



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO
INFORME TÉCNICO FINAL DE PROYECTOS DE
INVESTIGACIÓN
(Enero 2012 - Diciembre 2012)

Este formato presenta los aspectos necesarios para la elaboración del Informe Técnico Final de los proyectos de investigación que se registraron en la Secretaría de Investigación y Posgrado (SIP) para su desarrollo durante el periodo (Enero 2012 - Diciembre 2012).

La información que se solicita es la mínima necesaria para documentar y evaluar el avance de los proyectos de investigación, por lo que es indispensable que se requirite sin omisiones.

Identificación del proyecto

CIIDIR-DGO
 Escuela, Centro o Unidad

20120668
 Clave del Proyecto

Título

Relación del contenido de fósforo y nitrógeno con la presencia de cianofíceas tóxicas en el Río EL Tunal, en Dgo.

Programa en donde se ubica el Proyecto

-- Ningún programa asociado --

Responsabilidad técnica y administrativa

MARIA ELENA PEREZ LOPEZ

Nombre del Director(a) del proyecto

Nombre del Director(a) de la Escuela, Centro o Unidad

La presentación deberá hacerse de acuerdo a la siguiente estructura:

1. Descripción del Informe

1.1 Resumen

Para determinar el grado de eutrofización del agua y su relación con los tipos de algas presentes en los ríos El Tunal y Durango se evaluaron siete puntos. En cada uno se tomaron muestras del agua y se midieron por duplicado, con un intervalo de 15 minutos: la temperatura, el oxígeno disuelto y su porcentaje de saturación, todos a una profundidad de 30 cm;

en el laboratorio se les analizaron sus contenidos en nitrógeno amoniacal, nitratos, fosfatos y coliformes fecales, conjuntamente a sus valores de pH y conductividad eléctrica. Se establecieron índices específicos para eutrofización (IE) y calidad para vida acuática (ICA) utilizando la ecuación de Pesce y Wunderlin. Además se determinaron los diferentes tipos de algas y sus abundancias. Se uso un análisis de correspondencia canónica (CCA) para establecer correlaciones entre datos fisicoquímicos y grupos de algas

Se encontró que el IE clasificó a 2 de los sitios como eutróficos, otros 2 mesotróficos y el resto oligotróficos en acuerdo al nivel de fósforo, nitratos y nitrógeno amoniacal que presentaron. El ICA corroboró que los dos sitios eutróficos fueron los menos aptos para el desarrollo de vida acuática. El CCA, mostró que las Cyanophytas y Euglenophytas se relacionaron con cantidades altas de fosfatos y amoníaco, en tanto las Chlorophytas y las Cryptophytas respondieron mejor al aumento en temperatura y pH, respectivamente y las Bacillariophytas fueron poco sensible a los cambios físico-químicos registrados.

Una conclusión fue: los sitios que reciben descargas de aguas residuales, además de presentar problemas de mesotrófia o eutrofia tuvieron la mayor abundancia de Cyanophytas tóxicas lo que representa un peligro para la fauna, ganadería y gente que utiliza a estos ríos

1.2 Palabras Clave

Eutrofización, calidad de agua, algas Cyanophytas toxicas e índices

Profesores participantes

Número	NOMBRE DEL PARTICIPANTE	PRINCIPALES ACTIVIDADES REALIZADAS	PERIODO	
			DE	A
1	MARIA ELENA PEREZ LOPEZ	Actividades: COORDINADORA, TOMA DE MUESTRAS Y ANALISIS DE DATOS	dd/mm/aaaa 10/01/2012	dd/mm/aaaa 15/12/2012
2	MA GPE VICENCIO DE LA ROSA	Actividades: ANALISIS MICROBIOLOGICOS Y DE ALGAS	dd/mm/aaaa 10/01/2012	dd/mm/aaaa 12/12/2012
3	EFRAIN RODRIGUEZ TELLEZ	Actividades: TOMA DE DATOS	dd/mm/aaaa 10/01/2012	dd/mm/aaaa 15/10/2012
4	MARGARITA ORTEGA CHAIDEZ	Actividades: RECEPCION DE MUESTRAS EN LABORATORIO	dd/mm/aaaa 15/01/2012	dd/mm/aaaa 15/09/2012

Desarrollo técnico de la investigación

Ejercicio de presupuesto total

Presupuesto del proyecto	IPN/SIP		Otras fuentes de financiamiento*	
	Asignado	Ejercido	Asignado	Ejercido
Gasto Corriente	42000	42000		85000

Inversión	0	0		0
Total	42000	42000	785000	85000

* Especifique el nombre de la fuente de financiamiento: SOCIEDAD COOPERATIVA DE PRODUCCION QUESERIA HOLANDA SCL

Producto(s) obtenido(s)

Número	Descripción
1	Tesis de Maestría
2	3 participaciones en congresos

Subproductos obtenidos

1. Subproductos técnicos:

2. Formación de recursos humanos:

2.1 Estudiante PIFI

Nombre: MARIA GUADALUPE SANCHEZ MARTINEZ

Nivel: Posgrado

Semestre: 4

Tiene constancia de aceptación: Si

Estado actual del alumno: Programa concluido

Actividad

Participación en metas.

2.1 Estudiante PIFI

Nombre: OLIVIA ASTRID ALMONTE GARCIA

Nivel: Posgrado

Semestre: 2

Tiene constancia de aceptación: Si

Estado actual del alumno: Programa concluido

Actividad

Participación en metas.

2.4 Tesis

Nombre: MA GPE SANCHEZ MARTINEZNivel: PosgradoTipo: TesisFecha de registro: 07/06/2011Fecha de examen: 26/11/2012El alumno proviene de una institución externa al IPN: NoNombre de la institución del alumno: IPN-CIIIDIR.DURANGO

Tema

RELACIÓN ENTRE LOS NIVELES DE EUTROFIZACIÓN Y LA PRESENCIA DE ALGAS EN EL RÍO TUNAL Y RÍO DURANGO

Actividad

FALTAN DATOS**Profesor responsable:**‣ MARIA ELENA PEREZ LOPEZ
(Director)‣ MA GPE VICENCIO DE LA ROSA
(Codirector)**3. Difusión de la investigación:****3.2 Conferencias**Tipo: NacionalFecha de realización: 09/11/2012

Título

¿EVALUACIÓN DE BIOFILTROS DOMÉSTICOS PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS GRISAS?

Lugar

QUERETARO, QTO

Profesor responsable:

- MARIA ELENA PEREZ LOPEZ
- EFRAIN RODRIGUEZ TELLEZ
- MA GPE VICENCIO DE LA ROSA
- MARGARITA ORTEGA CHAIDEZ

3.2 Conferencias

Tipo: Nacional

Fecha de realización: 10/10/2012

Título

POTENCIAL DE DEPURACION DE AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS DE TRES
MACROFITAS

Lugar

DURANGO, GO

Profesor responsable:

- MARIA ELENA PEREZ LOPEZ
- MA GPE VICENCIO DE LA ROSA
- MARGARITA ORTEGA CHAIDEZ

3.2 Conferencias

Tipo: Internacional

Fecha de realización: 28/02/2012

Título

Evaluación de remoción de detergentes en humedales artificiales
(biofiltros)?

