



**ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL**

**Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de La Producción**

**“ANÁLISIS DE LA ACTIVIDAD AGRICOLA COMO CONTAMINANTE DEL  
AGUA, ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS PARA LA DESINFECCIÓN DEL  
AGUA PARA CONSUMO HUMANO EN COMUNIDADES RURALES Y  
RECURSOS LEGISLATIVOS PARA LA PREVENCIÓN Y SU  
CONSERVACIÓN”**

**TESIS DE GRADO**

**Previa la obtención del título de:**

**INGENIERAS AGROPECUARIAS**

**Presentada por:**

**CINTHIA MARIELA PÁRRAGA LEMA**

**JULISSA ALEXANDRA GALARZA VILLAMAR**

**GUAYAQUIL – ECUADOR**

**AÑO**

**2009**

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios, el más grande promotor de nuestros sueños. A mis padres Olga y Luis por su amor incondicional. A mis hermanos cuya complicidad y paciencia (en especial la de Beto) valoro enormemente. Al PhD. Ramón Espinel por creer en este proyecto. Al absoluto apoyo del Ing. Marón Moncayo, ejemplo de perseverancia y amor por lo que hace. A Julissa, amiga y compañera de tesis, por la confianza depositada en mí.

*Cinthia Párraga*

A mi Señor Jesucristo, que bendice cada día de mi vida y me rodea de personas integrales en mi desarrollo personal e intelectual como lo son mi familia y amigos, que siempre me han brindado su amor y apoyo incondicional. A mis maestros, el PhD. Ramón Espinel y el Ing. Marón Moncayo que con su ejemplo han sembrado en mí, el deseo de aprender y aplicar mis conocimientos a favor de la sociedad.

*Julissa Galarza*

## DEDICATORIA

A Jesucristo, hijo de Dios, a mis padres Olga y Luis, a mis hermanos Fernando, Ximena, Kilbania y Roberto, a mis sobrinos: Camilita, Luisito y Fernandita, a mamita Berthilda; todos ellos representan lo más hermoso que la vida me ha dado... Los amo.

*Cinthia Párraga*

A Dios, a mis padres John Galarza y Jeannethe Villamar y a mis hermanos Karen y John A., que son mi luz y más preciado tesoro...la base de todos mis ideales...el motivo para sentir que tengo todo lo que necesito para ser feliz.

*“Dios mío, dame la sabiduría para siempre reconocer lo esencial de la vida...guíame y fortaléceme.”*

*Julissa Galarza*

## **TRIBUNAL DE GRADUACIÓN**

---

**Ing. Francisco Andrade S.  
DECANO DE LA FIMCP  
PRESIDENTE**

---

**Dr. Ramón Espinel M  
DIRECTOR TESIS**

---

**Ing. Marón Moncayo J.  
VOCAL**

---

**Dr. Paúl Herrera S.  
VOCAL**

## **DECLARACION EXPRESA**

La responsabilidad de la elaboración de esta Tesis de Grado, nos corresponde exclusivamente, y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL.

(Reglamento de Graduación de la ESPOL)

---

Cinthy M. Párraga Lema

---

Julissa A. Galarza Villamar

## RESUMEN

La presente tesis pretende exponer la relación existente entre la actividad agrícola y la legislación ambiental en cuanto a la contaminación del agua y su influencia en la población rural.

Éste documento es una radiografía general de la actividad bananera, que es el cultivo de mayor importancia económica en el país y su relación con la contaminación del agua debido al uso descontrolado de plaguicidas en las fumigaciones aéreas, en donde se muestra un sondeo rápido de las condiciones de producción del cultivo de banano en la población rural.

Asimismo, se identifica el impacto ambiental ocasionado por la explotación de dicho cultivo y su influencia sobre la salud, terreno, aire y agua. Conjuntamente, se puntualizan las medidas de prevención, control, mitigación y un plan de manejo ambiental general.

Considerando la problemática que representa la contaminación del agua, se hace una revisión de las tecnologías aplicables para la desinfección del agua de consumo humano en sectores rurales, en donde se observa que las tecnologías fotocatalíticas se presentan como una alternativa viable para su descontaminación.

Los procesos de oxidación química tradicional son métodos que debido a su alto costo (demanda de reactivos y energía) lo hacen poco aplicables en el medio rural ya que este sector no posee estos recursos. Por ello, en la

actualidad se propone la Detoxificación por Procesos de Oxidación Avanzados como una alternativa viable.

Entre éstas alternativas, se resalta la importancia de la Fotocatálisis Heterogénea por su eficacia demostrada en experimentos desarrollados en varios países, donde ha sido utilizada como tratamiento para la degradación de contaminantes químicos y desinfección del agua.

Los colectores Cilindro-Parabólicos Compuestos (CPCs) son de las mejores opciones para las aplicaciones fotocatalíticas utilizando la luz solar. Considerando la ubicación geográfica de nuestro país, está tecnología es potencialmente aplicable, por lo que se recomienda su investigación.

Otra alternativa definida para la desinfección de aguas es la tecnología DSAUI (Desinfección Solar de Aguas en Unidades Individuales) desarrollada por el Instituto del Agua en Zurich usada en comunidades rurales de América Latina.

Una de las herramientas más importantes para que los esfuerzos tecnológicos destinados a la descontaminación del agua no sean vanos, son los recursos legislativos existentes para su conservación, pues han sido elaborados con el propósito de imponer una gestión responsable.

El manejo de los recursos hídricos es primordial para un desarrollo sostenible de un país, pues el agua es la base de todas las actividades humanas y de la conservación de la naturaleza.

## **INDICE GENERAL**

### **CAPÍTULO 1:**

#### **REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA**

1.1	Comunidades rurales y Calidad de Agua	19
1.2	La agricultura, los pesticidas y la contaminación del agua	27
1.2.1	Uso del agua	28
1.2.2	Los plaguicidas, en cuanto a contaminantes del agua	29
1.3	Prevención y Protección Ambiental	35
1.3.1	Concepto de Impacto Ambiental	36
1.3.2	La legislación ambiental	45

### **CAPÍTULO 2:**

#### **FACTORES PREPONDERANTES PARA LA CONTAMINACIÓN DEL AGUA POR LA ACTIVIDAD AGRÍCOLA – CASO BANANO**

2.1	Cultivos Agrícolas Extensivos de mayor importancia agrícola del País	48
2.1.1	Cultivo del Banano	49
2.1.2	Contaminación del agua y su relación con las comunidades rurales	52
2.2	Medidas de Prevención, Control y Mitigación Y Plan De Manejo Ambiental	62

### **CAPÍTULO 3:**

#### **ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS PARA LA DESINFECCIÓN DEL AGUA**

3.1	Antecedentes	68
3.2	Procesos de oxidación convencionales	68
3.3	Tecnologías avanzadas de oxidación	69
3.3.1	Catálisis	75
3.4	Fotocatálisis heterogénea	76

3.4.1	Semiconductores	82
3.4.2	Dióxido de Titanio (TiO <sub>2</sub> )	84
3.4.3	Métodos de seguimiento del proceso	86
3.4.4	Parámetros que influyen en el proceso	89
3.4.5	Tecnología de los colectores solares	90
3.4.6	Nivel de desarrollo de la tecnología de detoxificación solar	101
3.4.7	Desinfección solar de aguas en comunidades rurales de América Latina	110

#### **CAPÍTULO 4:**

#### **RECURSOS LEGISLATIVOS PARA LA PREVENCIÓN Y SU CONSERVACIÓN**

4.1	Antecedentes	111
4.2	Marco Legal del Uso de Plaguicidas en relación a la conservación del Recurso Agua	112
4.2.1	Texto Unificado de Legislación Ambiental	112
4.2.2	Reglamento de Saneamiento Ambiental Bananero, RO N° 406, 3 de marzo de 1994	115
4.2.3	Reglamento de Uso y Aplicación de Plaguicidas en las Plantaciones Dedicadas al Cultivo de Flores, RO N° 623, 31 de enero de 1995	116
4.3	Otras Normativas Ambientales	117

#### **CAPÍTULO 5**

#### **ANÁLISIS, RECOMENDACIONES Y CONCLUSIONES**

5.1	Análisis	132
5.2	Recomendaciones	135
5.3	Conclusiones	136

<b>Tabla</b>	<b>ÍNDICE DE TABLAS</b>	<b>Pág.</b>
1	El acceso en el hogar a agua en áreas urbanas y rurales, en las cuatro regiones geográficas	139
2	Acceso al alcantarillado en las 4 regiones geográficas	139
3	Manejo de desechos sólidos en las 4 regiones geográficas	140
4	Tasa de Mortalidad Infantil (TMI) según área de residencia y sexo	140
5	Categorización del riesgo por presencia de coliformes según la Organización Mundial de la Salud (OMS).	27
6	Tasas de Enfermedades Hídricas (por 100 000 habitantes)	27
7	Efectos de las actividades agrícolas en la calidad del agua	140
8	Cronología del desarrollo de los plaguicidas (Stephenson y Solomon, 1993)	143
9	Límites máximos permisibles para aguas de consumo humano y uso doméstico que únicamente requieran de tratamiento convencional	144
10	Límites máximos permisibles para aguas de consumo humano y uso doméstico que únicamente requieran desinfección.	148
11	Caracterización de los consumos, residuos y vertidos que se realizan en el proceso productivo del cultivo de Banano	53
12	Sondeo rápido de condiciones de producción del cultivo de banano	55
13	Clasificación de Tecnologías Avanzadas de Oxidación	70
14	Potenciales redox de algunos agentes oxidantes	72

15	Comparación cualitativa entre reactores PTC (Colectores Cilindro Parabólicos) y reactores sin concentración para aplicaciones fotocatalíticas, usando Dióxido de Titanio (TiO <sub>2</sub> ) y luz solar.	98
16	Degradación solar fotocatalítica de contaminantes en el sistema CPC (Cilindro Parabólico Compuesto) de la PSA	104
17	Degradación solar fotocatalítica de contaminantes con la adición de Persulfato de Sodio (Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>8</sub> ).	105
18	Concentración de pesticidas, Carbono Orgánico Total (TOC), Carbono Orgánico Disuelto (COD), Demanda Biológica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> ), y valores de toxicidad	107
19	Concentraciones de fenol y catalizador usados en diferentes ensayos	151

<b>Figura</b>	<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b>	<b>Pág.</b>
1	Morbilidad infantil según datos socioeconómicos	24
2	Distribución del uso del agua en Ecuador	28
3	Complejidad jerárquica de los problemas de calidad del agua relacionados con la agricultura (Rickert, 1993)	29
4	Limites ecuatorianos de presencia de pesticidas en agua de consumo	34
5	Familia de pesticidas importados al Ecuador en el periodo 1992 – 1998.	35
6	Ciclo de vida ambiental	36
7	Condición actual de los sistemas ambientales	37
8	Características del medio ambiente y medidas de protección	39
9	Conjunto de problemas y asuntos ambientales relevantes y su respectiva propuesta de indicadores	43
10	Principales productos agrícolas de exportación	50
11	Procesos que ocurren en la interfaz semiconductor – electrolito bajo iluminación	78
12	Diagrama de las distintas tecnologías existentes para el tratamiento de agua, en función de la carga orgánica existente y del volumen a tratar.	82
13	Niveles electrónicos resultante del enlace entre átomos idénticos.	83
14	Estructura cristalina de la anatasa (a) y del rutilo (b).	85
15	Colectores solares sin concentración para aplicaciones domésticas de agua caliente.	92
16	Colector solar de media concentración instalado en la plataforma de Almería	93

17	Colector solar de alta concentración instalado en la PSA	93
18	Transmitancia de diferentes materiales válidos para reactores fotocatalíticos.	96
19	Influencia de la concentración de hierro en la transmitancia espectral de un fotoreactor tubular de vidrio (cortesía de Schott-Rohrglas GmbH, Alemania).	97
20	Zona de penetración de luz solar (sin concentrar) en un reactor tubular con una concentración de TiO <sub>2</sub> de 1 g L <sup>-1</sup> (catalizador en suspensión).	97
21	Radiación solar reflejada en un colector CPC. Toda la luz que llega a la apertura del colector será reflejada sobre el reactor si el ángulo de incidencia es menor del ángulo de aceptación del CPC	99
22	Detalle de un colector CPC donde se observa la configuración de los tubos reactores.	100
23	Construcción de un reactor Cilindro-Parabólico Compuesto (CPC).	101
24	Captación de radiación solar en un colector CPC en función de la posición solar.	103
25	Degradación fotocatalítica de fitosanitarios en agua con colectores CPC	107

## **APÉNDICES**

**A FOTOGRAFÍAS**

**B TABLAS**

**BIBLIOGRAFÍA**

## INTRODUCCION

En el Ecuador la población total es 12.156.608 y el 86% de la población es rural, de la cual menos del 40% posee servicios de saneamiento básico, no más del 15% posee alcantarillado y casi la mitad no posee energía eléctrica (Infoplan, 2001).

La creciente actividad agropecuaria en el país, estimada en una superficie de 12,654.242 hectáreas (FAO), demanda el elevado uso de agroquímicos, que sumada a malas prácticas agrícolas resulta en un excesivo uso de pesticidas que son una de las principales fuentes de contaminación del agua.

Las poblaciones rurales son las que están más propensas a enfermedades por consumo de agua contaminadas, por lo que es necesario el desarrollo de tecnologías económicas y eficientes no sólo en la desinfección microbiológica, sino también en el tratamiento de compuestos orgánicos.

