

APLICACIÓN DEL MODELO DE CONTAMINACIÓN EXAMS EN EMBALSES. CASO DE ESTUDIO EMBALSE DE LA ESPOL.

Iván Saltos Andrade¹, David Matamoros²

¹Oceanografía y Ciencias Ambientales 2006; email: jsaltos@espol.edu.ec

²Director de Tesis. Ingeniero Geotécnico, Escuela Superior Politécnica del Litoral 1987, Dr. en Ciencias Biológicas Aplicadas, Universidad de Gent, Bélgica, 2004, Profesor de la ESPOL desde 1995., email: dmata@espol.edu.ec

RESUMEN

El uso de una herramienta como el EXAMS nos permite evaluar el comportamiento de químicos (especialmente pesticidas) de uso muy común dentro del Campus Gustavo Galindo dentro de un ecosistema acuático. Este programa realiza una rápida identificación del transporte de químicos que probablemente impacten un ecosistema como es el caso del Embalse de la ESPOL.

Para realización de las corridas del modelo es necesario definir rutas de dispersión y de absorción del químico que ingresa al cuerpo de agua, como también la división de los ecosistemas acuáticos en una serie de subsistemas interconectados por procesos de transportación física. El EXAMS posee 3 tipos de análisis sobre las descargas de los contaminantes: Modo 1 (estado estable); Modo 2 (descargas instantáneas) y Modo 3 (variación estacional). Es necesaria la utilización de comandos para definir una sustancia química, las características del ecosistema, los compartimentos del sitio, la calidad ambiental de los compartimentos, el transporte del contaminante y la dispersión del contaminante. Con esta tesis, se desea establecer las pautas necesarias para continuar con el monitoreo de esos datos y su posterior uso en el EXAMS como herramienta de manejo de embalses.

SUMMARY

The usage of a tool like EXAMS allows to evaluate the behavior of chemical (especially pesticide) of very common usage in Campus Gustavo Galindo inside an aquatic ecosystem. This program realizes a quick investigation of chemists' transport that probably impact an ecosystem as it is the case of the reservoir of ESPOL.

To realize the running of the pattern it is necessary to define the dispersion routes and the chemist's absorption that get into the body of water, as well as the division of aquatic ecosystem in a series of subsystems interconnected by processes of physical transportation. EXAMS possess 3 analysis types on the discharge of the pollutants: Mode 1 (steady state); Mode 2 (instantaneous discharges) and Mode 3 (seasonal variation). It's necessary to use commands to define a chemical substance, the characteristics of the ecosystem, the compartments of the place, the environmental quality of the compartments, the transport and dispersion of the pollutant. On this thesis, it is desired to establish the necessary rules to continue with the monitoring of those data and its subsequent usage in EXAMS as a tool of reservoir handling.

INTRODUCCIÓN

La represa del Campus Gustavo Galindo de la ESPOL, construida en 1992, tiene 14 metros de profundidad máxima (cota 79 de diseño), con un muro de coronación de 14 metros de ancho. La profundidad del reservorio varía en época seca o lluviosa y el volumen máximo de embalse es de 523.325 de m³ (cota 79). El agua del embalse se utiliza generalmente para acuicultura, agricultura y recreación. Durante grandes avenidas, el agua se desborda y el exceso es descargado a un drenaje natural que desemboca al río Daule.

El uso continuo del recurso agua representa un deterioro a su calidad, de la cual no se conoce lo suficiente para saber lo que pueda suceder en un mediano o largo plazo. El grado de urbanismo, la actividad agrícola intensiva y la erosión del suelo producen aportes de compuestos químicos (pesticidas) y sedimentos en el cuerpo léntico amenazando la calidad del agua mediante la proliferación de algas y otros síntomas de eutrofización y de contaminación. El manejo ambiental de embalses no ha sido una prioridad en el país. Por lo tanto la ESPOL puede contribuir en esta área mediante un uso sustentable del recurso.

El modelo EXAMS (Exposure Analysis Modeling System) evalúa el comportamiento de compuestos químicos en un medio acuático. Identifica de manera rápida como se afecta dicho sistema estableciendo las condiciones de exposición y la carga de absorción de los compuestos contaminantes. El modelo es capaz de evaluar y establecer una interrelación de los procesos mediante el análisis de las sustancias químicas presentes en el embalse. Recuperar un cuerpo de agua degradado exige mucho trabajo y recursos económicos. De ahí la importancia de aplicar un modelo como el EXAMS que nos ayude a entender las posibles interacciones que se están produciendo y poder predecir y tomar decisiones con respecto al manejo sostenible que debe desarrollarse.