Lugar

PERERIRA, COLOMBIA

Profesor responsable:

- MARIA ELENA PEREZ LOPEZ
- MA GPE VICENCIO DE LA ROSA
- MARGARITA ORTEGA CHAIDEZ

INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL

CIIDIR-DURANGO

PROYECTO CORTO PLAZO

SIP 20120668



**RELACIÓN DEL CONTENIDO DE FÓSFORO Y NITRÓGENO
CON LA PRESENCIA DE CIANOFICEAS TÓXICAS EN EL
RÍO EL TUNAL, EN DURANGO, MEXICO**

RESPONSABLE:

MARIA ELENA PÉREZ LÓPEZ

Resumen

Para determinar el grado de eutrofización del agua y su relación con los tipos de algas presentes en los ríos El Tunal y Durango se evaluaron siete puntos. En cada uno se tomaron muestras del agua y se midieron por duplicado, con un intervalo de 15 minutos: la temperatura, el oxígeno disuelto y su porcentaje de saturación, todos a una profundidad de 30 cm; en el laboratorio se les analizaron sus contenidos en nitrógeno amoniacal, nitratos, fosfatos y coliformes fecales, conjuntamente a sus valores de pH y conductividad eléctrica. Se establecieron índices específicos para eutrofización (IE) y calidad para vida acuática (ICA) utilizando la ecuación de Pesce y Wunderlin. Además se determinaron los diferentes tipos de algas y sus abundancias. Se usó un análisis de correspondencia canónica (CCA) para establecer correlaciones entre datos fisicoquímicos y grupos de algas.

Se encontró que el IE clasificó a 2 de los sitios como eutróficos, otros 2 mesotróficos y el resto oligotróficos en acuerdo al nivel de fósforo, nitratos y nitrógeno amoniacal que presentaron. El ICA corroboró que los dos sitios eutróficos fueron los menos aptos para el desarrollo de vida acuática. El CCA, mostró que las Cyanophytas y Euglenophytas se relacionaron con cantidades altas de fosfatos y amoníaco, en tanto las Chlorophytas y las Cryptophytas respondieron mejor al aumento en temperatura y pH, respectivamente y las Bacillariophytas fueron poco sensibles a los cambios físico-químicos registrados.

Una conclusión fue: los sitios que reciben descargas de aguas residuales, además de presentar problemas de mesotrófia o eutrofia tuvieron la mayor abundancia de Cyanophytas tóxicas lo que representa un peligro para la fauna, ganadería y gente que utiliza a estos ríos.

INTRODUCCION

La calidad del agua de las corrientes superficiales de la parte alta de la cuenca San Pedro-Mezquital, donde se encuentra el río El Tunal, es dañada principalmente por descargas de aguas residuales de tipo doméstico y agrícola causada por una infraestructura de saneamiento y sistema de tratamiento de agua residual inadecuado.

Al haber un mayor aporte de nutrientes en el cuerpo de agua la producción de biomasa vegetal aumenta lo que hace que el estado trófico del río cambie de oligo a

eutrófico, alterando la dinámica de éste; donde la producción primaria (biomasa) resulta tan elevada que la respiración nocturna desoxigena completamente el agua, lo que puede originar la total desaparición de peces y la mayoría de los invertebrados; con la muerte de éstos se lleva a cabo la descomposición de materia orgánica provocando también desoxigenación y malos olores

Además de esto existen alrededor de 40 especies de cianofíceas tóxicas de tipo cosmopolita que dañan la vida de peces y mamíferos que tienen contacto con ellos, que son un peligro potencial para la región en donde no se han hecho, hasta el momento, ningún estudio al respecto.

Debido a que la cuenca San Pedro- Mezquital es la principal fuente de agua dulce para la región agrícola-urbana de Durango, y que la eutrofización es el problema más común, el presente trabajo pretende establecer una relación entre el contenido de nutrientes y los grupos de microalgas presentes así como identificar si las cianofíceas encontradas son del tipo tóxico

OBJETIVOS Y METAS CUMPLIDAS

El Objetivo se cumplió y fue el de relacionar contenido de nutrientes con los principales grupos de cianofíceas

MÉTODOS Y MATERIALES

Se revisaron en tres ocasiones, 7 sitios; uno en el canal Acequia Grande, otro en el río Durango y 5 más sobre el río El Tunal, en cada momento se tomaron dos muestras de agua con un intervalo de 15 minutos entre ellas y se les revisaron *in situ*: OD, pH, temperatura ambiente y del agua, en el laboratorio: valores de pH y conductividad, compuestos amoniacales, nitratos y fosfatos, con ello se establecieron índices de calidad para los niveles tróficos (IE) y un índice de calidad del agua general (ICA), los cuales se relacionaron con los grupos algales presentes.

RESULTADOS

Los resultados crudos de los análisis de agua se encuentran en el **anexo 1**, con ayuda del índice de eutrofización por nutriente (IE), se estableció el estado trófico en base a las concentraciones de fosfatos, nitratos y compuestos amoniacales para cada uno de los sitios de estudio por muestreo, además se identificaron la densidad de algas (células/mL) y los grupos taxonómicos; así como su correlación con las variables medidas.

Se encontraron diferencias significativas entre sitios y tiempos de muestreo, además de correlaciones significativas para amoníaco, fosfatos con la presencia de algas tóxicas del grupo de las cianófitas, dichos nutrientes proceden de aguas residuales de la ciudad de Durango.

1. Estado trófico de los sitios de estudio

A) Muestreo de junio 2011

Para nitratos: El IE clasificó como oligotróficos a todos los sitios, con un promedio de 0.48 mg/L de NO_3^- , con un mínimo de 0.05 mg/L y el máximo de 1.46 mg/L, lo cual no representa problemas en los cuerpos de agua, ya que la cantidad permitida es de ≤ 0.5 de N-NO_3^- mg/L de acuerdo a CONAGUA y establecido por la subgerencia de estudio de calidad del agua en impacto ambiental para corrientes superficiales como ríos, lagos, presas y embalses.

Para amonio: La cantidad promedio de este compuesto fue de 2.27 mg/L N-NH_4^+ , con un mínimo de 1.7 mg/L y un máximo de 3.7 mg/L. La concentración recomendada es de ≤ 0.02 a ≤ 0.06 mg/L según los criterios Ecológicos de Calidad del Agua (1989) y el valor límite considerado nocivo para la vida acuática. El amonio rebasa los límites permitidos en todos los sitios, aun así los cuerpos de agua se siguen considerando oligotróficos según el IE, excepto para el Puente Tunal con 3.7 mg/L de N-NH_4^+ , que se clasificó como mesotrófico.

Para fosfatos: Cinco de los sitios resultaron oligotróficos y uno eutrófico, el Puente Tunal, con un promedio de 1 mg/L PO_4^{-3} , un mínimo de 0.05 mg/L y un máximo de 3.96 mg/L de PO_4^{-3} . Según los criterios ecológicos de calidad del agua (CE-CCA-001/89) (DOF, 1989), se permiten concentraciones de hasta 0.1 mg/L de fosfatos totales, medidos como fósforo para prevenir el desarrollo de especies biológicas indeseables y controlar la eutrofización en ríos y arroyos.

En este muestreo el Puente Tunal fue el único sitio que presentó problemas de eutrofización según el IE, esto pudo ser por el efecto de escorrentías de fuentes difusas como fertilizantes de terrenos de cultivo y otros desechos que se producen en lugares cercanos a este sitio, que ocasionaron el aumento de fosfatos y amonio.

En la **tabla 7** se observan los resultados del índice de eutrofización por nutriente IE para cada uno de los sitios. El Puente San Carlos no presenta valores en la tabla porque no se encontró agua.

Tabla 1. Índice de eutrofización por nutriente para cada sitio, durante el muestreo de junio del 2011

Sitios	Muestreo 1		
	Fosfatos	Nitratos	Amoníaco
El Saltito	1.4	1.1	2.1
La Punta	1.5	1.1	2.2
El Arenal	1.8	1.1	2.1
Puente Tunal	5	2.2	3
Puente San Carlos	-	-	-
La Ferrería	1.2	1.7	2.2
El Pueblito	1.2	1.6	2

Valores del índice: IE= < 3 oligotrófico, IE= $\leq 3 \leq 5$ Mesotrófico, IE= > 5 Eutrófico

B) Muestreo de noviembre del 2011

Para nitratos: cuatro sitios resultaron oligotróficos, dos mesotróficos y uno eutrófico, con una concentración promedio de 10 mg/L, un mínimo de 0.16 mg/L y un máximo de 50.40 mg/L de NO_3^- .