El tratamiento del agua esta comúnmente basado en procesos mecánicos, físicos, químicos y biológicos, pero estos procesos no son efectivos en la degradación de los compuestos bio-recalcitrantes y son requeridos procesos de adsorción de carbón activado, ozono y oxidación.

Los procesos avanzados de oxidación (PAOs) se consideran con alto potencial en el tratamiento de aguas residuales a nivel universal y esta

caracterizada por la producción de radicales hidroxilos, que pueden ser generados por medios fotoquímicos (incluida la luz solar) o por otras formas de energía, y posee alta efectividad para la oxidación de materia orgánica.

La fotocatalisis heterogénea es un proceso basado en la absorción directa o indirecta de la energía radiante por un catalizador, que normalmente es un semiconductor de banda ancha, siendo el más investigado el Dióxido de Titanio ( $\text{TiO}_2$ ) porque reacciona con luz solar y es económicamente asequible.

Los Colectores Solares Cilindro Parabólicos (CPCs) son uno de varios modelos de reactores Fotocatalíticos y son considerados la mejor opción para procesos fotocatalíticos basados en el uso de radiación solar (Ajona y Vidal, 2000; Blanco et al, 2000; Robert et al, 1999).

Entre las cualidades más importantes de los CPCs, esta el aprovechamiento de la energía solar directa y difusa de manera eficiente (Blanco et al, 2000), no produce evaporación de compuestos volátiles ni calentamiento del agua, tiene una alta eficiencia óptica y el flujo es turbulento dentro del reactor, lo que favorece la transferencia de masa y evita problemas de sedimentación del catalizador.

El proceso de detoxificación solar es una alternativa para el tratamiento de aguas contaminadas con compuestos no biodegradables, esta tecnología se

basa en colectores térmicos modificados para optimizar la eficiencia óptica en la captación de la radiación solar UV. En los últimos años, este proceso se ha desarrollado ampliamente debido a su gran componente ambiental.

Se estima que actualmente más de **50 millones** de personas de América Latina y el Caribe no tienen acceso a agua segura. La situación se agrava en regiones agrícola-ganaderas, donde se usan plaguicidas y fertilizantes químicos de alta, media y baja toxicidad. Por ello, la desinfección solar del agua es una alternativa viable para nuestros países que cuentan con economías inestables incapaces de sostener proyectos de altas implicaciones económicas, pero si de llevar a cabo alternativas tecnológicas de alto impacto social.

## **DEFINICION DEL PROBLEMA**

La falta de agua tratada y la irregularidad en la distribución de las lluvias ocasiona que los embalses, represas, pozos y "ojos de agua" sean las principales fuentes de consumo humano, principalmente en el área rural.

Sin embargo, el uso múltiple de esos cuerpos hídricos en la actividad agrícola favorece, por diversos factores, la contaminación de los mismos, por lo que se hace imprescindible el uso de alternativas tecnológicas para la desinfección de agua para consumo humano en las comunidades rurales y

romper la cadena epidemiológica de enfermedades infecciosas de origen hídrico.

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo General**

Analizar la actividad agrícola como contaminante del agua en las comunidades rurales para la búsqueda de alternativas tecnológicas de desinfección de agua destinado al consumo humano.

### **Objetivos Específicos**

- Determinar la influencia de la actividad agrícola como uno de los causales de la contaminación del agua en comunidades rurales.
- Buscar tecnologías aplicables para el tratamiento y desinfección de agua de consumo humano en sectores agrícolas.
- Verificar los recursos legislativos que inciden en la prevención y conservación del recurso hídrico en el Ecuador.

## **JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO**

Generalmente las familias campesinas tienen poca conciencia sobre los peligros que representa el consumo de aguas contaminadas biológica y químicamente, por lo que consumen agua cruda e incluso usan envases de agroquímicos para su almacenamiento.

El consumo de diferentes compuestos químicos a lo largo de la vida de estos pobladores afecta sus capacidades intelectuales, lo que se convierte en una limitante importante en el desarrollo de estas comunidades.

Por lo anterior, es necesario identificar los factores que inciden directamente en la contaminación del agua por la actividad agrícola y de esta manera buscar tecnologías aplicables para la desinfección del agua de consumo humano en sectores rurales.

### **ALCANCE DEL PROYECTO**

La presente tesis tiene como finalidad hacer un análisis profundo sobre la relación causa-efecto-remediación de la contaminación del agua por la actividad agrícola que afecta la vida de las comunidades rurales y las nuevas tecnologías que se están estudiando como alternativa en América Latina y Europa; adicional a esto se analiza que la legislación ambiental es la herramienta que nos puede llevar a una eficiente aplicación de las mismas, ya que sin su cumplimiento cualquier esfuerzo podría ser vano.

# CAPITULO 1

## REVISION BIBLIOGRAFICA

### 1.1 COMUNIDADES RURALES Y CALIDAD DE AGUA

Según estimaciones del INEC, el Ecuador a finales del año 2009 poseerá una población de 14.005.449 habitantes con una tasa de crecimiento poblacional de 2.1% entre los años 1990 y 2001, siendo el 60 % población urbana y el 40% rural. Menos del 40% de la población rural posee servicios de saneamiento básicos y no más del 15% posee sistema de alcantarillado.

La brecha entre la población de las zonas rurales y las zonas urbanas se expresan en los elevados y crecientes niveles de pobreza que predominan en las zonas rurales. Del 58.2 por ciento de la población ecuatoriana que vive en condiciones de pobreza, el 77,8 por ciento habita en las zonas rurales, en las cuales un 21,4 por ciento se encuentra en extrema pobreza. En la actualidad el 45,1 por ciento de los niños menores de 5 años se encuentran en estado de desnutrición crónica (FAO).

#### **Servicios de saneamiento básicos**

El poseer servicios básicos significa disponer de los servicios indispensables que requiere una familia para normar su vida en lo que se refiere a

procedimientos sanitarios que propendan al mejoramiento de la salud y el bienestar del hogar. Sin embargo muchos ecuatorianos no gozan de dichos beneficios, como lo demuestran las siguientes estadísticas.

De acuerdo con la encuesta demográfica de Salud Madre-Infante ENDEMAIN 2004, alrededor del 80% de ecuatorianos tiene acceso a agua entubada, 47.5% dentro del hogar y 29.3% fuera del hogar y 3.3% de grifos públicos. Del resto de la población, el 7.4% usa agua de pozos públicos o privados; 5.2% compra agua de camiones; 5.2% usa aguas de manantiales o ríos y el 2.2% restante de otras fuentes (*tabla 1*).

La situación de los indígenas y afroecuatorianos se diferencia enormemente de los promedios nacionales. De acuerdo con el ENDEMAIN solo el 23% de la gente auto identificada como indígena y afroecuatoriana tiene acceso a agua en tubería dentro del hogar y 37% fuera del hogar, 13% usan grifos públicos o pozos, 28% usan ríos o acequias y 2.2% compran agua de tanqueros.

Una diferencia similar de servicios entre el promedio nacional y los pueblos autóctonos es aparente en lo referente al alcantarillado. Solo el 19% de las soluciones sanitarias domésticas para los pueblos indígenas son conectadas al sistema de alcantarillado, en contraste con el 44% del promedio nacional.

El 34% de los servicios sanitarios de los pueblos autóctonos está conectado a un tanque séptico o a una fosa; y el restante 47% no cuenta con ninguna instalación de servicios sanitarios (**tabla 2**).

En lo referente a la eliminación de desechos sólidos, el 65% de los ecuatorianos tiene recolección de basura, pero sólo el 37% de los pueblos autóctonos lo tiene. Un 25% de los ecuatorianos en general queman o entierran la basura; pero aproximadamente el 40% de los pueblos autóctonos la elimina en ríos, quebradas o terrenos baldíos (**tabla 3**).

En el Ecuador uno de las mas grandes limitantes para el desarrollo de proyectos para mejorar las condiciones de vida es la dispersión que existe entre las poblaciones y viviendas, lo que dificulta en gran medida la instalación de adecuados sistemas de alcantarillado, agua potable y alumbrado eléctrico.

Según datos del INEC el promedio de viviendas particulares ocupadas con personas presentes es de 4.2 y la densidad poblacional es de 47.4 hab/Km<sup>2</sup>, siendo la superficie total del País 256.369,6 Km<sup>2</sup>. Sin embargo cabe recalcar que la mayor cantidad de personas por familia se da en las zonas rurales y es donde existe la mayor dispersión poblacional.

## **Calidad de agua**

En general, la mayor desproporción en la cobertura se observa entre las áreas urbanas y rurales, siendo especialmente críticas las carencias en las áreas rurales de la región Oriental y de las provincias de Cotopaxi, Tungurahua, Imbabura y Esmeraldas, problema que viene acompañado de otros factores como la reducida productividad agropecuaria o la concentración de la distribución de la tierra y el agua.

Los datos estadísticos de servicios básicos no dan cuenta de los problemas de calidad de los cuerpos receptores y de fallas en el funcionamiento de los sistemas cuando ocurren lluvias intensas. La única ciudad que cuenta con un sistema de tratamiento completo de sus aguas servidas es Cuenca. De los 214 cantones del país, apenas 19 tienen algún tipo de tratamiento, mayoritariamente lagunas de oxidación. Las cuencas de drenaje urbano (y por ende sus sistemas de alcantarillado), presentan problemas de crecidas y caudales máximos, como resultado del cambio del uso del suelo fruto de los poco normados procesos de urbanización.

El manejo del abastecimiento de agua potable y alcantarillado en el ámbito urbano, se realiza a través de las Municipalidades y Empresas de Agua Potable, mientras que en el ámbito rural, a estas unidades se suman las Juntas de Agua. Sin embargo, no se ha logrado superar el problema de la calidad del agua, ya sea por falta de recursos económicos, dispersión

poblacional, organización o inestabilidad política, que influye fuertemente en los cambios a corto plazo de los dirigentes de las diferentes entidades y por ende en la elaboración y conclusión de los proyectos.

La relación que existe entre la calidad de vida, las principales causas de morbilidad y la morbilidad infantil es estrecha con la calidad del agua a la que tienen acceso los ecuatorianos según estrato socioeconómico y ubicación geográfica.

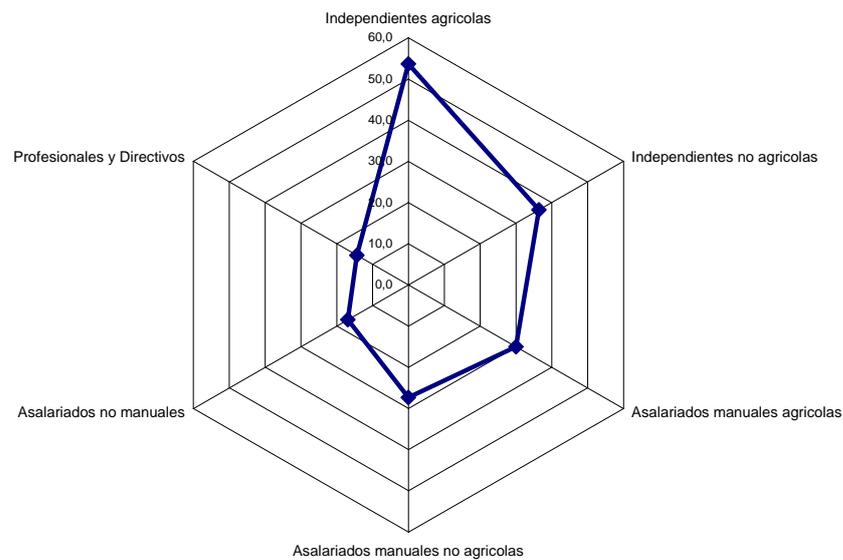
Para el 2001, los problemas ocasionados por la calidad del agua que se consume son palpables: la enteritis y otras enfermedades diarreicas son las causas principales de mortalidad infantil, que ocurre a una tasa de 22.2 por cada 1000 nacidos vivos en el sector urbano y de 38.6 en el sector rural **(tabla 4)**.

La morbilidad según clase socioeconómica muestra que esta fuertemente influida por la falta de equidad en la sociedad, que restringe el acceso de importantes sectores poblacionales a servicios de saneamiento y educación de calidad, a empleo productivo, a un entorno ambiental adecuado, entre otros bienes socialmente necesarios. **(Figura 1)**

Se puede observar que conforme se desciende en la escala social, las probabilidades de muerte de los menores de un año aumentan significativamente. Si bien en el grupo de profesionales y directivos de cada

mil nacidos vivos, mueren 15 antes de cumplir su primer año de vida, en el grupo de asalariados manuales agrícolas lo hacen 30 y en el de independientes agrícolas 54 que justamente es el sector menos privilegiado.

**Figura 1.** Morbilidad infantil según datos socioeconómicos



Casi todos los ríos del país cercanos a las áreas urbanas tienen altos niveles de coliformes, totales, DBO (Demanda Biológica de Oxígeno), nitrógeno y fósforo. Si bien los estudios realizados son escasos, confirman la utilización de pesticidas en la agricultura (algunos de ellos de prohibida importación), en los suelos de las cuencas de aportación de agua potable de las ciudades, incluso sobre cotas de terrenos no aptos para uso agrícola. Desde inicios de la década de los 80's, el aumento dramático de la explotación artesanal de oro, ha generado problemas de contaminación de metales pesados hacia los ríos que drenan en los diferentes distritos mineros, limitando los diferentes

usos y afectando a otras actividades en las partes inferiores de estos. Pero la contaminación de origen petrolero es quizá la contaminación industrial más importante en el país; sin embargo, a corto plazo otros contaminantes, como pesticidas y otros compuestos hacen que los ecosistemas acuáticos sean contaminados.