CONTENIDO

La tesis esta estructurada de tal modo que el lector pueda tener una idea clara de que hace el modelo propuesto y como se aplica en un caso de estudio. El capítulo 2 describe el lugar de estudio por medio de análisis de información meteorológica, topográfica, geológica, geotécnica, hidrología, entre otros, así como cuales son las cuencas que aportan flujos de agua, sedimentos o concentraciones de químicos mediante escorrentía al embalse. Luego, en el capítulo 3, se presenta un breve análisis descriptivo del funcionamiento del modelo EXAMS. Cuales son sus mecanismos de procesos, transformación y transportación del químico presente. Requerimientos básicos para la obtención de los resultados como es el ingreso de los comandos, las variables y el formato que debe usarse. Adicionalmente, se presenta los tipos de análisis que existen en el modelo. Finalmente, en el capítulo 4 se detallan las metodologías que se usaron y los valores que se ingresaron en el modelo. Se incluyen las fuentes de información de donde se obtuvieron los parámetros usados. Se puede ver la obtención de resultados que el modelo EXAMS nos produce para las condiciones del embalse con su respectivo análisis.

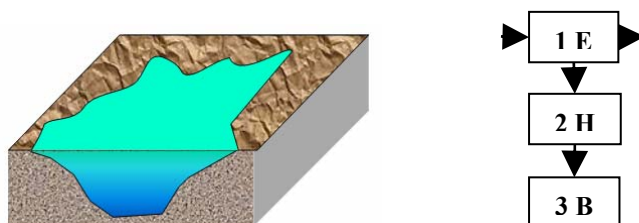
1. EL PROGRAMA EXAMS

Evalúa el destino, transporte y exposición de concentración de químicos orgánicos sintéticos. Enlaza las propiedades fundamentales de las sustancias químicas con los parámetros limnológicos que controlan la cinética de los ecosistemas acuáticos. El modelo es más una herramienta de evaluación que de predicción. Nos permite obtener entre muchas cosas las variaciones mensuales de los parámetros de

interés, interacción de hasta 5 sustancias químicas, análisis de hasta 100 segmentos ambientales interconectados e interacción con modelos tales como:

- PRZM (transporte terrestre pesticidas)
- FGETS (bioacumulación en peces)
- BASS (modelo de bioacumulación)
-

LAGOS



RIOS

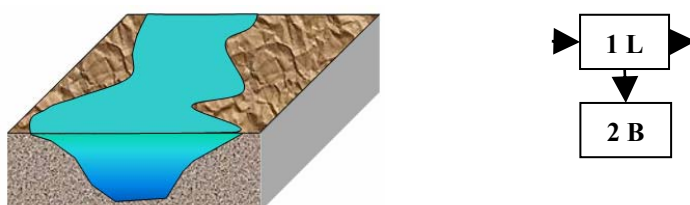


Figura 1.- Diseño y Numeración de Compartimentos para los procesos físicos y químicos

El concepto adoptado por EXAMS define ecosistemas acuáticos como una serie de subsistemas distintos interconectados por procesos de transportación físicos más que químicos; dentro, a través y fuera del ecosistema. Estos subsistemas incluyen el Epilimnium (E) e Hipolimnium (H) en lagos, Zonas Litorales (L) en ríos y Sedimentos Bénticos (B). El primer compartimento (en contacto con el aire) debe ser E en caso de los lagos o L en caso de los ríos. Cada compartimento se deberá numerar en orden ascendente con la profundidad. En un arreglo vertical, el último compartimento deberá ser siempre de tipo B. Los arreglos verticales de compartimentos se interconectarán en la dirección de las direcciones de flujo (Ver Figura 1).

2. Descripción del área de estudio

Existen divergencias con respecto al área del embalse. El mapa del Plan de manejo Ambiental de la ESPOL (1998) es el documento base utilizado en toda evaluación hecha en la ESPOL. Sin embargo, fue realizado mediante un levantamiento topográfico no corroborado con el uso de imágenes satelitales. Usando otras referencias, se ha podido determinar las divergencias entre los valores de superficie del embalse (Tabla I). Las figuras 2 (a) y (b), son imágenes del embalse ESPOL tomada de Google Earth. La línea roja representaría en las dos figuras el espejo de agua, tanto para la cota 79 (cota máxima que alcanza en épocas de lluvias), como para la cota 75 (época seca octubre del 2006).