Para amonio: se obtuvo una concentración promedio de 2.8 mg/L, con un mínimo de 1.8 mg/L y un máximo de 5.9 mg/L de N-NH_4^+ , clasificándose cinco sitios como oligotróficos y dos mesotróficos.

Para fosfatos: Cuatro sitios resultaron oligotróficos, dos mesotróficos y uno eutrófico, con una cantidad promedio de 4.6 mg/L, un mínimo de 0.01 mg/L y un máximo de 15.12 mg/L PO_4^{-3} . Durante este muestreo se dio un aumento en los tres nutrientes, lo cual se puede observar en la **tabla 8**, presentándose más sitios como mesotróficos y eutróficos.

Tabla 2. Índice de eutrofización por nutriente para los sitios, durante el muestreo de noviembre del 2011

Sitios	Muestreo 1		
	Fosfatos	Nitratos	Amoníaco
El Saltito	1.4	1.1	2.1
La Punta	1.5	1.1	2.2
El Arenal	1.8	1.1	2.1
Puente Tunal	5	2.2	3
Puente San Carlos	-	-	-
La Ferrería	1.2	1.7	2.2
El Pueblito	1.2	1.6	2

Valores del índice: $\text{IE} < 3$ oligotrófico, $\text{IE} \leq 3 \leq 5$ Mesotrófico, $\text{IE} > 5$ Eutrófico

Como se pudo observar en la tabla 8 los sitios con mayor cantidad de nutrientes fueron El Arenal y el Puente Tunal, que resultaron mesotróficos y La Punta y el Puente San Carlos eutróficos. El aumento de nutrientes se debió en parte a las descargas de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) Oriente, la cual no cumple con las especificaciones de la NOM-001-SEMARNAT-1996 para descargas

6

en cuerpos de agua (Pérez *et al.*, 2006) que se vierten a partir del Puente San Carlos.

Las condiciones de mesotrófia–eutrofia encontradas en este muestreo también pudieron ser ocasionadas por las escasas precipitaciones de ese año, por lo que el nivel de agua de los ríos no aumento y no se dio una dilución de nutrientes.

C) Muestreo de abril del 2012

Para nitratos: En esta ocasión el IE clasificó a todos los sitios como oligotróficos con una cantidad promedio de 0.7 mg/L, un mínimo de 0.19 mg/L y un máximo de 1.30 mg/L de NO_3^- .

Para amonio: cinco sitios resultaron oligotróficos y uno eutrófico que corresponde al Puente San Carlos; la concentración promedio de este nutriente fue de 2.4 mg/L de N-NH_4^+ , con un mínimo de 1.6 mg/L y máximo de 8.9 mg/L.

Para fosfatos: Cinco sitios se clasificaron como oligotróficos y uno mesotrófico que corresponde a La Punta, con una concentración promedio de 1.1 mg/L, un mínimo de 0.01 mg/L y un máximo de 3.67 mg/L de PO_4^{-3} , ver **Tabla 9**.

Tabla 3. Índice de eutrofización por nutriente para los sitios, durante el muestreo de abril del 2012

Sitios	Muestreo 1		
	Fosfatos	Nitratos	Amoníaco
El Saltito	1.4	1.1	2.1
La Punta	1.5	1.1	2.2
El Arenal	1.8	1.1	2.1
Puente Tunal	5	2.2	3
Puente San Carlos	-	-	-
La Ferrería	1.2	1.7	2.2
El Pueblito	1.2	1.6	2

Valores del índice: IE= < 3 oligotrófico, IE= $\leq 3 \leq 5$ Mesotrófico, IE= > 5 Eutrófico

En general el índice eutrofización por nutriente evaluó adecuadamente los sitios de estudio, excepto para el Arenal durante el muestreo de junio del 2011 y el Puente Tunal en el muestreo de abril del 2012, aunque en estos sitio se presentaron bajas cantidades de nutriente, se obtuvieron valores de pH de 9 y 9.7, sobresaturación de oxígeno de 145.5% y 250.7%, también el número de algas fue mayor, estos parámetros y los valores obtenidos indican procesos de eutrofización.

La razón del que no se encontraran altas concentraciones de nutrientes pudo ser porque el tiempo de residencia del agua fue lo suficiente para estos compuestos pasaran de estar solubles en el agua a formar parte de las células de algas y macrófitas principalmente, por lo que se deben de tener en cuenta la interacción de las causas (nutrientes), efectos (alta biomasa de productores primarios) y condiciones ambientales (Karydis, 2009; Contreras, 2005; Seisdedo, 2009), como se pudo ver en los dos sitios que no fueron clasificados adecuadamente.

Los sitios que en este trabajo se clasificaron como mesotróficos – eutróficos, coinciden con trabajos anteriores de (Pérez-López *et al.*, 2006; Vicencio *et al.*, 2007) donde también fueron evaluados como eutróficos y sitios como El Pueblito y La Ferrería que resultaron oligotróficos, siguen siendo clasificados como sitios de buena calidad.

El problema del vertido de las aguas residuales que afecta principalmente a los sitios que están después del Puente San Carlos, se reduce por efecto de dilución de afluentes subterráneos, y el efecto depurativo de cruzar espacios como el humedal de Málaga (Pérez-López, 2006). Lo cual se puede observar en El Arena y La Punta que aún se mantienen con problemas de mesotrófia – eutrofia pero con una carga de nutrientes y contaminantes menor. Y en El Saltito que en este estudio resulto oligotrófico.

2. Índice de Calidad del Agua (ICA)

Se realizó un índice de calidad del agua (ICA) adicional al índice de eutrofización por nutriente, para valorar si la calidad del agua de los ríos cumple con los requisitos para el desarrollo y preservación de la vida acuática cuando se presenta un problema de eutrofización. Para este índice se emplearon los siguientes parámetros: pH, conductividad, temperatura, oxígeno disuelto, coliformes fecales, nitratos, amoníaco y fosfatos. Los valores obtenidos para cada parámetro se observan en el **anexo 1**.

A) Muestreo de junio del 2011

El ICA calificó a cuatro sitios con calidad del agua buena, con un valor promedio de 75.8; dos sitios con media (60.8) y en uno de los sitios (Puente San Carlos) no se encontró agua. El bajo contenido de oxígeno disuelto y una alta concentración de amonio fueron los parámetros que contribuyeron a que la calidad del agua decreciera y se considerara con calidad media, ver **Tabla 10**.

B) Muestreo de noviembre del 2011

El ICA clasificó a cinco sitios con calidad buena, con un promedio de 74.3; un sitio con media (51) y uno con mala calidad (37). En este muestreo el aumento en nitratos, amoníaco y el poco oxígeno disuelto ocasionaron que la calidad del agua decreciera en los puntos que obtuvieron un menor valor del ICA, ver **Tabla 10**.

Durante este muestreo los sitios que resultaron mesotróficos, fueron calificados por el ICA con buena calidad, ya que las concentraciones de nutrientes son suficientes para el aumento de biomasa y el desarrollo de los organismos y con cantidades todavía suficiente de oxígeno disuelto para mantener la vida acuática, como lo referencio Mihelcic, 2001, para cuerpos de agua mesotróficos. Sin embargo al morir los organismos, los microorganismos consumirán oxígeno para degradar esta materia orgánica, y una vez degradada aportaran nutrientes nuevamente al agua, lo

que nuevamente hará que las algas y plantas se desarrollen en exceso, provocando que el sitio se eutrofice y pierda su calidad.

C) Muestreo de abril del 2012

Los valores del ICA calificaron a cuatro sitios con calidad de agua buena, con un promedio de 77, uno con media (54) y uno con mala calidad (48), en El Arenal no se encontró agua, ver **Tabla 10**. El ICA no reflejo la verdadera calidad del agua en los sitios La Punta y el Puente Tunal, que se clasificaron con buena calidad, en estos sitios el agua se encontraba estancada, sin embargo se obtuvieron valores que sobrepasaron el 100% de saturación de oxígeno y pH fue más alcalino (8.6 a 9.7), lo que comprueba alta productividad de algas y por lo tanto sitios eutróficos.