Las áreas con más alta contaminación de sus recursos hídricos en el país son: el Golfo de Guayaquil, que incluye los ríos Daule y Babahoyo; la cuenca del río Portoviejo y la parte baja de los ríos Chone, Esmeraldas, Cayapas y Santiago; cuenca de los ríos Pindo, Chico y Puyango; en la vertiente Amazónica, las cuencas de los ríos Napo, Pastaza y Zamora; en la región interandina, las áreas de influencia de las ciudades de Quito, Cuenca, Ambato, Loja e Ibarra (Diario Hoy, 2007).

### **Enfermedades comunes causadas por contaminación del agua**

Las enfermedades hídricas componen un grupo importante de enfermedades que suelen aparecer en brotes epidémicos, alguno de ellos de graves consecuencias para amplios grupos poblacionales, y cuya común particularidad es que se transmiten por aguas contaminadas por distintos agentes biológicos (microorganismos patógenos), y se manifiestan por cuadros de importantes diarreas agudas.

Los límites indicados por la Organización Mundial de la Salud (OMS) para el número de organismos coliformes para agua potable indican que un método adecuado debe llegar a 0 UFC (Unidades Formadoras de Colonias)/100mL de agua. (**Tabla 5**). En la **tabla 6** se muestran las tasas de enfermedades transmitidas por el agua. Es notable la disminución de la incidencia del cólera, si bien las EDAs en general aumentaron en menor medida.

**Tabla 5.** Categorización del riesgo por presencia de coliformes según la OMS

UFC/100mL	Riesgo
0	Conforme con las recomendaciones de la OMS
1 – 10	Riesgo bajo
100 – 1000	Riesgo intermedio
> 1000	Riesgo muy elevado

**Tabla 6.** Tasas de Enfermedades Hídricas (por 100 000 habitantes)

Morbilidad	1990	1991	1992	1993	1994
	0				
Cólera	--	298,3	268,2	62,9	16,9
Tifoidea y paratifoidea	25,5	21,8	33,7	41,4	22,4
Hepatitis	10,6	6,6	5,4	7,3	6,0
Enfermedad diarreica aguda (EDA)	14,3	22,5	22,9	17,5	17,2

**Fuente:** OMS, 2000

## 1.2 LA AGRICULTURA, LOS PESTICIDAS Y LA CONTAMINACIÓN DEL AGUA

Según el III Censo Nacional Agropecuario (octubre de 1999 a septiembre del año 2000) la superficie de tierra dedicada a la producción agropecuaria es 12'654.242 hectáreas, dividida en 842.910 unidades de

producción agrícola. Esta superficie tiene las siguientes características de uso de suelo: el 24% corresponde a superficie dedicada a cultivos permanentes, transitorios, barbecho y descanso, el 40% esta destinado a pastos y páramos, y el 36% corresponden a bosques y otros usos.

Datos del INEC revelan que de 1'876,332 personas ocupadas, el 83% realiza trabajos agropecuarios entre remunerados y no remunerados, considerando en el censo a personas mayores de 10 años de edad.

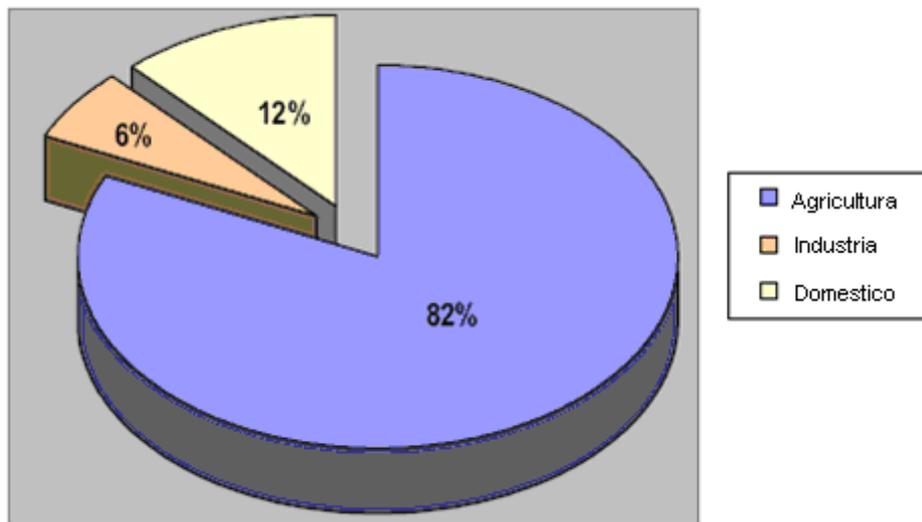
Estos resultados obtenidos demuestran una vez más la vocación agropecuaria de nuestro país, pero además la actividad agrícola es una de las principales fuentes de contaminación ambiental (**Tabla 7**), entre las cuales también destacan los desechos y residuos industriales, de hidrocarburos y mineros, y los desechos domésticos

### **1.2.1 Uso del agua**

El área apta para riego neta del Ecuador es de aproximadamente 3'136.000 ha, el 93.3% de las cuales están sobre las cuencas de la vertiente del Pacífico y la diferencia sobre la vertiente Amazónica. La cuenca más importante en extensión es la del río Guayas, que representa el 40.4% de la superficie regable del país, seguida de la del río Esmeraldas con el 12.6%.

Estas estadísticas demuestran que el uso del agua se concentra en la agricultura, por lo que la probabilidad de contaminación del agua por pesticidas es significativa.

**Figura 2.** Distribución del uso del agua en el Ecuador

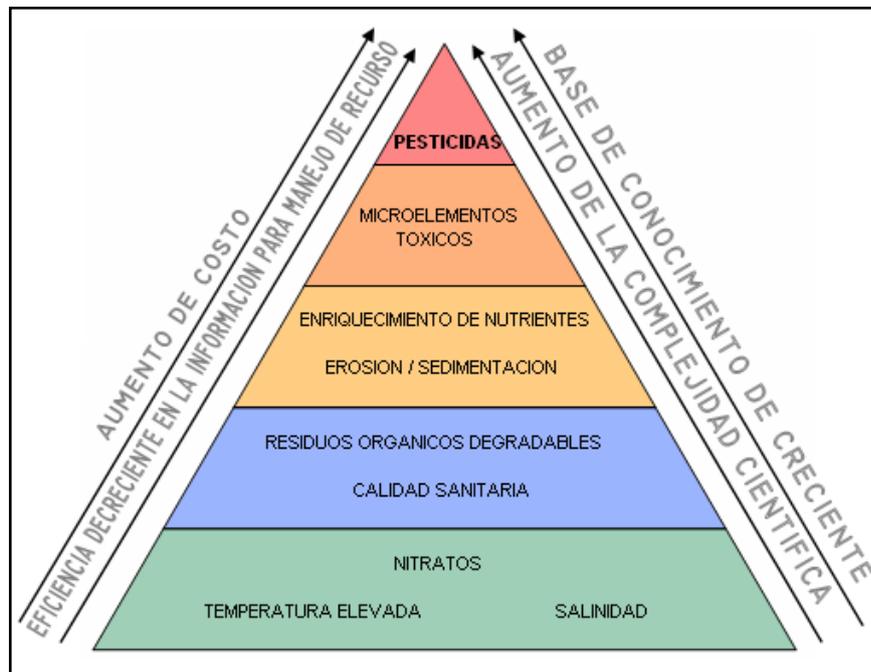


Fuente: Herrera et al, 2004

Todos los tipos de prácticas agrícolas y formas de utilización de la tierra, incluidas las operaciones de alimentación animal (granjas de engorde), se consideran como fuentes no localizadas de contaminación del agua, que se caracterizan por responder a las condiciones hidrológicas, presentar dificultades para la medición o control directo (y, por ello, son difíciles de regular), y se concentran en las prácticas de ordenación de la tierra y otras afines.

En Ecuador existe poca información sobre contaminación por pesticidas, ya que generarla es muy costoso. En la Figura 3, puede verse la diversidad y relativa complejidad de la contaminación agrícola procedente de fuentes no localizadas.

**Figura 3.** Complejidad jerárquica de los problemas de calidad del agua relacionados con la agricultura (Rickert, 1993)



### 1.2.2 Los plaguicidas, en cuanto a contaminantes del agua

Un factor decisivo de la Revolución Verde ha sido el desarrollo y aplicación de plaguicidas para combatir una gran variedad de plagas insectívoras y herbáceas que, de lo contrario, disminuirían el volumen y calidad de la producción alimentaria. El uso de plaguicidas coincide con la "era química", que ha transformado la sociedad desde el decenio de 1950 (**Tabla 8**). En lugares donde se practica el monocultivo intensivo, los plaguicidas constituyen el método habitual de lucha contra las plagas. Por desgracia, los beneficios aportados por la química han ido acompañados de una serie de perjuicios, algunos de ellos tan graves que ahora representan

una amenaza para la supervivencia a largo plazo de importantes ecosistemas y para la salud humana.

Existen alrededor de 890 ingredientes activos registrados para formulación de pesticidas y 25 pesticidas son los más comúnmente usados en la agricultura. Son alrededor de 28 ingredientes activos, en promedio, que se utilizan para la formulación de pesticidas.

### **Factores que influyen en la toxicidad de los plaguicidas en los sistemas acuáticos**

Los efectos ecológicos de los plaguicidas en el agua están determinados por los siguientes criterios:

- **Toxicidad**

Para mamíferos y no mamíferos, expresada en forma de  $DL_{50}$  ("Dosis letal": concentración del plaguicida que provoca la muerte de la mitad de los organismos de prueba durante un período especificado de prueba). Cuanto más baja es la  $DL_{50}$ , mayor es la toxicidad; los valores de 0 a 10 son extremadamente tóxicos (OMAF, 1991).

Las directrices sobre los alimentos y el agua potable se determinan utilizando una evaluación basada en el riesgo. Por lo general, riesgo = exposición (cantidad y/o duración) x toxicidad.

La respuesta tóxica (efecto) puede ser aguda (muerte) o crónica. Un efecto crónico quizás no provoque la muerte durante el período de prueba pero cause en el organismo sometido a prueba efectos observables, como cánceres y tumores, deficiencias reproductivas, inhibición del crecimiento o efectos teratogénicos.

- **Persistencia:**

Medida en términos de vida media<sup>1</sup>. La persistencia está determinada por procesos bióticos y abióticos de degradación. Los procesos bióticos son la biodegradación y el metabolismo; los procesos abióticos son fundamentalmente la hidrólisis, fotólisis y oxidación (Calamari y Barg, 1993). En la actualidad se impulsa el uso de pesticidas biológicos y de vidas medias breves, sin embargo son poco populares por su costo.

- **Productos degradados:**

El proceso de degradación puede llevar a la formación de "productos degradados", cuya toxicidad puede ser mayor, igual o menor que la del

---

<sup>1</sup> Vida media: tiempo necesario para que la concentración ambiental disminuya un 50 por ciento

compuesto original. Por ejemplo, El DDT (diclorodifeniltricloroetano) es un compuesto muy persistente en el medio ambiente. Su degradación tiene lugar muy lentamente y sus productos de degradación, DDE (diclorodifenildicloroetileno) y DDD (diclorodifenildicloroetano), son también muy persistentes y presentan propiedades químicas, físicas y toxicológicas similares al producto original. Todos ellos poseen una elevada tendencia a bioacumularse en los seres vivos y la exposición a estos compuestos se ha asociado a efectos teratogénicos, disrupción del sistema endocrino, efectos a largo plazo relacionados con el sistema nervioso y disfunciones hepáticas.

- **Destino (ambiental):**

El destino ambiental (comportamiento) de un plaguicida depende de la afinidad natural del producto químico con respecto de uno de los cuatro compartimentos ambientales (Calamari y Barg, 1993): materia sólida (materia mineral y carbono orgánico en partículas), líquido (solubilidad en aguas superficiales y aguas del suelo), forma gaseosa (volatilización) y biota. Este comportamiento recibe con frecuencia el nombre de "compartimentación" y comprende, respectivamente, la determinación de los siguientes aspectos: coeficiente de absorción del suelo ( $K_{OC}$ ); solubilidad; Constante de Henry (H), y el coeficiente de partición n-octanol/agua ( $K_W$ ). Estos parámetros son bien conocidos en el caso de los plaguicidas y se utilizan para prever su evolución

ambiental. Un factor adicional puede ser la presencia de impurezas en la formulación del plaguicida, que no forman parte del ingrediente activo.

### **Efectos de los plaguicidas en la salud humana**

Los efectos en la salud humana son provocados por medio del contacto dérmico, inhalación o ingestión, que se da durante la manipulación de productos plaguicidas, la respiración de los polvos o presencia de estos en el agua o alimentos consumidos.

Los trabajadores agrícolas están sometidos a especiales riesgos asociados a la inhalación y contacto a través de la piel durante la preparación y aplicación de plaguicidas a los cultivos. No obstante, para la mayoría de la población, un vehículo importante es la ingestión de alimentos contaminados por plaguicidas.