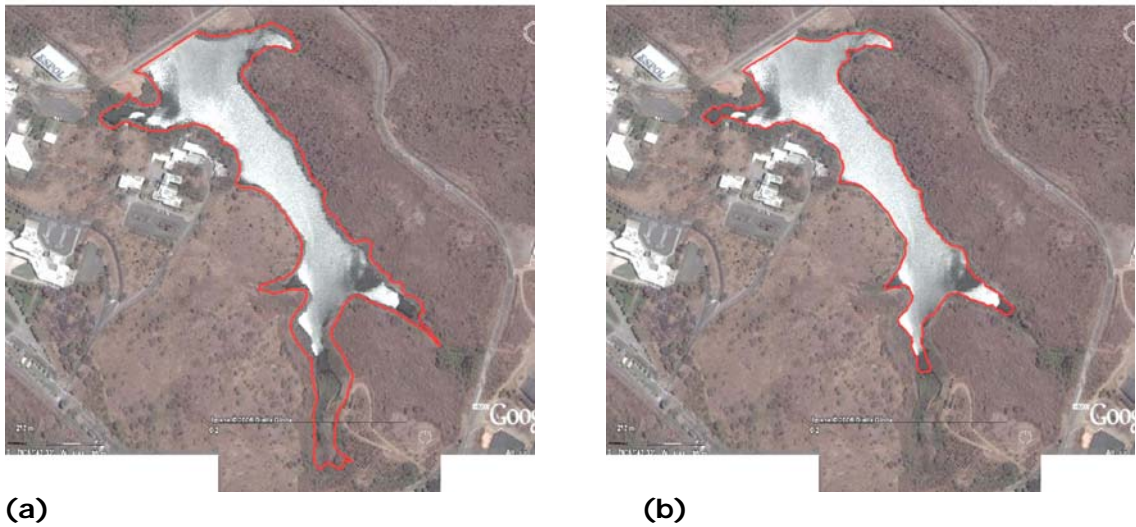


Figura 2. - Embalse ESPOL en imagen satélite de Google Earth la línea roja representas las cota 79 (a) y cota 75 (b).

Tabla I
Divergencias en superficie original de espejo de agua del embalse ESPOL

Fuente	Área
Plan Manejo Ambiental ESPOL (1998)	65565 m ²
Imagen Landsat (23 nov 2004)	54246 m ² (cota 79)

3. Distribución de Glifosato análisis en Modo 1 (estado estable).

Cuando se descarga un contaminante en un sistema acuático este inicia su transporte en el sistema más allá del punto original de descarga y son transformados x procesos químicos y biológicos. Al ser continua la emisión en el sistema receptor adquiere una condición estable. Las cargas del contaminante son balanceadas x procesos de transformación y transporte.

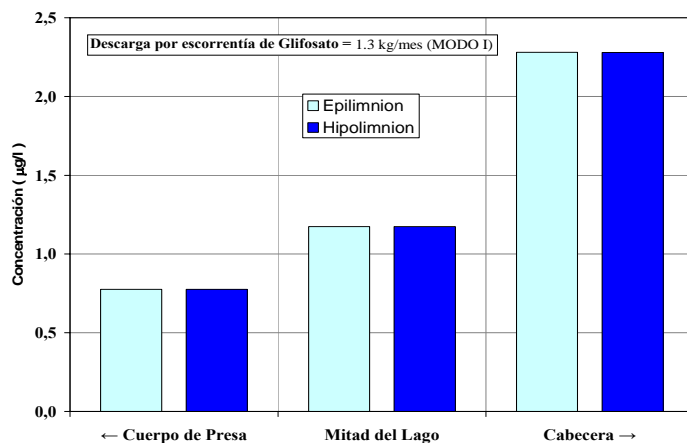


Gráfico 1.- Distribución de Glifosato en Estado Estable Columna de Agua.

En el gráfico 1 observamos como desciende la distribución del químico en el Epilimnium desde la cabecera del embalse segmento 1, con una concentración de 2.281 (ppb), en el centro del embalse segmento 4, observamos valores de 1.174 (ppb) y en cuerpo de la presa segmento 7, tenemos valores de 0.7757 (ppb). Para el Hipolimnium observamos un comportamiento similar y encontramos valores en la cabecera del embalse segmento 2, con una concentración de 2.281 (ppb), en el centro del embalse segmento 5, observamos valores de 1.174 (ppb) y en cuerpo de la presa segmento 8, tenemos valores de 0.7755 (ppb).