Además de que valores arriba del 100% de saturación de oxígeno resultan peligrosos para la vida acuática, pues facilitan que burbujas de oxígeno bloqueen el flujo sanguíneo (Pérez-Castillo *et al.*, 2008) y el pH arriba de 8.5 afecta la toxicidad de algunos compuestos, al controlar su ionización, así como, la disponibilidad biológica de ciertos contaminantes, como los metales pesados (Chapman 1996; Guzmán, 2011).

Tabla 4. Clasificación del ICA por sitios y muestreos

Sitio	Muestreo	ICA	Clasificación
El Saltito	1	71	Buena
	2	71	Buena
	3	54	Media

La Punta	1	58	Media
	2	51	Media
	3	75	Buena
El Arenal	1	77	Buena
	2	78	Buena
	3	-	-
Puente Tunal	1	64	Media
	2	74	Buena
	3	74	Buena
Puente San Carlos	1	-	-
	2	37	Mala
	3	48	Mala
La Ferrería	1	71	Buena
	2	71	Buena
	3	71	Buena
El Pueblito	1	79	Buena
	2	76	Buena
	3	80	Buena

Como se pudo observar en la **tabla 10** el índice de calidad del agua calificó a la Punta y al Puente San Carlos como los sitios menos aptos para el desarrollo y preservación de la vida acuática. Estos sitios también fueron los que obtuvieron un nivel trófico mayor, lo cual, comprueba el impacto de la eutrofización en los organismos acuáticos, sobretodo en peces e invertebrados.

Lo que más repercutió en la disminución de la calidad de estos sitios fueron las bajas concentraciones de oxígeno disuelto, ya que se obtuvieron valores de OD de 0.28 a 0.31 mg/L, muy por debajo de la cantidad ideal para los organismos acuáticos de 5.5 – 8 mg/L (Guzmán, 2011), lo que indica que estos sitios tienen alto contenido de materia orgánica. En el Puente San Carlos la materia orgánica se debe a descargas

de aguas residuales y en La Punta por la gran cantidad de lirio acuático, el cual en algunos tramos ya estaba en proceso de descomposición.

En general el amoníaco fue la variable que más afectó la calidad del agua, ya que en todos los sitios y durante los tres muestreos se obtuvo un promedio de 2.7 mg/L de N-NH_4^+ , sobrepasando en promedio hasta 133 veces la concentración recomendada de ≤ 0.02 a 0.06 mg/L. Las concentraciones relativas de NH_4^+ y NH_3 dependen básicamente del pH y la temperatura del agua: a medida que los valores de pH y temperatura aumentan, la concentración de NH_3 también aumenta pero la concentración de NH_4^+ disminuye.

El amoníaco no ionizado es muy tóxico para los animales acuáticos, en especial para los peces, mientras que el ión amonio es apreciablemente mucho menos tóxico (Camargo *et al.*, 2007). Las altas concentraciones de este compuesto se pudieron deber a los bajos niveles de agua en los ríos lo que concentró los aportes puntuales o difusos que se dan.

Los sitios con mejor calidad de agua durante los tres muestreos fueron el Pueblito y La Ferrería. Estos lugares están rodeados de poblados pequeños que aún no causan un impacto considerable sobre la calidad del agua.

3. Composición de los grupos de algas en los sitios de estudio

Con el análisis cualitativo de algas se identificaron cinco grupos o divisiones algales, los cuales corresponden a *Cyanophyta*, *Chlorophyta*, *Euglenophyta*, *Cryptophyta* y *Bacillariophyta* (diatomeas), ver **Anexo 2.3.1. Abundancia de algas**

A) Muestreo de junio del 2011

El grupo *Bacillariophyta* fue el más abundante en todos los sitios, representando en promedio un 80.6% de la comunidad algal, seguido por las *Cyanophytas* y *Chlorophytas* que en promedio obtuvieron abundancias de 10.8 y 8.4%

respectivamente. Los grupos de *Euglenophytas* y las *Cryptophytas* no se observaron durante el análisis de este muestreo, ver **Figura 4**.

B) Muestreo de noviembre del 2011

Las *Bacillariophytas* siguieron siendo el grupo más abundante con un 75.6% en promedio, excepto para uno de los sitios donde solo alcanzó el 12.5%; las *Cianophytas* obtuvieron un 18.7%, en un sitio fue el grupo más abundante con 87.5% y las *Chlorophytas* con un promedio de 5%, ver **Figura 4**.

C) Muestreo de abril del 2012

Las *Bacillariophytas* fueron el grupo más abundante, pero en menor porcentaje que los dos muestreo anteriores, con un valor de 60.5%; las *Cianophytas* alcanzaron en promedio un 22.6%; las *Chlorophytas* con un promedio del 15.3%; las *Euglenophytas* y las *cryptophytas* obtuvieron abundancias de apenas el 1.4% y 0.1% respectivamente, observándose principalmente en sitios eutróficos (Puente Tunal y San Carlos), como lo han referenciado en otros trabajos (Moreno et al., 2008).ver **Figura 4**.

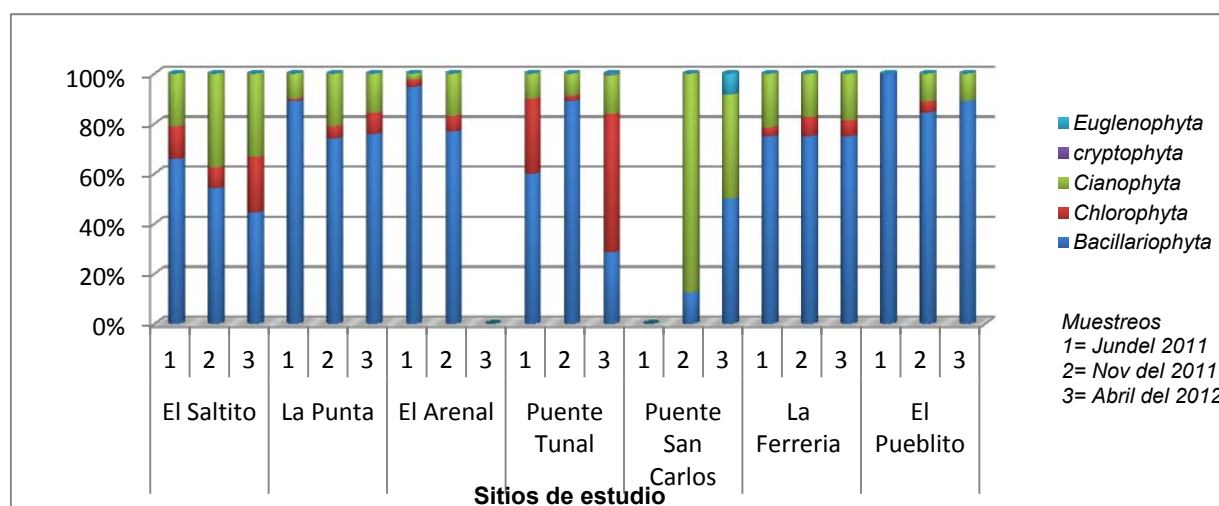


Figura 4. Frecuencia relativa de algas durante los tres muestreos

La comunidad algal de los ríos El Tunal y Durango presentó características que en general no se apartan de las dadas a conocer en otros ríos (Bojorge, *et al.*, 2007; Castañe, *et al.*, 1998; Moreno, *et al.*, 2008; Sosa *et al.*, 2011), donde las *Bacillariophytas* han sido reportadas como el grupo dominante de las algas en ambientes lóticos, seguidas por las *chlorophytas*, *cyanophytas* y *euglenophytas*.