La degradación de la calidad del agua por la escorrentía de plaguicidas tiene dos efectos principales en la salud humana. El primero es el consumo de pescado y mariscos contaminados por plaguicidas; este problema puede revestir especial importancia en las economías pesqueras de subsistencia que se encuentran aguas abajo de importantes zonas agrícolas. El segundo es el consumo directo de agua contaminada con plaguicidas.

La OMS (1993) ha establecido directrices para el agua potable en relación con 33 plaguicidas. Muchos organismos encargados de la protección de la

salud y el medio ambiente han establecido valores de "ingesta diaria admisible" (IDA), que indican la ingestión máxima diaria admisible durante la vida de una persona sin riesgo apreciable para su salud.

En la **figura 4** se observa que los límites de presencia de pesticidas en agua de consumo en algunos casos son mas estrictos que los presentados por la FAO; pero, por otro lado en Ecuador se hace uso de muchos otros pesticidas prohibidos en varios países y catalogados por la OMS como de alta toxicidad e incluso pertenecientes a la denominada **docena sucia**, destacando el captan, aldicarb y fenamifhos, muy usado en floricultura, y el paraquat. (**Tabla 9 y 10**).

**Figura 4. Límites ecuatorianos de presencia de pesticidas en agua de consumo**

Variable	Maximum Allowable Concentration	FAO
Glyphosate	200.00 µg/l	700.00 µg/l
Diquat	70.00 µg/l	N/A
DBE	0.05 µg/l	N/A
DBCP	0.20 µg/l	0.20 µg/l
Toxaphene	0.01 µg/l	N/A
Total Carbamates	100.00 µg/l	(a)
Total Organochlorinated Compounds	10.00 µg/l	(a)
Total Organophosphorus Compounds	100.00 µg/l	(a)
N/A: not available (a) varies depending on pesticide		

*Fuente: Texto Unificado de Legislación Ambiental Simplificado*

Para el año 1992 la mayor importación de pesticidas se dio para las familias de Órganofosforados (28.9%) y Bipiridilos (23.3%), mientras que para el año

1998 los Órganofosforados aunque disminuye al 17%, sigue encabezando la lista junto con los triazoles 19.7%. **Figura 5.**

**Figura 5. Familia de pesticidas importados al Ecuador en el periodo 1992 – 1998.**

<i>Chemical Group</i>	<i>Generic Pesticide Name</i>	<i>1992</i>	<i>1998</i>
<b>Organophosphorus</b>	Pyrazophos, Dimethoate, Temephos, Pirimiphos-methyl, Monocrotophos, Diazinon, Dichlorvos, Chlorpyrifos, Terbufos, Profenofos, Trichlorfon, Triazophos, Malathion, Ethoprophos, Fenamiphos, Methidathion, Azametiphos	28.9 %	17.0 %
<b>Carbamate</b>	Carbofuran, Oxamyl, Methomyl, Carbaryl, Thiodicarb	10.1 %	5.9 %
<b>Pyrethroid</b>	Cyhalothrin, Cypermethrin, Cyfluthrin, Permethrin, Allethrin, Tetramethrin, Deltamethrin	0.9 %	1.1 %
<b>Organochlorine</b>	Endosulfan, DDT	0.5 %	0.5 %
<b>Bipyridilium</b>	Paraquat Dichloride, Diquat Dibromide	23.3 %	8.7 %
<b>Amide</b>	Propanil, Butachlor, Alachlor	8.0 %	5.5 %
<b>Phenoxy</b>	2-4-D, MCPA, Fenoxaprop	3.9 %	5.3 %
<b>Glycine Derivative</b>	Glyphosate	2.8 %	8.1 %
<b>Triazine</b>	Atrazine, Ametryn, Terbutryn, Metribuzin	2.3 %	1.2 %
<b>Urea</b>	Diuron, Linuron, Diflubenuron	0.9 %	0.8 %
<b>Dinitroaniline</b>	Pendimethalin	0.6 %	1.5 %
<b>Dithiocarbamate</b>	Mancozeb, Maneb, Zineb, Ferbam, Propineb	2.5 %	6.5 %
<b>Benzimidazole</b>	Thiabendazole, Benomyl	2.3 %	1.8 %
<b>Inorganic</b>	Sulfur, Copper	2.3 %	4.2 %
<b>Triazole</b>	Propiconazole, Penconazole, Imazalil, Tebuconazole, Triadimefon, Bitertanol	1.4 %	19.7 %
<b>Morpholine</b>	Tridemorph, Dodemorph	1.0 %	1.4 %
<b>Mixtures</b>	Carboxin + Captan, Copper + Mancozeb, 2,4-D + Picloram, Fosetyl-Al + Mancozeb, MCPA + Bentazon, Molinate + Propanil, Propineb + Cymoxanil, Mancozeb + Oxadixyl, Copper + Benalaxyl, Chlorpyrifos + Cypermethrin, Propanil + Triclopyr	1.3 %	3.2 %
<b>Other Groups</b>	They represent less than 0.50% per chemical group.	7.0 %	6.6 %

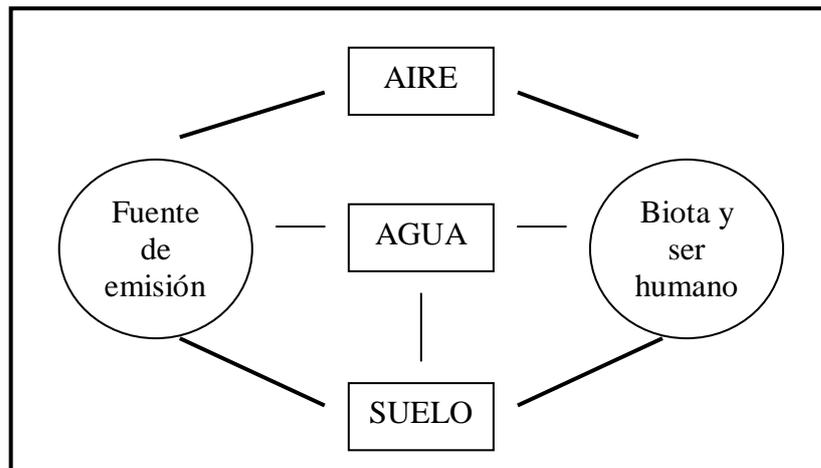
*Fuente: Matamoros, David 2004*

### **1.3 PREVENCIÓN Y PROTECCIÓN AMBIENTAL**

La prevención ambiental está relacionada a efectuar acciones con el fin de evitar un evento que altere el medio ambiente. Así mismo, la protección ambiental se demuestra especialmente en cada una de las miles de “toma de decisiones” que afectan a un territorio: ¿dónde se ubican y cómo se operan las urbanizaciones, los vertederos, las industrias, etc.?, ¿qué medidas efectivas se toman para la rehabilitación de canteras y minas a cielo abierto?, son ejemplos de preocupaciones actuales. (Guillermo Espinoza, 2001)

El propósito de la prevención y control de la contaminación ambiental es prevenir o minimizar el riesgo de daños al medio ambiente considerado como un todo. Se reconoce la naturaleza integrada del medio ambiente tomando en cuenta los efectos de las sustancias o actividades sobre todos los componentes del medio ambiente (aire, agua, suelo), los organismos vivientes (incluyendo a las personas) en estos medios y el conjunto de valores culturales y estéticos.

**Figura 6. Ciclo de vida ambiental**

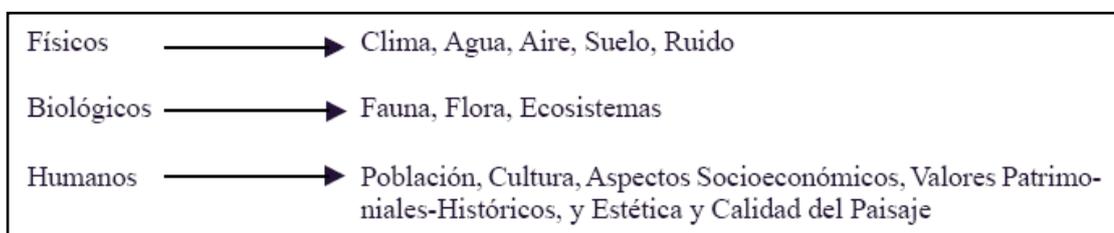


Fuente: <http://www.juridicas.unam.mx/publica/librev/rev/rap/cont/87/trb/trb9.pdf>

### 1.3.1 Concepto de Impacto Ambiental

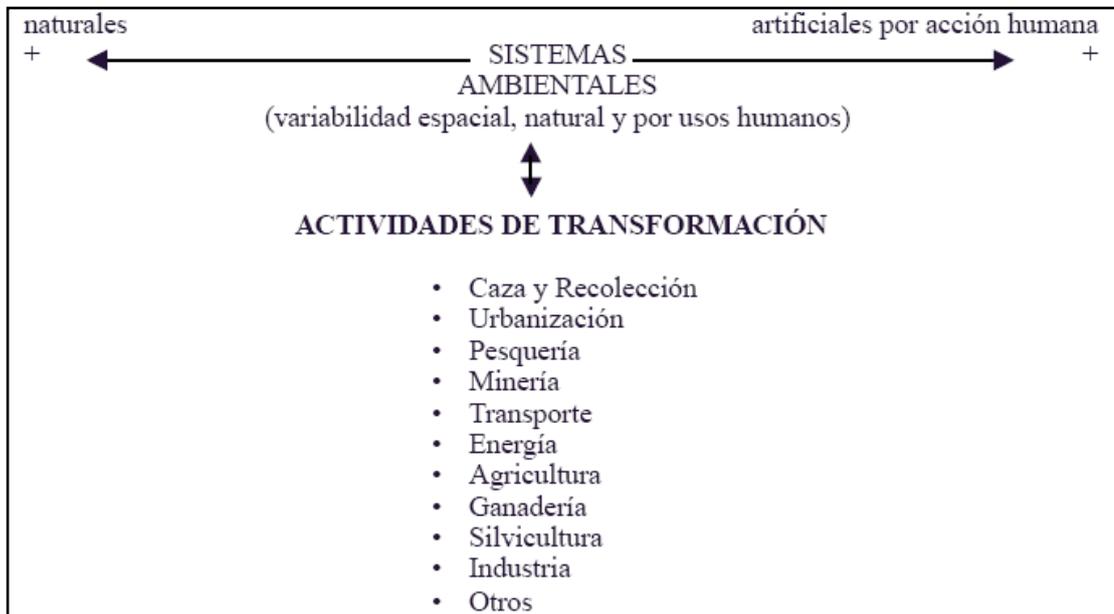
El impacto ambiental es la alteración significativa de los sistemas naturales y transformados y de sus recursos, provocada por acciones humanas (ver Figura 1-1). Por tanto, los impactos se expresan en las diversas actividades y se presentan tanto en ambientes naturales como en aquellos que resultan de la intervención y creación humana (ver Figura 1-2). (Guillermo Espinoza, 2001)

**Figura 6. Integración de sistemas físicos, biológicos y humanos en la dimensión ambiental**



Fuente. *Fundamentos de evaluación de impacto ambiental*. Guillermo Espinoza 2001

**Figura 7. Condición actual de los sistemas ambientales**

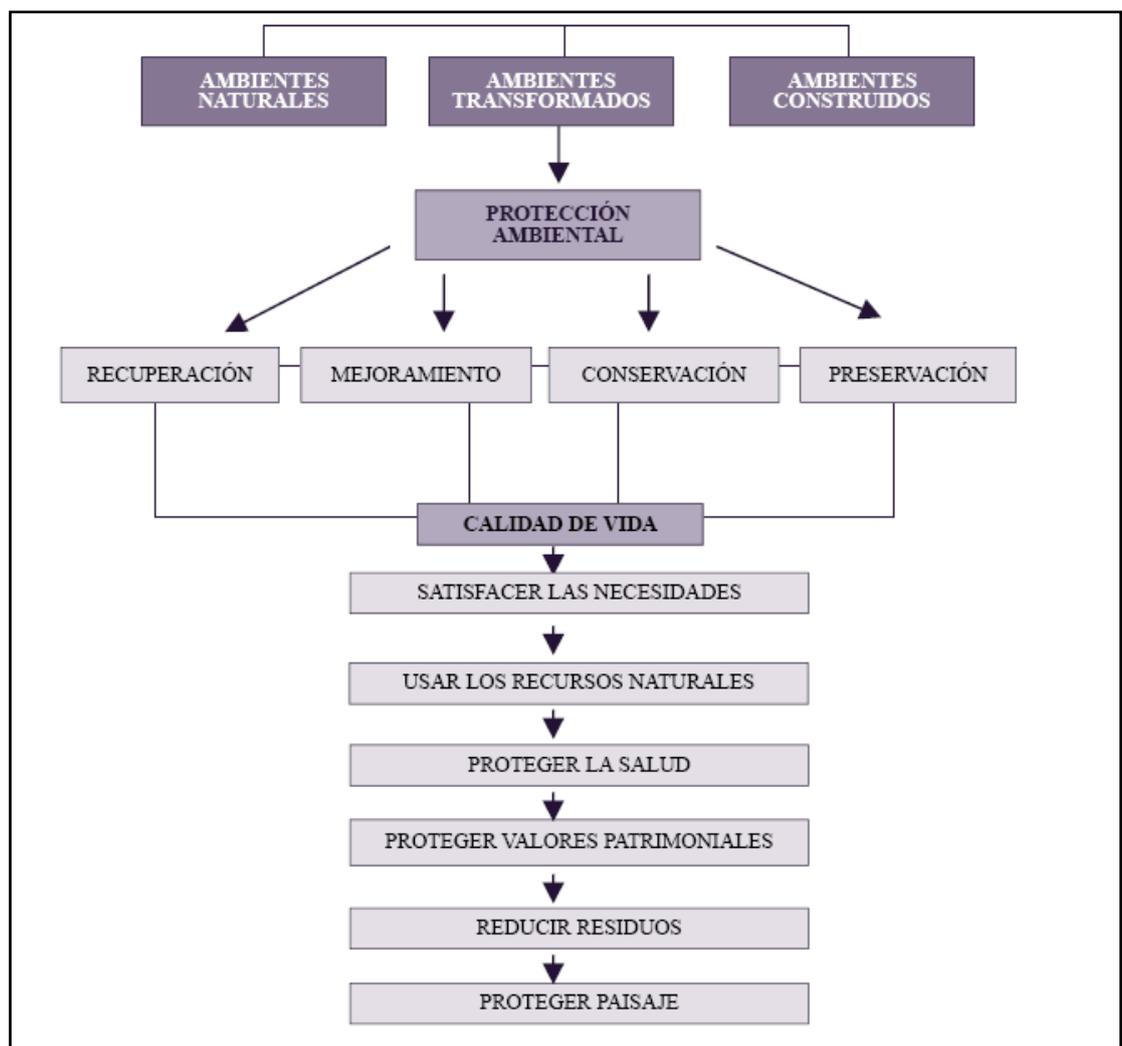


*Fuente. Fundamentos de evaluación de impacto ambiental. Guillermo Espinoza 2001*