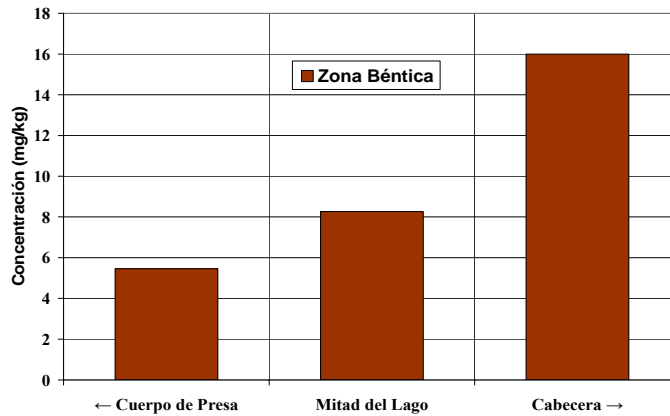


Gráfico 2.- Distribución de Glifosato en Estado Estable Sedimentos.

En el gráfico 2 de la zona béntica observamos que la mayor acumulación la tenemos en la cabecera, segmento 3, con 16 (mg/kg), esto va disminuyendo en el centro del embalse, segmento 6, con valores de 8.26 (mg/kg) y en el cuerpo de la presa, segmento 9, tenemos valores de 5.46 (mg/kg).

4. Concentración total de Glifosato análisis en Modo 1

Representa aproximadamente más del 90% de desaparición de la sustancia química en el agua. El tiempo correspondiente a este porcentaje ($t_{>90}$) normalmente se lo conoce como tiempo de Persistencia. EXAMS únicamente calcula la persistencia en la columna de agua y el sedimento (ecosistema acuático) y esta estimación solo se aplica al modo 1. La persistencia representaría el tiempo en el que el ecosistema acuático se podría considerar limpio una vez que cesa la descarga del contaminante.

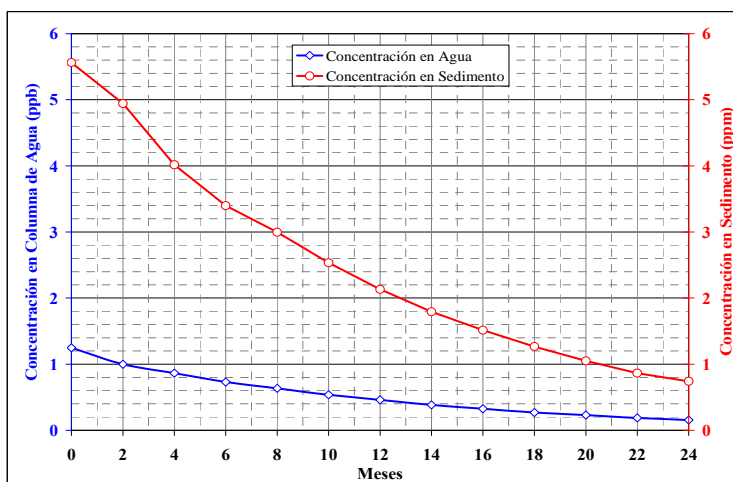


Gráfico 3.- Concentración Total de Glifosato Columna de Agua y Sedimento modo1

En el gráfico 3 observamos como decrece la concentración del glifosato en la columna de agua de un valor de 1.25 ppb al momento de ingresar al sistema, hasta un valor de 0.16 ppb después de 24 meses. Esto representa una disminución de aproximadamente de 87.20%. Para el caso de los sedimentos (zona béntica del embalse), el decrecimiento de la concentración es más lento. El valor inicial de 5.56 mg/kg, disminuye a 0.74 mg/kg al final de 24 meses. Esto representa una disminución de aproximadamente de 86.69%. Adicionalmente se puede concluir preliminarmente que le glifosato tiende a acumularse mas en el sedimento que en la columna de agua.