La dominancia de las *Bacillariophytas* fue descrita para grandes ríos turbios. El éxito de las diatomeas se explica por una alta eficiencia fotosintética, alto contenido de clorofila y un bajo umbral de saturación de luz, características que le confieren ventajas adaptativas en comparación a otros componentes del plancton en ambientes lóticos (Salusso, 2005).

Respecto a las *Chlorophytas* y *Cianophytas*, en este estudio hubo una variación y la dominancia respecto a los grupos fue inversa, presentándose las *Cianophytas* como el segundo grupo más abundante. Lo cual se pudo deber a los bajos flujos de agua que se encontraron en los tres muestreos, esto facilita la ocurrencia de pequeños pulsos o floraciones de cianobacterias, este patrón se ha observado en otros ríos de diversas latitudes geográficas (Salusso, 2005).

3.2 Densidad de algas

Las densidades de los grupos de algas obtenidos de los conteos con la cámara de Neubauer, se describen a continuación y se muestran en la **figura 5**.

A) Muestreo de junio del 2011

Las densidades más bajas de algas fueron en el Puente Tunal con 12,500 ind/mL, El Pueblito con 38,750 ind/mL y La Ferrería con 69,800 ind/mL; seguidos por La Punta y El Saltito con 112,500 y 190,000 ind/mL respectivamente; el valor máximo de algas se dio en El Arenal con 1,007,500 ind/mL.

B) Muestreo de noviembre del 2011

Las densidades mínimas se obtuvieron en el Puente San Carlos (10,000 ind/mL) y el Saltito (30,000 ind/mL); El Pueblito y La Ferrería obtuvieron en promedio 53,125 ind/mL; La Punta y El Arenal 202,084 ind/mL y el Puente Tunal con la máxima densidad de 1,046,666 ind/mL, estos tres últimos sitios que resultaron mesotróficos o eutróficos la densidad de algas respondió al aumento de nutrientes ya que se obtuvieron mayor número de algas. Esta relación no siempre se cumplió como en el caso del Puente San Carlos (eutrófico), la causa pudo ser un menor tiempo de permanencia del agua en el sitio ya que la velocidad del agua era más rápida.

C) Muestreo de abril del 2012

El número de algas disminuyó en comparación con los muestreos anteriores, con un promedio de 34,375 ind/mL, excepto en La Punta y el Puente Tunal con 477,500 y 772,500 ind/mL respectivamente, las densidades obtenidas en estos dos últimos sitios, además de los valores de porcentaje de saturación y pH comprueban que se encontraban eutróficos, aunque el IE no los haya clasificados así.

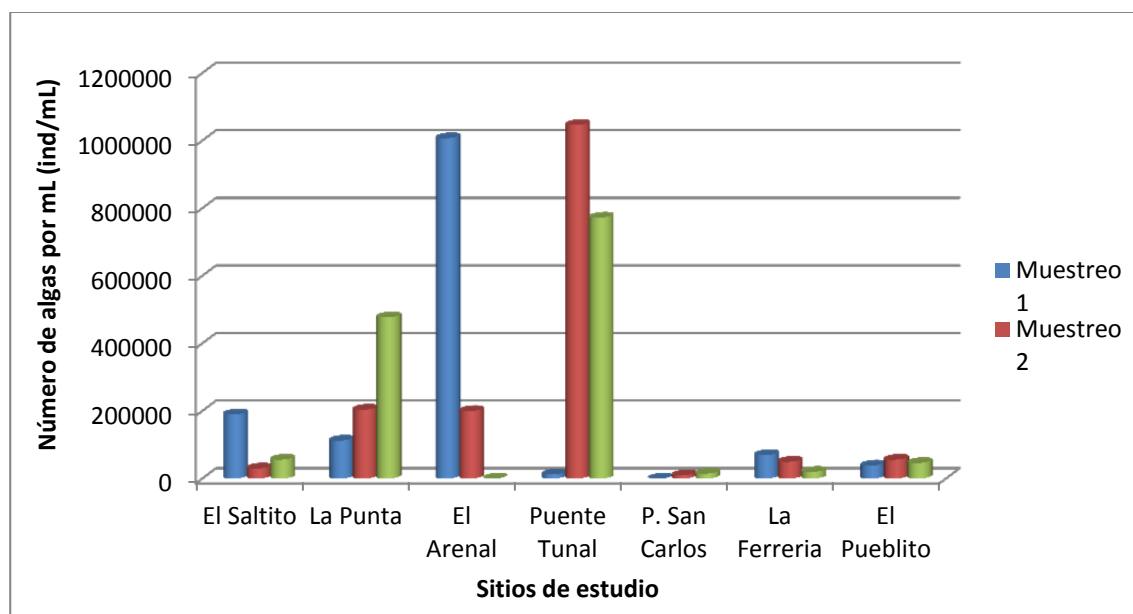


Figura 5. Densidad de algas (ind/mL) por sitio y por muestreo

Las densidades de algas también son afectadas por las temporadas de lluvia y de estiaje, en general durante el estiaje, con la reducción del caudal y el incremento del tiempo de permanencia del agua se desarrolla una mayor cantidad de biomasa algal (Seeligmann, 2001). Este estudio se realizó durante un periodo de sequía, por lo que durante los tres muestreos se presentaron condiciones de estiaje, lo que pudo concentrar un mayor número de algas, aunado a esto, en algunos sitios también influyo al aumento de fosfatos y en especial el amonio, que en este estudio siempre se mantuvo con altas concentraciones.

En este trabajo se tomaron en cuenta tanto el fitoplancton, como las que estaban fijas a algún sustrato y se juntaron en una sola muestra, por lo que las densidades de algas a lo largo de los tres muestreos vario respecto a las escalas propuestas para los diferentes niveles tróficos según el número de algas del fitoplancton, que sugieren hasta 6×10^3 célulasL⁻¹ para aguas oligotróficas; un intervalo de 6×10^3 a 1.5×10^5 célulasL⁻¹ para aguas mesotróficas y más de 1.5×10^5 célulasL⁻¹ para aguas eutróficas (Karydis, 2009). En otra escala se estableció que $\geq 1,000$ células ml⁻¹ se considera un florecimiento no masivo; $\geq 10,000$ células ml⁻¹, masivo; $\geq 50,000$ células ml⁻¹ hipermasivo. (Moreno, *et al.*, 2008).

4. Géneros de algas tóxicas pertenecientes al grupo de las *Cianophytas*

Se identificaron seis géneros de *cianophytas*, reportados en la literatura como productores de cianotoxinas a nivel mundial (Falconer, 2005; UNESCO, 2009; De León, 2005; Roset, *et al.*, 2001; Rivera, *et al.*, 2010) correspondientes a *Lyngbya*, *Planktothrix*, *Oscillatoria*, *Phormidium*, *Anabaena* y *Aphanocapsa*, ver **figura 8**.

Los sitios con más variedad de *cianophytas* tóxicas fueron La Punta y El Saltito con 4 y 5 géneros respectivamente. En los demás sitios sólo se encontraron de dos a tres géneros siendo *Lyngya* y *Oscillaroria* los más comunes.

Los géneros tóxicos encontrados así como las altas densidades de este grupo (25,000 a 120,000 ind/mL), sobre todo en los sitios que se clasificaron como mesotróficos y eutróficos como son La Punta, El Arenal y el Puente Tunal pueden representar un problema ambiental y de salud en las poblaciones que utilizan los ríos como proveedor de agua para el sostenimiento de zonas agrícolas y/o ganaderas y actividades de recreación, ya que rebasan el valor guía sugerido por la organización mundial de la salud (OMS) para bajas probabilidades de efectos adversos, un valor de 20,000 células/ml. (Ruibal, *et al.*, 2005).