La inquietud central respecto a un impacto ambiental es establecer el tipo de alteraciones que son molestas: ¿el ruido y los humos en el ámbito urbano?, ¿los problemas sanitarios?, ¿el efecto invernadero o el deterioro de la capa de ozono? Las respuestas a estas preguntas constituyen los niveles de alteración ambiental cuyo significado e importancia preocupan a la humanidad en general y a los países y grupos humanos en particular (ver Figura 1-3). La dimensión ambiental debe analizarse, en un sentido amplio, tanto en sus aspectos naturales (como el suelo, la flora, la fauna) como de contaminación (aire, agua, suelo, residuos), de valor paisajístico, de alteración de costumbres humanas y de impactos sobre la salud de las

personas. En definitiva, la preocupación surge con todas las características del entorno donde vive el ser humano cuya afectación pueda alterar su calidad de vida.

**Figura 8. Características del medio ambiente y medidas de protección**



Fuente. Fundamentos de evaluación de impacto ambiental. Guillermo Espinoza 2001

- **Tipos de impactos ambientales**

Por ejemplo, se analizan los impactos: a) positivos y negativos, b) primarios e inducidos, c) de corto y largo plazo, y d) acumulativos.

- **Predicción y demostración de impactos**

La predicción implica seleccionar los impactos que efectivamente pueden ocurrir y que merecen una preocupación especial por el comportamiento que pueda presentarse. Es importante contrastarlos con indicadores de la calidad ambiental deseada para que estos puedan ser demostrados.

- **Indicadores ambientales**

El interés por el desarrollo sustentable y la creciente preocupación pública por la prevención de impactos ambientales negativos obliga a establecer las capacidades para evaluar el estado del medio ambiente y detectar anticipadamente las condiciones y tendencias de cambio. Existen también las necesidades por conocer el desempeño ambiental; es decir, por saber cómo se estarían implementando las políticas de prevención y el cumplimiento de la normativa ambiental. Así surge la inquietud por desarrollar indicadores ambientales que son vistos hoy en día como

herramientas necesarias para dirigir el curso de las acciones hacia un futuro sustentable.

En particular, los indicadores ambientales sirven para: a) informar sobre el estado del medio ambiente, b) conocer las relaciones entre las presiones que imponen las diversas actividades humanas sobre la calidad de los componentes del medio ambiente, y c) elaborar respuestas para enfrentar las presiones de deterioro. En este sentido, los indicadores ambientales pueden ser vistos como equivalentes a los indicadores de bienestar social o de desarrollo económico, los cuales son ampliamente aceptados por la comunidad internacional.

Debido a que los indicadores requieren ser vistos en un contexto dinámico, están sujetos a una constante revisión en orden a reflejar la naturaleza cambiante de las perspectivas políticas y las percepciones públicas respecto a la gravedad de los diferentes problemas ambientales.

Los indicadores son series de variables, seleccionadas de una gran base de datos, que poseen significado sintético y permiten cubrir propósitos específicos. Consecuentemente, no existe un conjunto universal de indicadores ambientales, sino que se trata de conjuntos que responden a marcos de referencia y a propósitos específicos. Estos permiten medir el desempeño del medio ambiente, en especial respecto al estado y cambios del nivel de calidad ambiental y de los objetivos relacionados.

Los indicadores corresponden a parámetros e índices que permiten evaluar la calidad de los principales elementos ambientales afectados por las actividades humanas, así como sobre la cantidad y calidad de recursos naturales seleccionados. Las diferentes etapas de la evaluación de impacto ambiental que requieren indicadores son las siguientes:

a) En la etapa de descripción de los impactos de una acción sobre los atributos físicos,

biológicos y humanos que representan al medio ambiente. Los atributos de interés, en

una perspectiva sistémica, son aquellos que caracterizan las interfases que representan al medio ambiente.

b) En la etapa de identificación y valorización de los componentes del medio ambiente que puedan ser afectados.

c) En la comparación del medio ambiente impactado con referencia a un estándar, lo que incluye preferencias individuales y colectivas, criterios de decisión y representación.

d) En la etapa de establecimiento de medidas de mitigación y seguimiento de las actividades del proyecto y los impactos ambientales.

Un indicador es definido o designado como un patrón genérico que incluye el estado de conocimiento sobre un atributo relevante para el análisis que se está realizando. El índice es el producto del proceso de medición de tal

indicador. Formalmente, se puede tomar la construcción de un indicador y de su índice relacionado, como el establecimiento de una correspondencia entre la realidad y un conjunto de números o datos que permiten representarla.

En la Figura 9 se presenta, a modo de ejemplo, un conjunto de problemas y asuntos ambientales relevantes y su respectiva propuesta de indicadores.

**Figura 9. Conjunto de problemas y asuntos ambientales relevantes y su respectiva propuesta de indicadores. Parte A.**

Parámetro Problema	Ejemplos de Indicadores de Causa	Ejemplos de Indicadores de Estado
Cambio climático	Emisiones de gases invernadero. Emisiones de CO <sub>2</sub> .	Concentración atmosférica de gases invernadero. Temperatura media global.
Contaminación del agua	Intensidad de uso de los recursos de agua. Extracción anual de aguas superficiales y subterráneas. Consumo doméstico per cápita de agua. Descargas domésticas e industriales en cuerpos de agua.	Frecuencia, duración y extensión de los periodos de escasez de agua. Concentraciones de Pb, Cd, Hg y pesticidas en cuerpos de agua dulce. Concentración de coliformes fecales en cuerpos de agua. Temperatura de las aguas.
Eutroficación	Emisiones de N y P en agua y suelos. Uso de N y P en alimentos de cultivos acuáticos. Uso de N y P en fertilizantes y alimentos para ganado.	Demanda Biológica de Oxígeno/Oxígeno Disuelto. Concentraciones de N y P en aguas continentales y en aguas marinas.

Fuente: *Fundamentos de evaluación de impacto ambiental*. Guillermo Espinoza, 2001

***Figura 9. Conjunto de problemas y asuntos ambientales relevantes y su respectiva propuesta de indicadores. Parte B.***

Parámetro Problema	Ejemplos de Indicadores de Causa	Ejemplos de Indicadores de Estado
Acidificación del agua y de los suelos	Índice de sustancias acidificantes. Emisiones de SO <sub>x</sub> y NO <sub>x</sub> .	Excedencia de valores críticos de pH en agua y suelos. Concentraciones de precipitación ácida.
Calidad ambiental urbana	Tasa de crecimiento de población urbana. Número de vehículos en uso. Inventario de industrias contaminantes. Emisiones en el aire urbano (SO <sub>x</sub> , NO <sub>x</sub> , COV). Densidad de tráfico urbano nacional. Grado de urbanización. Niveles de ruido.	% de población en áreas urbanas. Áreas y población en asentamientos marginales. Población expuesta a: contaminación del aire y ruido. Condiciones ambientales del agua en áreas urbanas. Índice de viviendas por estado de conservación. % de población con servicios sanitarios.
Contaminación atmosférica	Inventario de fuentes fijas y móviles. Número y tasas de incremento del parque industrial y automotriz. Emisiones de metales pesados. Emisiones de compuestos orgánicos.	Concentraciones de partículas, micropartículas y gases en la atmósfera. Niveles de contaminación de suelos, aguas y bosques por inmisión y depositación. Concentración de metales pesados y compuestos orgánicos en medio ambiente y en especies vivas.
Conservación de la biodiversidad/ paisaje	Alteración de hábitats y conservación de tierras desde estado natural. Tasas anuales de producción de maderas. Tasas anuales de consumo de leña. Tasas anuales de exportación de especies endémicas.	Participación de las especies amenazadas o en extinción en el total de las especies conocidas. Cambios de biomasa. Tasa de extinción de especies protegidas. Tasas de deforestación.
Residuos	Generación de residuos municipales, industriales y nucleares peligrosos. Emisiones de metales pesados. Emisiones de compuestos orgánicos. Consumo de pesticidas.	Área de tierra contaminada por desechos tóxicos. Calidad de aguas y suelos contaminados. Calidad de la biota y ecosistemas afectados. Efectos sobre la salud humana.
Degradación de la tierra y del suelo (desertificación y erosión)	Riesgos de erosión. Uso actual y potencial del suelo para la agricultura. Capacidad de carga (cabezas de ganado por superficie).	Área afectada según grado y tipo de erosión. Índices de erosión (p.ej. producción de sedimentos). % de pérdida del horizonte A del suelo. Superficie afectada por desertificación.

### 1.3.2 La legislación ambiental

*“La legislación ambiental es el conjunto de normas jurídicas que tienen que ver con la actuación de los individuos y los grupos humanos, en relación con el ambiente. Es componente de la Gestión Ambiental”*

Fuente: [http://www.peruecologico.com.pe/glosario\\_1.htm](http://www.peruecologico.com.pe/glosario_1.htm)

### **Tipología de la legislación**

1. Legislación de Relevancia Ambiental Casual: Está integrada por todas las normas que no tienen un objetivo ambiental, pero que ejercen una incidencia en la protección del medio ambiente y los recursos naturales renovables.
2. Legislación Sectorial de Relevancia Ambiental: Está conformada por todas las normas tendientes a la protección de algunos elementos ambientales o recursos naturales renovables.
3. Legislación Propiamente Ambiental: Está integrada por todas las normas que conciben el medio ambiente como organizado a manera de sistema y busca regular las relaciones sociales con la naturaleza y el medio ambiente.

Fuente: <http://www.uninorte.edu.co>

### **Legislación ambiental vigente en el Ecuador**

- ***Extractos de la Constitución del Ecuador en relación con el medio ambiente***

La Constitución Política de la República del Ecuador (CPRE) es la norma suprema que rige el país. Bajo su mando, existe una serie jerárquica de cuerpos legales que, estando en concordancia con las normas superiores, regula específicamente las actividades humanas en todo ámbito, incluido el medio ambiente.

Podemos mencionar los siguientes:

*Art. 23, numeral 6:*

El derecho a vivir en un ambiente sano, ecológicamente equilibrado y libre de contaminación.

*Art. 23, numeral 20:*

El derecho a una calidad de vida que asegure salud, alimentación y nutrición, agua potable, saneamiento ambiental, educación, trabajo, empleo, recreación, vivienda, vestido y otros servicios sociales necesarios.

*Art. 86, Protección ambiental*

El Estado protegerá el derecho de la población a vivir en un medio ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice un desarrollo sustentable. Velará para que este derecho no sea afectado y garantizará la preservación de la naturaleza.

*Se declaran de interés público y se regularán conforme a la Ley:*

La preservación del medio ambiente, la conservación de los ecosistemas, la biodiversidad y la integridad del patrimonio genético del país.

La prevención de la contaminación ambiental, la recuperación de los espacios naturales degradados, el manejo sustentable de los recursos naturales y los requisitos para que estos fines se cumplan en las actividades públicas y privadas.

El establecimiento de un sistema nacional de áreas naturales protegidas que garantice la conservación de la biodiversidad y el mantenimiento de los servicios ecológicos de conformidad con los convenios y tratados internacionales.

### **Tipos de normas**

Las normas ambientales son disposiciones legales que establecen, por acuerdo entre los distintos sectores de la sociedad, cuales serán los niveles de sustancias contaminantes que serán considerados aceptables y seguros para la salud del ser humano y del medio ambiente.

Las normas son herramientas de gestión ambiental, es decir para resolver problemas ambientales. Existen distintos tipos de normas: las normas primarias de calidad ambiental, las normas secundarias de calidad ambiental, y las normas de emisión.

#### **- Normas de calidad primaria**

Tienen como objetivo proteger la salud de la población y se aplican en todo el país por igual, de manera de que todos los habitantes de un país tengan derecho a la misma calidad ambiental.