5. Concentración total de Glifosato análisis en Modo 2

El análisis en el modo 2 consiste básicamente en una sola descarga del contaminante que se produce en $t=0$ (primer día). Después se observa el resultado en un tiempo final que uno puede definir (días, meses, años). En el modo 2 de manera general observamos que el comportamiento con respecto a la concentración total de glifosato decrece de manera rápida en la columna de agua y de manera ascendente en los primeros días para los sedimentos, llegando a un punto máximo y luego decreciendo muy pausadamente. En otras palabras el glifosato tiende a concentrarse en los sedimentos y no en la columna de agua. Los resultados obtenidos nos permiten observar que debido a las propiedades físico-químicas del compuesto (Glifosato), el comportamiento en cada uno de los escenarios o casos de estudios es muy similar variando poco la concentración total en el ecosistema.

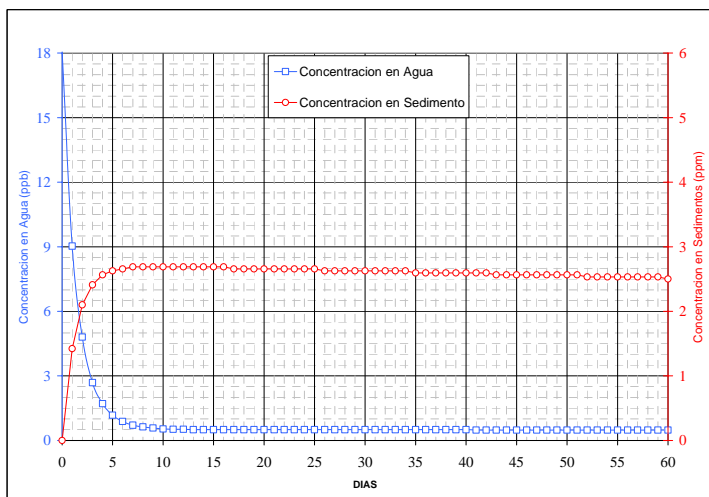


Gráfico 4.- Concentración total de Glifosato Columna de Agua y Sedimento modo 2

En el gráfico 4 observamos como decrece la concentración del glifosato en la columna de agua de un valor de 18.06 ppb al momento de ingresar al sistema, hasta un valor de 0.48 ppb después de 60 días. A medida que en la columna de agua desciende en los sedimentos vemos que el valor se incrementa de 1.42 mg/kg hasta llegar a 2.50 mg/kg luego de 60 días. El mayor incremento lo observamos durante los primeros 5 días alcanzando un máximo de 2.69 mg/kg y luego descendiendo.

CONCLUSIONES

1. Procesos de degradación del contaminante

La persistencia del Glifosato en agua es menor que su persistencia en sedimentos. El glifosato es altamente soluble en agua, (alrededor de 12 gramos/litro a 25°C), y, puede ingresar a un ecosistemas acuáticos por escorrentía ó descargas no puntuales. Debido a su estado iónico no se espera que se volatilice de agua o sedimentos. El glifosato desaparece rápidamente del agua, como resultado de adsorción a partículas en suspensión como materia orgánica y mineral, a sedimentos y probablemente por descomposición micro bacterial. La biodegradación es el mecanismo más importante de estabilización del glifosato, tanto en el suelo como en ambientes acuáticos, procediendo tal degradación aeróbica y anaeróbicamente. La Constante de la Ley de Henry que describe la tendencia de un pesticida a volatilizarse del agua o suelo húmedo para el caso del glifosato es $1.44e-12 \text{ atm m}^3/\text{mol}$, el cual es muy bajo por lo cual es poco probable que se evapore y en cambio si un mayor potencial de lixiviación del pesticida.

El coeficiente de Adsorción de carbono orgánico (Koc), es específico para cada pesticida y es sumamente independiente de las propiedades del suelo. Los valores del Koc van de 1 a 10,000,000 y en el caso de del Glifosato es de 11118 ((mg/kg)/(mg/l)). Un Koc elevado indica que el pesticida orgánico se fija con firmeza en la materia orgánica del suelo, por lo que poca cantidad del compuesto se mueve a las aguas superficiales o a los acuíferos. El coeficiente de partición octanol-agua (Kow), es una medida de cómo una sustancia química puede distribuirse entre dos solventes inmiscibles, agua (es un solvente polar) y octanol (es un solvente relativamente no polar, que representa a las grasas). El Kow proporciona un valor de la polaridad que en el caso del glifosato nos da una idea de que manera puede distribuirse en el sistema acuático.