También se tiene que considerar que las floraciones de *Cianophytas* se pueden desarrollar bajo otras condiciones como ha ocurrido en algunas aguas de carácter oligotrófico (Roset, *et al.*, 2001), esto se observó en El Saltito que resultó oligotrófico, sin embargo en el muestreo de junio del 2011, se obtuvo una densidad de 40,000 ind/mL y en este sitio se presentaron más géneros tóxicos de *Cianophytas*, por lo que es importante su continua evaluación, ya que en este río se forman grandes pozas que pueden facilitar la concentración de algas, además en trabajos posteriores presento problemas de eutrofización (Pérez, *et al.*, 2006; Vicencio, *et al.*, 2007; García, 2011).

5. Relación de los grupos de algas y los parámetros fisicoquímicos

Las relaciones canónicas entre grupos de algas y parámetros fisicoquímicos del agua, fueron de 0.855 para el primer eje y de 0.648 para el segundo. El primer eje explica el 31.3% de la variación debida a los grupos de algas, el segundo el 18.3% mientras que juntos explican el 49.6%. El primer eje explicó el 50.7% de la variación debida a la relación entre grupos de algas y variables ambientales, el segundo el 29.8% y juntos explican el 80.5%, ver **tabla 11**.

Tabla 5. Análisis de correspondencia canónica entre grupos de algas y parámetros fisicoquímicos del agua en los ríos El Tunal y Durango

Ejes	1	2
Eigenvalores:	0.159	0.093
Correlaciones especies-ambiente:	0.855	0.648
Porcentaje de varianza de las especies:	31.3	49.6
De la relación especies-ambiente:	50.7	80.5

Tabla 6. Prueba de significancia del análisis de correspondencia canónica

Del primer eje canónico	
Eigenvalor =	0.159
F-ratio=	5.002
Valor de P=	0.3400
De todos los ejes canónicos	
Trace=	0.313
F-ratio=	2.527
Valor de P=	0.0280

En otras palabras lo que muestra la correlación canónica es: que el eje uno está determinado principalmente por la concentración de fosfatos (0.6601) y amoníaco (0.5002) en el sentido positivo y por el porcentaje de saturación de oxígeno en el lado negativo (-0.6127). El segundo eje se caracteriza en primer lugar por el pH (0.5915), seguidos por la conductividad eléctrica (0.3846) y la temperatura del agua (0.2549).

En la tabla 12 se muestran los valores de correlación canónica de los parámetros fisicoquímicos del agua obtenidos por el análisis de correspondencia canónica (CCA) para los primeros dos ejes de ordenación (eje 1 y eje 2).

El diagrama de ordenación, obtenido de la correlación canónica muestra como a lo largo del primer eje se distribuyen del lado positivo los sitios que obtuvieron mayor concentración de fosfatos y nitratos; del lado negativo los sitios con más concentración de saturación de oxígeno. Los sitios con mejor calidad del agua se distribuyen a lo largo del segundo eje del lado negativo, mientras que del lado

positivo de este mismo eje se agruparon los sitios con mayor cantidad de nitratos, ver **figura 9**.

Tabla 7. Correlaciones canónicas de los primeros dos ejes

	Eje 1	Eje2
SPEC AX1	1	
SPEC AX2	0.0579	1
SPEC AX3	0.0361	-0.0732
SPEC AX4	-0.2957	0.0417
ENVI AX1	0.8550	0
ENVI AX2	0	0.6480
ENVI AX3	0	0
ENVI AX4	0	0
pH	-0.3295	0.5915
CE	0.3338	0.3846
Saturación de oxígeno	-0.6127	0.2354
Temperatura agua	-0.2288	0.2549
Nitratos (NO_3^-)	-0.0315	-0.1100
Fosfatos (PO_4^{3-})	0.6601	0.1601
Amoniaco (NH_3)	0.5002	0.0946

Los grupos de *cianophytas* y de *euglenophytas* respondieron al aumento de fosfatos y amoníaco, por lo cual se distribuyen a lo largo del primero eje, esta relación se dio en el Puente San Carlos que resultó eutrófico por las altas cantidades de dichos nutrientes. Estos grupos de algas han sido encontradas en aguas eutrofizadas y parece ser que son más abundantes en este tipo de aguas que en aguas oligotrófica (Falconer, 2005).

Las *euglenophytas* prosperan principalmente en cuerpos de agua que reciben vertidos cloacales con altos contenidos de amoniaco, este grupo comparte hábitats similares desde el punto de vista de la calidad de la agua con las Cyanophytas (Peinador *et al.*, 2008; Seeligman, 2001), por lo que estos grupos se presentaron en el mismo eje.

Las *chlorophytas* se ubicaron del lado negativo del segundo eje, relacionándose con la temperatura del agua, este grupo prospera en ambientes donde la columna de agua es transparente y además tienen una tendencia a asociarse al aumento de las temperaturas (Salusso, 2005), lo que coincidió con este trabajo.

Las *cryptophytas* se relacionaron con el pH, coincidiendo nuevamente con Salusso 2005, dichos organismos presentan caracteres fisiológicos adaptativos para condiciones adversas por lo que se vieron favorecidas por los altos valores de pH.

Las *Bacillariophytas* (diatomeas) se ubicaron alrededor del centro del gráfico, lo que indica que son un grupo generalista o poco sensible a los cambios de los parámetros fisicoquímicos que se dan en el agua, ver **figura 9**. Las relaciones de los grupos de algas con los parámetros fisicoquímicos mencionados anteriormente se pueden observar en la **figura 9**.

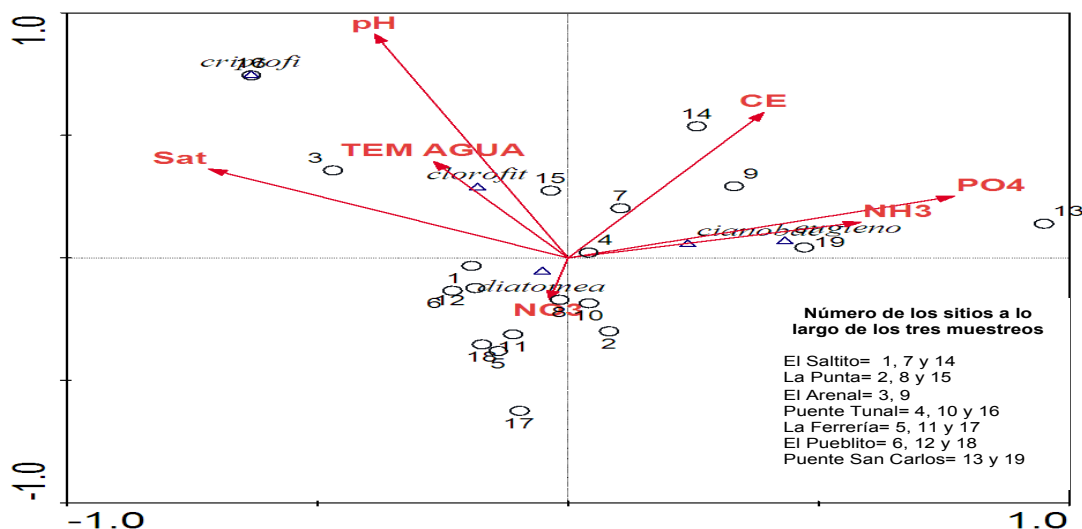


Figura 1. Gráfico de ordenación de los sitios (símbolos y números), de los grupos de algas (símbolos) y los parámetros fisicoquímicos (flechas). Las puntas de las flechas están dadas por las correlaciones de los parámetros fisicoquímicos, con los ejes. Las posiciones de los grupos de algas se dan por cambios en su abundancia debidos a las variaciones de los parámetros fisicoquímicos. Los sitios se agrupan según la similitud de dichos parámetro

CONCLUSIONES E IMPACTO DE LA INVESTIGACIÓN

El estado trófico que predominó en los ríos El Tunal y Durango fue el oligotrófico.