Establecen la cantidad máxima de sustancias contaminantes cuya presencia en el ambiente pueda constituir un riesgo para la vida o salud de la población. También se indica cómo se medirá y cuándo se considera que la norma ha sido sobrepasada.

#### **- Las normas secundarias**

A diferencia de las normas primarias, tienen por objetivo proteger recursos naturales u otros, que pueden ser muy diversos, tales como cultivos, ecosistemas, especies de flora o fauna, monumentos nacionales o sitios con valor arqueológico.

Las normas secundarias establecen cantidades máximas de sustancias cuya presencia en el ambiente puede constituir un riesgo para la protección o conservación del medio ambiente, o la preservación de la naturaleza. Su aplicación puede ser a nivel nacional o a nivel local dependiendo del recurso que se está protegiendo.

**- Las normas de emisión**

Establecen límites a la cantidad de contaminantes emitidos al aire o al agua que pueden producir las instalaciones industriales o fuentes emisoras en general. El objetivo de estas normas puede ser la prevención de la contaminación o de sus efectos, o bien ser un medio para reestablecer los niveles de calidad del aire o del agua cuando estos han sido sobrepasados. Su aplicación puede ser a nivel nacional o a nivel local dependiendo del objetivo de protección que tenga la norma.

[http://www.uas.cl/site/temuco/garagedoc/normas\\_ambientales.pdf](http://www.uas.cl/site/temuco/garagedoc/normas_ambientales.pdf)

# **CAPITULO 2**

## **FACTORES PREPONDERANTES PARA LA CONTAMINACIÓN DEL AGUA POR LA ACTIVIDAD AGRÍCOLA – CASO BANANO**

### **2.1 CULTIVOS AGRÍCOLAS EXTENSIVOS DE MAYOR IMPORTANCIA AGRÍCOLA DEL PAÍS**

Referente a la producción agropecuaria, el Ecuador tiene gran variedad de cultivos debido a sus favorables características de suelo, climatológicas y ubicación geográfica. Todas las regiones del Ecuador tienen producción agropecuaria: Sierra, Costa, Amazonía y región Insular, siendo la Costa y la Sierra las de mayor producción.

Los cultivos permanentes ocupan una superficie de 1'363.414, los principales son: banano, cacao, café, caña de azúcar, palma africana y plátano, siendo el cacao el cultivo permanente de mayor área sembrada en el Ecuador (alrededor de 434.000 hectáreas). Los cultivos transitorios y barbecho, ocupan una superficie de 1'231.711 hectáreas, los de mayor producción son: arroz, maíz, papa y soya, cerca de la mitad de los productores agropecuarios del país siembran arroz y/o maíz en una superficie de 785.000 hectáreas.

Las diferentes variedades de flores se producen en una superficie de 3.821 hectáreas. Más de la mitad de esta superficie, alrededor de 2.500 hectáreas se destinan a la producción de rosas.

A continuación se detallan los principales productos agrícolas de exportación, destacándose la producción de banano y plátano.

**Figura 10. Principales productos agrícolas de exportación**

<b>Producto</b>	<b>Millones de dólares FOB</b>	<b>Miles de toneladas</b>	<b>% variación en toneladas 2000/2006</b>
Banano y plátano	1093	4454	19
Flores	369	89	21
Cacao y elaborados	142	85	18
Jugos y conservas de frutas	127	95	60
Maderas	99	272	38
Café y elaborados	84	27	-1
Frutas	64	155	184
Vegetales (hortalizas)	60	117	40
Hierbas naturales y plantas medicinales	6	4	31

*Fuente: CORPEI/SIM 2006*

Toma especial atención el cultivo extensivo de banano en el Ecuador, debido a que nuestro país es el primer exportador de banano en el mundo con aproximadamente un 30% de la oferta mundial, seguidos por Costa Rica, Filipinas y Colombia.

### **2.1.1 Cultivo del Banano**

Ecuador es un país eminentemente agrícola, siendo el cultivo de banano el más importante recurso con un sin número de fortalezas productivas y

perspectivas de desarrollo. Las principales zonas de producción de banano son: El Oro y Los Ríos con el 31%, Guayas con el 30%, y en menor proporción Cañar, Esmeraldas y Cotopaxi.

La actividad bananera en el Ecuador tiene un efecto multiplicador en las plazas de trabajo directamente relacionadas con el mantenimiento y cosecha del producto durante todo el año, lo que no sucede con otros cultivos.

La producción de banano en nuestro país inició a finales de la década de los 40 y rápidamente con la iniciativa de capital nacional en la producción y comercialización del producto, ganó una participación importante en el producto interno bruto. En el año 2005 el PIB total en el país fue de 31.722 millones de dólares, de los cuales la industria bananera contribuyó con el 3.84% (Superintendencia de Bancos y Seguros).

La producción bananera da impulso a la economía a través de un conjunto de actividades como el transporte naviero y terrestre, las industrias de papel, cartón, plásticos, pesticidas, etc. los cuales se benefician de las exportaciones de banano. Todo el proceso de producción, comercialización y exportación beneficia tanto directa como indirectamente a más de 383.000 familias ecuatorianas, si cada familia mantiene un promedio de 5 miembros, la población beneficiada total representa el 12% de la población (Proyecto SICA-BIRF/MAG-Ecuador). Sin embargo, cuando hablamos de la sostenibilidad de este cultivo, encontramos que existen oportunidades de

mejorías en las buenas prácticas agrícolas, por ejemplo en dos aspectos: la aplicación adecuada de pesticidas y el manejo de desechos.

Entre las mayores limitantes para un manejo sostenible de este cultivo están los problemas fitosanitarios, los cuales han sido manejados hasta la actualidad con el uso de plaguicidas, en especial de fungicidas para el control de la Sigatoka Negra.

### **Caracterización de los consumos, residuos y vertidos que se realizan en el proceso productivo del cultivo de Banano**

En la siguiente tabla se puede observar que entre los mayores problemas ambientales en lo que a consumos, residuos y vertidos se refiere son el uso excesivo de agroquímicos que desemboca en la alta generación de desechos en envases plásticos y la contaminación de las aguas por las fumigaciones aéreas.

#### **2.1.2 Contaminación del agua y su relación con las comunidades rurales**

Ecuador va a la cola de América Latina en cuanto a cobertura y calidad de agua potable y saneamiento. En el área rural este problema es mucho más dramático. Según un estudio de la Organización Panamericana de la Salud (OPS) de los 12,5 millones de habitantes del Ecuador 28,8 % no tienen acceso a agua potable en tanto que, 54,4 % carecen de servicios de

saneamiento. El 95 % de las aguas residuales descargadas a los ríos no tienen tratamiento.

Según el Ministerio de Salud el 50 % de las hospitalizaciones son el resultado de los inadecuados servicios y acciones de saneamiento. Esto explica que el país tenga una de las tasas más altas de mortalidad infantil de América Latina (44,8 por mil nacidos vivos) (2do Foro de Agua, 2003).

**Tabla 11. Caracterización de los consumos, residuos y vertidos que se realizan en el proceso productivo del cultivo de Banano**

Etapa	Actividad	Consumo	Residuos	Vertidos	Emisiones
<b>Preparación del Terreno</b>	Uso de maquinaria para nivelación del terreno  Formación de canales de riego primarios y secundarios y canales de drenaje.	Combustible  Aceite lubricante	Aceite lubricante quemado.  Piezas de mantenimiento de maquinaria.		CO2
<b>Siembra</b>	Selección de cepas, desinfección y siembra.	Material vegetativo  Tierra de sembrado	Material vegetal.		
<b>Control de malezas</b>	Control manual y químico aplicación con bomba de motor o de mochila.	Glifosato	Envases plásticos.	Aguas con contenido de herbicidas.	CO2
<b>Control de plagas y enfermedades</b>	Control químico de aplicación terrestre y aérea.	Benomil, Clorotalonil, Mancozeb.	Envases plásticos.  Piezas de mantenimiento de maquinaria.  Aceite lubricante.	Aguas residuales del lavado de los tanques de las avionetas fumigadoras.  Agua residual de las bombas aplicadoras.	CO2

<b>Etapa</b>	<b>Actividad</b>	<b>Consumo</b>	<b>Residuos</b>	<b>Vertidos</b>	<b>Emisiones</b>
<b>Fertilización</b>	Aplicación de Nitrógeno y Potasio principalmente.	Nitrógeno y potasio.	Envases plásticos. Sacos de polietileno.	Agua con alto contenido de nutrientes nitrificados y potasio.	
<b>Labores culturales de manejo</b>	Deshije, deshoje, apuntalado, enfunde del racimo y encintado.	Fundas de polietileno. Cintas de polietileno. Puntales de caña guadua..	Material vegetal. Puntales de caña guadua en desuso. Fundas y cintas de polietileno usadas.		
<b>Labores post cosecha y cosecha</b>	Corte del racimo, desmane, lavado en tina, desinfección, empaque.	Fungicida (Sulfato de Aluminio)	Material vegetal. Material de empaque. Banano de rechazo.	Aguas residuales del lavado.	

**Tabla 12. Sondeo rápido de condiciones de producción del cultivo de banano**

No	Lista de Chequeo	Si	No	Evidencias	Observaciones
1	¿El Ministerio de Agricultura y Ganadería a través de AGROCALIDAD realiza inspecciones semestrales a los productores bananeros para verificar el cumplimiento del Reglamento de Saneamiento Ambiental Bananero?		No	No hay evidencias de visitas de los inspectores.	El factor común entre todas las entrevistas realizadas a los pequeños productores ha sido que jamás han recibido una visita de algún inspector de AGROCALIDAD.
2	¿El almacenamiento de los envases de agroquímicos se realiza en condiciones seguras para el ser humano como para el medio ambiente?		No	 <p>Bodega de un pequeño productor.</p>	Realizando un sondeo rápido entre los productores bananeros de la provincia se puede observar que los pequeños productores no poseen instalaciones apropiadas para el almacenamiento de los productos agroquímicos, incluso en varias ocasiones se encontraron productos químicos almacenados dentro de la vivienda. Según nos explican los agricultores, los robos de sus insumos y materiales los llevan a optar a almacenarlos en sus viviendas.

No	Lista de Chequeo	Si	No	Evidencias	Observaciones
3	¿Los trabajadores agrícolas en el sector bananeros laboran en condiciones salubres y seguras? ¿Utilizan equipos de protección personal, hay letreros de seguridad en las instalaciones, existe departamento médico en las instalaciones o en las cercanías?		No	 <p>Empacadora de mediano productor</p>	<p>Entre los grandes y medianos productores es común ver instalaciones básicas y empacadoras en buen estado, sin embargo permiten a sus trabajadores laborar en la fumigación terrestre sin equipo de protección, explicando que ellos no desean usarlo por las altas temperaturas.</p> <p>Entre los pequeños productores no se ven instalaciones básicas dentro de las plantaciones y no utilizan equipos de protección personal. Muchos respondieron que si trabajaban protegidos, utilizando trapos de tela para cubrir su nariz y boca, guantes y botas, lo que demuestra el alto grado de desinformación dentro de la población respecto a los peligros del mal manejo de estos productos.</p>
4	¿El establecimiento de los cultivos está dispuesto en unidades compactas, respetando: no sembrar bajo el tendido eléctrico, las zonas de amortiguamiento, no construir instalaciones dentro del área de fumigación?		No	 <p>Escuela limita con plantación</p>	<p>Dentro del recorrido que se realizó por las plantaciones de la provincia de El Oro, se observó que sin excepción alguna las plantaciones no respetan el área de amortiguamiento, limitando directamente con centros poblados, cultivando bajo el alambrado eléctrico, incluso, construyendo escuelas dentro zonas completamente agrícolas.</p> <p>Como se puede observar en la foto la escuela está dentro del área de fumigación, al igual que las viviendas.</p>

No	Lista de Chequeo	Si	No	Evidencias	Observaciones
5	¿Las empresas de fumigación aérea, fumigan en las zonas de amortiguamiento?		No	 <p>Viviendas dentro del área de fumigación</p>	En conversaciones con pilotos de las aerofumigadoras nos explicaron que no es posible no fumigar sobre las vías de acceso, carreteras y centros poblados que limitan con las plantaciones, ya que para un control eficaz de la sigatoka no deben dejar franjas sin fumigar porque se convierten en focos de infección, por lo que es necesario abrir las boquillas de asperción 10 a 15 metros antes de la primera hilera de plantas y 5 a 10 metros después de la final.
6	Las empresas aerofumigadoras llevan registros de mantenimiento de los equipos y avionetas, de los productos químicos que aplican a los respectivos clientes, de las condiciones meteorológicas en las que se realizaron las fumigaciones?		No	No hay evidencia de registros.	En el Ecuador existen más de 20 empresas aerofumigadoras, sin embargo muchas de ellas no poseen instalaciones propias, no poseen registros ni personal calificado.  Aunque hay empresas que brindan servicio

No	Lista de Chequeo	Si	No	Evidencias	Observaciones
7	¿Los productores bananeros le dan alguna gestión a los desechos, como envases de agroquímicos, fundas, o cintas?		No	 <p data-bbox="891 783 1352 847">Desechos acumulados dentro de la plantación</p>	<p data-bbox="1451 411 2130 475">No se realiza ninguna gestión a los residuos como envases, fundas y cintas.</p> <p data-bbox="1451 480 2130 847">En las carreteras es comun ver botaderos de gran dimensión de envases plásticos. Algunos productores al tener certificación de buenas prácticas agrícolas estan obligados a almacenarlos y entregarlos a gestores autorizados para su incineración ya que en Ecuador son considerados desechos peligrosos y no pueden ser reciclados. Tambien es comun que los pequeños productores entreguen a personas no autorizadas para gestionarlos, quienes los compran para utilizarlos en el envasado de alimentos y agua.</p> <p data-bbox="1451 852 2130 1118">Dentro de la provincia no existen centros de acopio de estos desechos, lo que según la legislacion es obligacion de las empresas productoras de agroquimicos. Se esta planteando la construcción de estos centros y campañas de concientizacion sobre los peligros de reutilizar estos envases y la importancia del triple lavado para su posterior gestion.</p>

## **Identificación de los impactos ambientales**

La intensidad de los impactos ambientales que pueda ocasionar el cultivo del banano depende del manejo del suelo durante sus ciclos de siembra, mantenimiento y cosecha, a continuación se presentan algunos de los más frecuentes:

### **- Impacto sobre el terreno**

Los suelos donde se siembra el banano son de una excelente textura, entre otras características son muy permeables por lo tanto la erosión es casi nula. La cantidad de agua disponible mediante el sistema de riego por aspersión que mantiene éste cultivo, asegura que éstos terrenos dispongan de nutrientes y permanentemente se acumule materia orgánica proveniente de la dispersión de las hojas y tallos en el terreno.