2. Identificación de parámetros físicos químicos y biológicos

Muchos de estos parámetros necesarios para la aplicación del modelo fueron tomados y comparados con los valores monitoreados anteriormente por el Dr. Arcos (1993-2003). Algunos parámetros ni siquiera tenían un procedimiento Standard que pudiera seguirse puesto que nunca habían sido tomados en cuenta en el estudio de la calidad del agua del embalse de la ESPOL. Con la identificación de los parámetros físicos, químicos, y biológicos no existió mucha diferencia en cuanto a los valores encontrados. Algunos de estos valores determinados fueron los siguientes:

Tabla II
Identificación de parámetros físicos químicos y biológicos

Oxígeno Disuelto	6.20 mg/l E 0.29 mg/l H
Clorofila (promedio)	0.034 mg/l
Temperatura (promedio)	25.5 °C
pH (promedio)	7.8
Población bacteria planctónica	3.1e ³ Cfu/ml
Biomasa bentónica	no se encontró en los análisis
Biomasa en columna de agua	0.0164 mg/l
Sólidos suspendidos(promedio)	9.6 mg/l
Densidad de lodos béticos (promedio)	1.26 g/cm ³
Profundidad máxima actual del Embalse (Octubre 2006)	10.3 metros

Basándose en la concentración de clorofila a (34 Ug/l), se puede afirmar que el embalse se encuentra eutroficado en fase 2. (Swedish Environmental Protection Agency 2002). A continuación se muestra la tabla que caracteriza a un embalse en base a su clorofila a.

Tabla III
Caracterización de un embalse en base a su clorofila a.

Class	Level	Quantity (Ug/l)		Description
		May-Oct	August	
1	Low	<2	<2,5	Oligotrophic
2	Moderately High	2--5	2,5-10	Mesotrophic
3	High	5--12	10--20	Eutrophic I
4	Very High	12--25	20-40	Eutrophic II
5	Extremely High	>25	>40	Hypertrophic

Fuente: Swedish Environmental Protection Agency (2002)

3. Aplicación del modelo EXAMS

EXAMS fue diseñado para uso de aquéllas personas que deban tomar decisiones de manejo de calidad de agua y quienes deben evaluar el riesgo antes de que este se produzca o las posibles consecuencias debido al uso de determinados químicos que pudieran llegar a un sistema acuático por medio de cargas puntuales y no puntuales. El modelo EXAMS fue posible aplicar en el embalse de la ESPOL asumiendo que la descarga no sufría biodegradación o variación en el momento que esta es aplicada tanto en cantidad como en sus propiedades físicas y químicas. A esto se le puede añadir que es posible utilizar este programa tanto en ríos, lagos o embalse y también en ambientes marinos, siempre que se cumpla con los requerimientos básicos que el programa exige.

REFERENCIAS

1. I. SALTOS, "Aplicación del modelo de contaminación EXAMS en embalses. Caso de estudio: embalse de la ESPOL." (Tesis, Facultad de Ingeniería Marítima, Escuela Superior Politécnica del Litoral, 2006).
2. L. Burns, Exposure Analysis Modeling System (EXAMS): User Manual and System Documentation. Environmental Protection Agency (EPA), mayo 2004).
3. ESPOL, Plan de Manejo Ambiental del Campus Gustavo Galindo-ESPOL. (Guayaquil-Ecuador, Unidad de Planificación ESPOL, 1998).
4. EUROPEAN COMMISSION, enero 21 del 2002. *Report for the active substance Glyphosate*. (En línea). Health And Consumer Protection Directorate General. Europe (ref. de 14 de febrero de 2006). Disponible en Web: http://europa.eu.int/comm/food/fs/ph_ps/pro/eva/existing/list1glyphosate_en.pdf
5. F. SÁNCHEZ, noviembre de 2005. *Flujo en medios porosos: Ley de Darcy*. (En línea). Dpto. Geología-Univ. Salamanca España. Disponible en Web: <http://web.usal.es/javisan/hidro>
6. J. SCHUETTE, mayo de 2005. *Environment fate of Glyphosate*. (En línea) Environmental Monitoring & Pest Management, Department of Pesticide Regulation, Sacramento, California. Disponible en Web: <http://www.cdpr.ca.gov/docs/empm/pubs/fatememo/glyphos.pdf>
7. R. SEDIN, mayo 2005. *Planktonic Algae in Lakes*. (En línea). Swedish Environmental Protection Agency. Disponible en Web: <http://www.internet.naturvardsverket.se>