Se puede observar un incremento de nutrientes y un deterioro de la calidad del agua a partir de los sitios que cruzan por la ciudad de Durango, sobre todo el Puente San Carlos, que recibe descargas de aguas residuales de la ciudad de la PTAR oriente, por lo que este sitio, así como el Puente Tunal, El Arenal y La Punta presentan problemas de mesotrófia o eutrofización.

Las condiciones de estiaje que predominaron a lo largo de este trabajo influyeron para que la calidad del agua fuera menor, ya que esto propicio bajas concentraciones de oxígeno disuelto, así como una mayor concentración de nutrientes, sobre todo de amonio, lo que se vio reflejado en una alta densidad de algas y más en aquellos sitios mesotróficos y eutróficos, por lo que se dio una relación del número de algas con el aumento del estado trófico de los ríos. Excepto en el Puente San Carlos, que a pesar de tener alto contenido de fosfatos y amonio el número de algas fue menor en comparación con los otros sitios.

El grupo de algas dominantes fue el de *Bacillariophyta*, seguido por las *cianophytas* que en general respondieron al aumento de nutrientes, este grupo de algas es frecuente en ríos eutróficos, lo que se pudo observar sobre todo en el Puente San Carlos donde dominaron. De igual forma las *euglenophytas* correspondieron a la eutrofización y a los altos contenidos de amonio, lo cual es común en este grupo de algas, por lo que la composición de algas se vio influenciada por los cambios de calidad de agua que se presentaron en los ríos.

Los seis género de algas tóxicas de *cianophytas* y las altas densidades de estas algas encontradas en los sitios evaluados pueden representan un peligro para la fauna y la salud humana cuando se presenten condiciones de eutrofización y

estiaje. Sin embargo se tiene que considerar que aún en ambientes oligotróficos se dan floraciones de *cianophytas*.

Evaluar el peligro potencial de intoxicaciones por *cianophytas* en cuerpos de agua es complicado debido al rápido cambio en las poblaciones de este grupo, por lo que es necesario la evaluación continua de los ríos El Tunal y Durango para que se puedan detecten floraciones de cianobacterias y no pase desapercibido dicho problema.

SUGERENCIAS Y RECOMENDACIONES

Se puede realizar una evaluación preliminar rápida de la eutrofización, basada en ciertos criterios biológicos, como: presencia y cobertura de macrófitas flotantes y sumergidas, así como las propiedades organolépticas del agua como la turbidez y olor. También se importante considerar la abundancia y diversidad de algas, ya que los procesos eutróficos suelen producir un aumento de estos organismos.

Los indicadores planteados se muestran como una herramienta útil para la evaluación rápida, sin embargo sería recomendable realizar un estudio más profundo del avance del proceso eutrófico, tomando en cuenta parámetros fisicoquímicos, biológicos y de diversidad para el monitoreo del proceso.

Es necesario realizar un estudio más detallado de las especies de algas presentes en estos ríos ya que son buenos indicadores de los cambios de calidad de agua.

Sobre todo se tiene que hacer una evaluación detallada de las *cianophytas*, la simple identificación de un género o incluso de una especie no es suficiente para determinar si produce o no toxinas, por lo que se deben realizar estudios toxicológicos para complementar los efectos de las algas en los sitios evaluados.

La evaluación de los patrones espaciales usando parámetros que indiquen cambios en la calidad de agua y el estado trófico de los ríos contribuiría a definir las zonas más críticas en los cuerpos de agua, orientando las decisiones para su recuperación.

BIBLIOGRAFIA

- Aranda, C. N. 2004. Eutrofización y calidad del agua de una zona costera tropical. Tesis doctoral. Universidad de Barcelona. Departamento de Ecología. www.tesisenxarxa.net/Tesis_UB/.../TDX.../TESISNANCY.pdf
- Amancio, R. G. 2007. Relación entre la estructura del hábitat y la biodiversidad de aves en dos sitios en la reserva de la biosfera la Michilia. Tesis de maestría. Instituto Politécnico Nacional, México. 19-20 pp.
- Bellinger, E. G., Sigeo, D. C. 2010. Freshwater algae: Identification and Uses as Bioindicators. Ed. WILEY – BLACKWELL. Estados Unidos de América. 138-240 pp.
- Bojorge, G., M. G., Cantoral, U. E. 2007. Estructura comunitaria de diatomeas asociadas a talos de *Prasiola mexicana* (Chlorophyta) en el río Magdalena, D.F. No. 001. Hidrobiológica, año/vol. 17. D.F. 11-24 pp.
- Boletín de la Sociedad Española de Ficología. 2005. Algas n° Especial bioindicadores y monitorización. www.sefalgas.org. 65 pp.
- Cabioc'h, J., Floc'h, J. Y., Le Toquin, A., Boudouresque, C. F., Meinesz, A., Verlaque, M. 1995. Guía de las algas de los mares de Europa: Atlántico y mediterráneo. Barcelona. 1-21 pp.
- Camargo, J. A., Alonso, A. 2007. Contaminación por nitrógeno en los ecosistemas acuáticos; problemas medio ambientales, criterios de calidad de agua, e implicaciones del cambio climático. No. 002. Ecosistemas, año 7 vol. XVI. Asociación española de Ecología Terrestre. España.
- Camargo, J. A., Alonso, A. 2006. Ecological and toxicological effects of inorganic nitrogen pollution in aquatic ecosystems: A global assessment. Environment International. www.elsevier.com/locate/envint.
- Carpenter, S., Caraco, N. F., Correll, D. L., Howarth, P. W., Sharpley, A. N. y Smith, V. H. 1998. Contaminación no puntual de aguas superficiales con fósforo y nitrógeno. No. 3. Tópicos en ecología. Traducción al español de Issues in Ecology. 1-12 pp.
- Castañe, P. M., Loez, C. R., Olguin, H. F., Puig, A., Rovedatti, M. G., Topalián, M. L. y Salibián, A. 1998. Caracterización y variación espacial de parámetros fisicoquímicos y del plancton en un río urbano contaminado (río Reconquista, Argentina). Rev. Int. Contaminación ambiental, 14 (2). 69-77 pp.
- Chapman, D. 1998. Water quality assessments. Chapman and Hall. London 613p.

Chávez de Allain A. N. (2007). Sustancias Nutrientes y Eutrofización. Estudios de impacto Ambiental. Universidad de Piura. http://www.ing.udep.edu.pe/civil/material/rrhh/primer%20trimestre/EIA/NT_N%BA3/NT%BA3_sustancias%20nutrientes%20%20eutrofizaci%F3n.pdf
Comisión Nacional del Agua (CNA). (2005). Río Tunal, contaminado. Proyecto de recuperación de la cuenca de San Pedro. Durango, México.

Contreras, E. F., Rivera, G. N., Segura, A. R. 2005. Nutrientes y productividad primaria fitoplanctónica en una laguna costera tropical intermitente (La Mancha, Ver.) del Golfo de México. Hidrobiológica 2005, 15 (3): 299-310.

Coord/. Aguilar, I. A. 2010. Calidad del agua: un enfoque multidisciplinario. Universidad Autonoma de México. Instituto de Investigaciones Económicas. ISBN 978-607-02-1455-4. 308 pp.

De León, L. 2002. Floraciones de cianobacterias en aguas continentales del Uruguay: causas y consecuencias. En: Perfil Ambiental del Uruguay 2002, Domínguez, A. y R. G. Prieto (eds.), Nordan-Comunidad, Montevideo. 28-37 pp.

De León, L. 2005. Floraciones Algales De Agua Dulce: Cianobacterias, Cianotoxinas. En: Burguer y Pose (Eds.), animales ponzoñosos y toxinas biológicas. Dpto. Toxicología, CIAT, Facultad de Medicina. Publicaciones de la Universidad de la República-CSIC.