### **➤ *Uso de plaguicidas***

Las diferentes densidades en un cultivo de banano comparten un espacio físico y constituyen una comunidad biológica que interactúan entre ellas. El uso de plaguicidas va a alterar estas relaciones y causar impacto ambiental. La actividad agrícola requiere el uso de fungicidas, bactericidas, insecticidas, nematocidas, acaricidas, roenticidas y otros plaguicidas.

En el caso de las plantaciones del banano, los peligros asociados con los plaguicidas son entre otros:

- a).- La baja biodegradabilidad hace que su toxicidad, persista largo tiempo en el medio ambiente, especialmente los clorados y los fosforados con peligro de que lo absorba la fruta y por este medio el organismo humano.
- b).- posibilidad de que percolen hasta los acuíferos que pueden servir como agua de consumo humano.
- c).- crean resistencia a las plagas, lo que hace necesario aumentar frecuencias de aplicación.
- d).- destrucción del control biológico y entomopatógenos.
- e).- resurgimiento de plagas ya tratadas y de nuevas plagas y
- f).- afectan la polinización

### ➤ ***Desechos***

Una inadecuada eliminación del polietileno taponan el suelo impidiendo su aireación y drenaje, incrementa la erosión y altera la estructura del suelo, dando origen a focos de infección y proliferación de hongos, plagas y microorganismos.

### ➤ ***Uso de fertilizantes***

Un exceso en el uso de fertilizantes alteran el Ph y la composición química del suelo la urea mal aplicada origina iones amonio y a un compuesto llamado duret que es fitotóxico. El muriato de sodio puede dar origen a lo que se llama compactación química o sea la acumulación de sales de sodio

en la raíz de la planta. Los elementos no absorbidos por la planta pueden causar contaminación.

### **- Impacto sobre la salud de los trabajadores**

La mayoría de los herbicidas son de baja toxicidad aunque la exposición prolongada pueda producir efectos severos en los humanos produciendo estupor, somnolencia, náuseas, vómito, convulsiones. Los pesticidas organoclorados son neurotóxicos, algunos muy tóxicos, con DL50 menores a 100 mg/kg. Los síntomas de intoxicación incluyen dolor de cabeza, mareos, náusea, vómito, tembladeras y convulsiones; son cancerígenos. Los carbamatos también inhiben la enzima acetil colinesterasa y por lo tanto su toxicidad es similar a los organofosforados.

### **- Impactos sobre el aire**

Cuando se fumiga con productos químicos, tienen olores característicos que persisten durante un tiempo y luego se disipan, durante éste periodo las partículas líquidas del aceite agrícola y gasificadas de los plaguicidas persistirán un corto tiempo en el aire y luego caerán.

### **- Impactos sobre el agua**

Los drenajes de las plantaciones de banano están conectados con los ríos, lo que indica que existe un continuo recambio de aguas en las plantaciones, procediendo a su depuración. Lo mismo ocurre con los acuíferos

subterráneos cuyas aguas son renovadas constantemente por los nevados y vertientes de la cordillera andina. El agua de las empacadoras contienen mezclas de materia orgánica disuelta y fungicidas las cuales descargan generalmente a los ríos.

#### **- Impactos bióticos**

Considerando el tiempo que existen las plantaciones de banano, no se encuentran impactos en el entorno ecológico el cual permanece sin alteración.

#### **- Impactos socio - económicos**

La actividad bananera en el país tiene un efecto multiplicador en las plazas de trabajo directamente relacionadas con el mantenimiento y cosecha del producto durante todo el año, lo que no sucede con otros cultivos. El empleo trae el bienestar social-económico del trabajador, mejorando sus viviendas y atendiendo su salud. Los canales de riego y drenaje, las guardarrayas lastradas, las estaciones de bombeo, el transporte por funiculares, las empacadoras y campamentos, las pistas de aterrizaje y otras inversiones, constituyen aportes positivos a la infraestructura que desarrolla la actividad. El rechazo es utilizado como alimento suplementario en ganado. Las fundas plásticas y los sunchos descartados son vendidos para reciclaje. Los

desechos se los utilizan para que aporten materia orgánica al terreno cuando se pudran. En el futuro se podrá realizar lombricultura.

### **- Impactos sobre la plantación**

La sigatoka negra es la principal enfermedad que ataca al banano la cual es muy virulenta, de igual forma hay presencia de la sigatoka amarilla cuyos efectos son los siguientes: a) retarda la floración; b) los racimos son más pequeños con menor número de manos y c) aparece una madurez prematura, la pulpa de los frutos se ablanda y toma coloración crema. Existen otras enfermedades como la marchitez bacteriana de menor incidencia. En los insectos, el picudo negro produce galerías en las cepas siendo su actividad nocturna. A las hojas atacan el caterpillar, monturita, vaquita, tortuguilla, pulpitos, la cochinilla, trips y los ácaros produciendo baja producción, racimos pequeños y dedos cortos. La presencia de nemátodos en las raíces de las plantas, producen túneles que son la vía de entrada para los hongos y bacterias reduciendo el sistema radicular y la capacidad de absorción del agua y nutrientes del suelo.

### **- Otros impactos**

El uso de los productos químicos puede ocasionar: a).- Impactos agroecológicos como la eliminación de insectos polinizadores y rebrotes de

plagas y b).- Impactos ecológicos-ambientales produciendo mortalidad de fauna silvestre, fisiológicos, reproductivos, bioquímicos, etiológicos.

## **2.2 MEDIDAS DE PREVENCIÓN, CONTROL Y MITIGACIÓN Y PLAN DE MANEJO AMBIENTAL**

### **Medidas de prevención, control y mitigación**

Las plantaciones de banano consumen nutrientes del suelo como nitrógeno, fósforo, potasio, hierro, sodio, cobre y otros cationes; éstos nutrientes deberán ser restablecidos con los fertilizantes como la urea, muriato de potasio y otros. El fósforo es aplicado como parte de otros fertilizantes utilizado en menores proporciones. La salud de los trabajadores se puede ver afectada por accidentes de trabajo y por exposición prolongada a los productos químicos. Se tomarán las siguientes medidas de mitigación de estos impactos:

- a).- prevención de riesgos de trabajo y
- b).- manipuleo seguro de plaguicidas.

Los impactos sobre la plantación que se han descrito, pueden ser mitigados por medio de:

- a).- control de malezas minimizando el uso de herbicidas y maximizando el uso de maquinaria y el machete;
- b).- fertilizaciones para restituir al suelo sus nutrientes;

c).- evitar que los deshijadores corten yemas, botones, espuelas e hijos de espada antes de que para la planta madre;

d).- deshijar únicamente las plantas paridas con hijos mayores a tres meses de edad, el deshije debe ser hecho 4 a 6 veces al año según las condiciones climáticas y las plantas deben tener siempre por lo menos 10 hojas buenas.

Como otras medidas de prevención y control:

a).- se reducirá el uso de productos químicos;

b).- los envases de agroquímicos vacíos serán lavados y

c).- se sembrará pasto en los taludes de los canales de drenaje para evitar la erosión.

De igual forma se tomarán las siguientes medidas:

a).- Se cumplirá con el artículo #42 del reglamento a la ley de control de contaminación del recurso de aguas que en su inciso a) prohíbe la aplicación manual de agroquímicos dentro de una franja de 3 metros y la aplicación aérea de los mismos dentro de una franja de 30 metros, medidos en ambos casos desde la orilla del cuerpo de agua;

b).- Se exigirá el cumplimiento estricto del reglamento general de plaguicidas y productos afines de uso agrícola;

c).- se pedirán a los fabricantes de los productos químicos recomendaciones específicas sobre usos adecuados, frecuencias y manipuleo.

## **Plan de Manejo Ambiental**

El manejo ambiental en la plantación tiene como objetivo primordial, prevenir los impactos sobre la salud de los trabajadores y cambios irreversibles en el ecosistema ocasionados por el empleo de agroquímicos.

### **Control de plagas y enfermedades.**

El control de las enfermedades y plagas se lo debe realizar con mucha precaución, resaltando que el control biológico de las mismas sería la principal defensa para erradicarlas, en ésta parte, el sector bananero procura en lo posible no aplicar insecticidas. Se debe considerar la aplicación de los insecticidas microbiales conocidos como entomopatógenos. Para el control de enfermedades se debe rotar los productos disponibles en el mercado con el fin de que su control sea efectivo.

### **Almacenamiento y manipulación de agroquímicos**

Todos los agroquímicos que se manipulen en las plantaciones deben tener etiquetas en buen estado, de fácil lectura y comprensión. Es fundamental calibrar las bombas de fumigar, ya que así se puede aplicar la dosis exacta de los productos químicos.

## **Manejo de agua**

La optimización del uso de agua mediante los sistemas de riego sobrefoliar, subfoliar y microaspersión serían parte del manejo adecuado del mismo y con esto se evita la erosión. En el drenaje de las aguas de las empacadoras se deberán reciclar mediante piscinas de clarificación para retener y eliminar los sólidos suspendidos con el objeto de que no se contaminen los ríos y poder reutilizar las mismas.

## **Control del aire**

La fumigación de las plantaciones provocará partículas que se encontrarán momentáneamente en el aire hasta que alcancen su dispersión total en la plantación, debiendo protegerse el personal cuando ocurra esta actividad.

## **Desechos sólidos**

No hay que depositar en los ríos los desechos orgánicos, inorgánicos y químicos. Se deben crear los rellenos sanitarios para neutralizar que indiscriminadamente se arroje la basura en las cunetas de las carreteras ó guardarrayas interiores. Cuando se entierren envases, residuos de derrames y otros desechos, se debe cavar una fosa a más de un metro de profundidad, en un sitio aislado, lejos de cursos y fuentes de agua.

La clasificación actual de los envases de agroquímicos en el Ecuador limita la posibilidad de crear, a partir de un desecho que actualmente es considerado basura, o peor aún, es mal utilizado, un negocio rentable y amigable con el ambiente. Hay dos aspectos claves para lograr, al igual que muchos otros países, la reclasificación los envases para que dejen de ser considerados peligrosos, éstos son:

- Concienciar a los generadores de los envases de productos agroquímicos a que una vez terminado el producto, deben realizar el correcto tratamiento de los mismos, esto es el triple lavado.
- Las autoridades respectivas, estos son principalmente el Ministerio del Ambiente y autoridades locales como Municipios, apoyen iniciativas que creen a su vez empleos y microempresas a partir del reciclaje de los envases de productos agroquímicos, para disminuir o eliminar la actual incineración, que definitivamente no es la solución sostenible al manejo de estos desechos.

## **Salud ocupacional**

Se capacitará al personal en primeros auxilios, los trabajadores deberán someterse a exámenes médicos por lo menos cada 3 meses, el personal que realice tareas de fumigación serán rotados periódicamente para disminuir sus periodos de exposición y tendrán ropa, guantes, lentes y máscaras que serán lavados y desinfectados después de cada utilización.

Elaboración de planes de capacitación del uso y manejo adecuado de productos agroquímicos:

- Manejo adecuado de productos agroquímicos
- Uso de equipos de protección personal
- Legislación ambiental
- Salud ocupacional y seguridad industrial
- Importancia del mantenimiento y limpieza de equipos de fumigación (terrestres y aéreos)
- Manejo de desechos generados en la explotación de cultivo de banano relacionada con el uso de agroquímicos (envases, cintas, etc.)

# **CAPITULO 3**

## **TECNOLOGÍA APLICABLE PARA LA DESINFECCIÓN** **DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO EN** **SECTORES RURALES**

### **3.1 ANTECEDENTES**

La cloración por goteo, la cloración por tabletas, y la desinfección solar como alternativas para la desinfección del agua para consumo humano son algunas de las más utilizadas en Latinoamérica.

A pesar de ser tecnologías efectivas en la eliminación de microorganismos patógenos del agua no son capaces de asegurar la inocuidad del agua de consumo, ya que tenemos otro agente de contaminación como es el químico, que en nuestro medio proviene especialmente de la actividad agrícola extensiva.

