 2001.
19. Wetzel R. Limnología, Omega Barcelona, España, 1981.
20. CEPIS/OPS 1996. Curso de Eutrofización en Lagos Cálidos Tropicales
21. Martínez, R. 2004. Estudio del flujo de nutrientes en la interfase sedimento-agua del sistema estuarino de la desembocadura del Júcar.
22. OCOLA, J y TORRES, J., 1997. Evaluación de la Eutrofización Sobre el Comportamiento de la Actividad Pesquera en la Bahía Interior de Puno.
23. OCOLA, J y TORRES, J., 1997. Evaluación de la Eutrofización Sobre el Comportamiento de la Flora Acuática Sumergida en la en la Bahía Interior de Puno.
24. OCOLA, J., 1997. Distribución Espacial y Estimación de Biomasa de Lenteja de Agua – Bahía – Puno.
25. OCOLA, J., 1997. La Contaminación y el Impacto Ambiental en la Bahía Interior de Puno.
26. Barrientos. J 2005. Diagnóstico Preliminar Integrado de los Recursos Hídricos de las cuencas Moquegua y Tambo.
27. Colmenar. E. 2008. Un termómetro para las aguas. [http://hispaagua.cedex.es/sites/default/files/hispaagua\\_articulo/ambienta/n15/articulo8.pd](http://hispaagua.cedex.es/sites/default/files/hispaagua_articulo/ambienta/n15/articulo8.pd).
28. Genin. D, Abasto. P y Techid. M 1996. Uso de los recursos forrajeros por llamas y ovinos.

CONSORCIO V-5

  
Ing. Víctor Díaz Nuñez  
INGENIERO CIVIL  
CIP. 6530

CONSORCIO V-5

  
Ing. César Zúñiga Calderón  
ING. AGRÍCOLA  
CIP. 31565

CONSORCIO V-5

  
Ing. Juan Quiroga Vite  
INGENIERO GEÓLOGO  
CIP. 5572