Etcheverry, D. H. 1998. Algas marinas bentónicas de Chile. Editorial Ciencia y Tecnología de la UNESCO para América Latina y el Caribe. Montevideo Uruguay. <http://unesdoc.unesco.org/images/0007/000721/072123so.pdf>

Figuerola, J. R. 2004. Calidad ambiental de la cuenca Hidrográfica del Río Chillan, VII región, Chile. Tesis doctoral. Universidad de Málaga. Chile. 115 pp.

Fontúrbel, R. F. 2005. Indicadores fisicoquímicos y biológicos del proceso de eutrofización del lago Titikaka (Bolivia). No. 1-2. Ecología aplicada, año/vol. 4. Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima Perú. 135-141pp.

Gonzales, G. J. 1987. Las algas de México. Ciencias, revista de difusión.

Guzmán, C. G., Thalasso, F., Ramírez, L. E., Rodríguez N. S., Guerrero B. A., Avelar G. F. 2011. Evaluación de la calidad del agua del río San Pedro en el estado de Aguascalientes, México. Rev. Int. Contam. Ambie. 27 (2) 89-102. 90-101 pp.

Karydis, M. 2009. Eutrophication assessment of coastal waters based on indicators: a Literature review. No. 4. Global NEST Journal, Vol 11. 373-390 pp.

Luján, F. A. 2000. Las algas, indicadoras de la calidad del agua. Fac. de Ciencias Exactas, Dpto. de Ciencias Naturales, UNRC. www.produccion-animal.com.ar

Metodología para el establecimiento del estado ecológico según la directiva marco del agua en la Confederación Hidrográfica del Ebro. Protocolo de muestreo y análisis para: Fitoplancton, Fitobentos (Microalgas Bentónicas), Macrófitos, Invertebrados Bentónicos, Ictiofauna. 2005. Ministerio del Medio Ambiente. 27-59 pp.

Mihelcic, J. R., Auer, M. T., Hand, D. W., Honrath, R. E., Perlinger, J. A., Urban, N. R. 2001. Fundamentos de Ingeniería Ambiental. Editorial Limunsawiley. México D.F. 333-344 pp.

Moreno, R. J. L., Tapia, G. M., González, M. M. C., Figueroa, T. M. G. 2008. Fitoplancton del río Tehuantepec, Oaxaca, México y algunas relaciones biogeográficas. Rev. Biol. Trop. (Int. J. Trop. Biol. ISSN-0034-7744) Vol. 56 (1): 27-54. Pp 27-35

Moreno, F. D. P., Quintero, M. J., López, C. A. 2010. Métodos para la identificar, diagnosticar y evaluar el grado de eutrofia. Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Xochimilco. Instituto de Ciencia y Tecnología del Distrito Federal ICyTDF. 25-32 pp. <http://www.izt.uam.mx/newpage/contactos/anterior/n78ne/eutrofia2.pdf>
Ospina, A. N., Peña, J. E. 2004. Alternativas de Monitoreo de Calidad de Aguas: Algas como Bioindicadores. No. 4. Acta Nova.

Ordenamiento Ecológico del Territorio del Municipio de Durango, 2005.

Parra, O. 2006. Estado de conocimiento de las algas dulceacuícolas de Chile (Excepto bacillariophyceae). Guyana 70(1). Universidad de concepción Chile. 8-15 pp.

Peinador M. 1999. Las cianobacterias como indicadoras de contaminación orgánica. Rev. Biol. Trop., 47(3): 381-391, www.ucr.ac.cr www.ots.duke.edu. 382-391pp.

Peña, S. E. J., Palacios, P. M. L., Ospina, A. N. 2005. Algas como indicadoras de contaminación. Editorial Universidad del Valle. 85-84 pp. Libro electrónico http://www.lalibreriadelaui.com/biologia-ca29_47/libro-algas-como-indicadoras-de-contaminacion-p2243

Pérez, C. A. G, Rodríguez, A. 2008. Índice fisicoquímico de la calidad de agua para el manejo de lagunas tropicales de inundación. No. 4. Revista de Biología Tropical,

vol. 56. Universidad de Costa Rica, San Pedro de Montes de Oca, Costa Rica. 1905-1918 pp.

Pérez, L. M. E., Burciaga, S. M. E., Vicencio, R. M. G., Martínez, P. A., González, S. G. 2006. Evaluación en el tiempo y espacio del efecto de vertidos puntuales y difusos sobre la calidad del río Tunal.. Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional (CIIDIR) – Instituto Politécnico Nacional (IPN). Unidad Durango. Durango, México.

Ramírez, V. M., Beltrán, M. Y., Bojorge G. M., Carmona, J. J., Cantoral, U. E. A., Valadez, C. F. 2001. Flora Algal del Río LA Magdalena Distrito Federal, México. Boletín de la sociedad Botánica de México, A.C. 45-67 pp.

Rivera, G. M., Gómez, G. L. 2010. Identificación de cianobacterias potencialmente productoras de cianotoxinas en la curva de salguero del río Cesar. No. 31. Revista Luna Azul ISSN 1909-2474. Universidad de Caldas. 9 pp.

Roset, J., Aguayo, S., Muñoz, M. J. 2001. Detección de cianobacterias y sus toxinas. Una revisión. No. 002. Revista de Toxicología, año/vol. 18. Asociación Española de Toxicología. Pamplona, España. 65-71 pp.

Ruibal, C. A. L. Rodríguez, M. I., Angelacio, C. M. 2005. Ocurrencia de cianobacterias y sus toxinas (microcistinas) en aguas del río de la Plata: evaluación rápida usando el ensayo Elisa. XX congreso nacional del agua y III simposio de recursos hídricos del cono Sur. Mendoza, Argentina.

Salusso, M. M. 2005. Evaluación de la calidad de los recursos hídricos superficiales en la alta cuenca del Juramento (Salta). Tesis doctoral. Biblioteca Digital de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales – Universidad de Buenos Aires. www.digital.bl.fcen.uba.ar. 194 pp.

SEDUE. 1989. Acuerdo por el que se establecen los criterios ecológicos de calidad del agua; CE-CCA-001/89. Publicado en el Diario Oficial de la Federación del 2 de diciembre de 1989. Tomo CDXXX, No. 9, México, D.F.

Seeligmann C., Tracanna B. C., Martínez, M. S., Isasmendi S. 2001. Algas fitoplanctónicas en la evaluación de la calidad del agua de sistemas lóticos en el noroeste argentino. Limnetica 20(1): 123-133. O Asociación Española de Limnología, Madrid. Spain. ISSN: 021 3-8409. Pp 131.

Seisdedo, M., Arencibia, G., Moreira, A. R. 2010. Análisis comparativo del estado trófico de las aguas de la bahía de Cienfuegos, Cuba. Rev. Invest. Mar. 31(2):124-130. Centro de Estudios Ambientales de Cienfuegos (CEAC). 124 -130 pp.

Sosa, M. L., Novoa, M. D., Martínez, F. A. 2011. Ficoflora de la cuenca endorreica fluviolacustre Chucul (Córdoba, Argentina). Revista de las DES Ciencias Biológico Agropecuarias. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. 15-23 pp.

UNESCO. 2009. Cianobacterias Planctónicas del Uruguay. Manual para la identificación y medidas de gestión. No. 16. Documento Técnico PHI-LAC.

Vicencio, R. M. G., Villanueva, F., Pérez, L. M. E., Burciaga, S. M. E. 2007. Índice de Calidad del Agua del Río Mezquital de Durango. CIIDIR-IPN, Unidad Durango.

Vicencio, R. M. G., Villanueva, F., Pérez, L. M. E., Burciaga S. M. E. 2007. Índice de calidad del agua del río Mezquital de Durango. CIIDIR-IPN, Unidad Durango.

Wehr, J. D., Sheath, R. G. 2010. Freshwater Algae of North America, Ecology and classification. Copyright 2003, Elsevier Science (USA).