Es entonces cuando las tecnologías fotocatalíticas se presentan como una alternativa a la descontaminación del agua, a continuación se presentan las tecnologías avanzadas de oxidación y sus aplicaciones.

### **3.2 PROCESOS DE OXIDACIÓN CONVENCIONALES**

En los procesos de oxidación convencionales se utilizan generalmente reactivos como ozono, hipocloritos, permanganatos, peróxido, y algunas combinaciones de estos. En ellos el contaminante orgánico es transformado por la acción oxidante de estos compuestos, algunas veces hasta productos inocuos como  $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2\text{O}$ . Estos métodos son generalmente costosos por la demanda de reactivos y energía, su posterior separación de las aguas y el control que el proceso exige particularmente por la manipulación de los mismos, características que los hacen poco aplicables en el medio rural donde no poseen estos recursos. De los anteriores métodos mencionados, ninguno logra una remoción óptima, es decir, altos niveles de pureza del efluente con bajos consumos de insumos químicos y/o energía, por ello la investigación tecnológica a nivel mundial en los últimos años, ha propuesto la detoxificación por procesos de oxidación avanzados como una alternativa eficiente.

### **3.3 TECNOLOGÍAS AVANZADAS DE OXIDACIÓN (TAO's)**

Como se mencionó anteriormente, la oxidación química tradicional es generalmente costosa por la demanda de reactivo y el control que el proceso exige. Por otra parte, los procesos biológicos utilizan el carbono u otro elemento como fuente de energía y lo transforman en biomasa, gas carbónico y otros intermediarios; estos son generalmente más económicos

pero pueden requerir grandes volúmenes de almacenamiento dado que los tiempos de residencia pueden ser de varios días u otros procedimientos para manejar estos subproductos.

Las TAO's se basan en procesos fisicoquímicos capaces de producir cambios fundamentales en la estructura química de los contaminantes. El concepto fue inicialmente establecido por Glaze y colaboradores, quienes definieron las TAO's como procesos que involucran la generación y uso de especies transitorias poderosas, principalmente el radical hidroxilo ( $\bullet\text{OH}$ ). Este radical puede ser generado por medios fotoquímicos (incluida la luz solar) o por otras formas de energía, y posee alta efectividad para la oxidación de materia orgánica. Algunas TAO's, como la fotocatalisis heterogénea, la radiólisis y otras técnicas avanzadas, recurren además a reductores químicos que permiten realizar transformaciones en contaminantes tóxicos poco susceptibles a la oxidación, como iones metálicos o compuestos halogenados. La tabla 11 muestra un listado de las TAO's existentes, clasificadas en procesos fotoquímicos y no fotoquímicos.

Tabla 13. Clasificación de Tecnologías Avanzadas de Oxidación

Tecnologías avanzadas de oxidación	
Procesos no fotoquímicos	Procesos fotoquímicos
Ozonización en medio alcalino ( $O_3/OH^-$ )	- Oxidación en agua sub y supercrítica
Ozonización con peróxido de hidrógeno ( $O_3/H_2O_2$ )	- Procesos fotoquímicos
Procesos Fenton ( $Fe_{2+}/H_2O_2$ ) y relacionados	- Fotólisis del agua en el ultravioleta de vacío (UVV)
Oxidación electroquímica	- UV/peróxido de hidrógeno
Radiólisis y y tratamiento con haces de electrones	- UV/ $O_3$
Plasma no térmico	- Foto-Fenton y relacionadas
Descarga electrohidráulica - Ultrasonido	- Fotocatálisis heterogénea

Entre las ventajas de las nuevas tecnologías sobre los métodos convencionales, se encuentran:

1. No sólo cambian de fase al contaminante (como ocurre en el arrastre con aire o en el tratamiento con carbón activado), sino que lo transforman químicamente.
2. Generalmente se consigue la mineralización completa (destrucción) del contaminante. En cambio, las tecnologías convencionales, que no emplean especies muy fuertemente oxidantes, no alcanzan a oxidar completamente la materia orgánica.
3. Usualmente no generan lodos que a su vez requieren de un proceso de tratamiento y/o disposición.

4. Son muy útiles para contaminantes refractarios que resisten otros métodos de tratamiento, principalmente el biológico.
5. Sirven para tratar contaminantes a muy baja concentración (por ejemplo, ppb).
6. No se forman subproductos de reacción, o se forman en baja concentración.
7. Son ideales para disminuir la concentración de compuestos formados por pretratamientos alternativos, como la desinfección.
8. Generalmente, mejoran las propiedades organolépticas del agua tratada.
9. En muchos casos, consumen mucha menos energía que otros métodos (por ejemplo, la incineración).
10. Permiten transformar contaminantes refractarios en productos tratables luego por métodos más económicos como el tratamiento biológico.
11. Eliminan efectos sobre la salud de desinfectantes y oxidantes residuales como el cloro.

Las TAO's son especialmente útiles como pretratamiento antes de un tratamiento biológico para contaminantes resistentes a la biodegradación o como proceso de postratamiento para efectuar un pulido de las aguas antes de la descarga a los cuerpos receptores.

La eficiencia de las TAO's es superior a los métodos convencionales porque los procesos involucrados poseen una mayor factibilidad termodinámica y

una velocidad de oxidación muy incrementada por la participación de radicales, principalmente el radical hidroxilo,  $\bullet\text{OH}$ . Esta especie posee propiedades adecuadas para atacar virtualmente a todos los compuestos orgánicos y reaccionar  $10^6$ - $10^{12}$  veces más rápido que oxidantes alternativos como el  $\text{O}^3$ .

**Tabla 14. Potenciales redox de algunos agentes oxidantes**

<b>Especie</b>	<b><math>E^0</math> (V, 25°C)*</b>
Flúor	3,03
Radical hidroxilo	2,08
Oxígeno atómico	2,42
Ozono	2,07
Peróxido de hidrógeno	1,78
Radical perhidroxilo	1,70
Permanganato	1,58
Dióxido de cloro	1,57
Ácido hipocloroso	1,49
Cloro	1,36
Bromo	1,09

\* Los potenciales dados están referidos al electrodo normal de hidrógeno.

Particularmente la degradación fotosensibilizada con Dióxido de Titanio ( $\text{TiO}_2$ ), está bien documentada en la literatura, así como las estrategias empleadas para mejorar la eficiencia de esta tecnología.

Son numerosos los estudios que obtienen buenos resultados de degradación de compuestos orgánicos como fenoles, aguas residuales de las industrias farmacéutica, maderera, de pesticidas, etc., mediante fotocátalisis heterogénea, haciendo que esta técnica se tenga en cuenta en el momento de elegir un tratamiento para aguas contaminadas.

La oxidación fotocatalítica ha sido estudiada desde 1976, pero sólo hasta mediados de los años 80 se plantea la posibilidad de aplicar estos procesos al tratamiento de aguas contaminadas. Desde ese momento dicho proceso se ha constituido en una excelente alternativa para el tratamiento de aguas contaminadas con compuestos orgánicos. Entre sus ventajas se encuentran:

1. La facilidad para el tratamiento de mezclas de compuestos (el método no es selectivo)
2. Los tiempos cortos para la remoción.
3. La obtención de efluentes de óptima calidad.
4. Sus bajos costos de operación.
5. La fácil adaptación a diferentes condiciones.

La primera de las anteriores es tal vez una de las más importantes, pues como ocurre en el tratamiento biológico de mezclas de compuestos contaminantes algunos de estos pueden ser refractarios (no biodegradables) y/o biocidas (matan los microorganismos), o en algunos casos los intermediarios formados pueden ser tóxicos para los microorganismos, haciendo que este tipo de tratamiento sea totalmente inútil. Además, de esta forma cualquier tipo de intermediario de naturaleza orgánica formado en el proceso de oxidación fotocatalítica será finalmente oxidado a  $\text{CO}_2$ , agua y en algunos casos hasta ácidos minerales, permitiendo la mineralización completa del contaminante.

### **3.3.1 Catálisis**

La catálisis consiste en la alteración de la velocidad de una reacción química, producida por la presencia de una sustancia adicional, llamada catalizador, que no resulta químicamente alterada en el transcurso de la reacción.

La catálisis ha sido catalogada como una tecnología importante en el desarrollo de nuevos procesos químicos benignos con el medio ambiente, puesto que mediante el uso de catalizadores, se puede dar lugar a reacciones más eficientes y selectivas, que permiten eliminar subproductos y otros compuestos de desecho de las reacciones convencionales, y que pueden ser recuperados del medio de reacción para ser reutilizados. A lo anterior se suma el hecho de que disminuye el consumo energético del proceso donde se aplique.

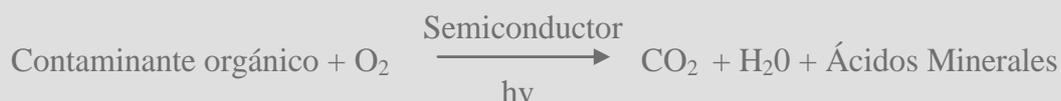
El campo de aplicación de la catálisis abarca tanto la prevención de la contaminación, mediante la elaboración de nuevas rutas catalíticas más limpias, como su eliminación, mediante diversos métodos de oxidación que pueden utilizar el catalizador en estado sólido con este fin. La fotocatalisis heterogénea, y otros procesos avanzados de oxidación, son buenos ejemplos de la aplicación de la catálisis como tratamiento para la destrucción de contaminantes.

La fotocatalisis heterogénea permite la degradación, e incluso mineralización, de contaminantes orgánicos recalcitrantes presentes en el agua o en el aire, básicamente mediante el uso de un semiconductor, una fuente de irradiación y la presencia de oxígeno en el medio de reacción.

### 3.4 FOTOCATÁLISIS HETEROGÉNEA

Cuando se habla de fotocatalisis se hace referencia a una reacción catalítica que involucra la absorción de luz por parte de un catalizador o sustrato.

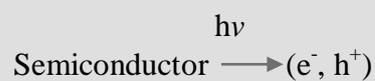
En este caso se habla de fotocatalisis heterogénea porque las fotorreacciones transcurren en la superficie del catalizador (en la interfase líquido-sólido o gas-sólido, respectivamente). La fotocatalisis heterogénea permite la degradación, e incluso la mineralización, de gran variedad de compuestos orgánicos según la reacción global siguiente (Ecuación 1)



Ecuación 1. Reacción Global de Fotocatalisis Heterogénea.

Este proceso se basa en la excitación de un sólido fotocatalizador (normalmente semiconductor de banda ancha) sumergido en una solución, mediante la absorción de energía radiante (visible o UV), lo que origina reacciones simultáneas de oxidación y reducción en diferentes zonas de la región interfacial existente entre las dos fases. La etapa inicial del proceso

consiste en la generación de pares electrón – hueco en las partículas de semiconductor (Ecuación 2). Cuando un fotón con una energía  $h\nu$  que iguala o supera la energía del salto de banda del semiconductor,  $E_g$ , incide sobre éste, se promueve un electrón,  $e^-$ , de la banda de valencia (BV) hacia la banda de conducción (BC), generándose un hueco,  $h^+$ , en esta última banda:

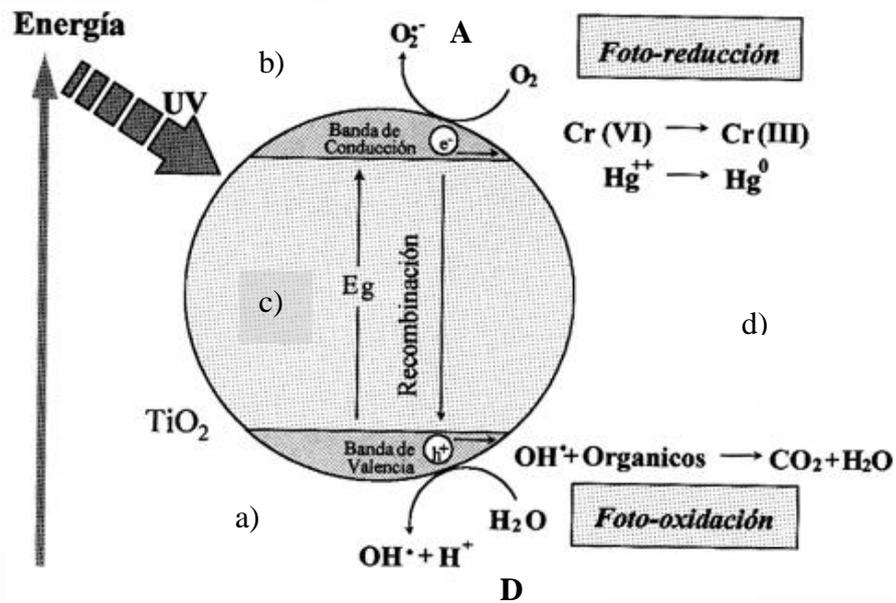


Ecuación 2. Generación del Par Electrón Hueco.

Los electrones que llegan a la banda de conducción pueden desplazarse dentro de la red del semiconductor. Asimismo, también se desplazan los lugares vacíos (los huecos) que han quedado en la banda de valencia.

La excitación puede ser directa o indirecta según la absorción se produzca directamente sobre el catalizador o sobre las moléculas de algún compuesto depositado en la superficie de este, siendo el primer caso el más general y de mayor aplicabilidad y cuyo mecanismo se describe en el esquema de la **Figura 6**.

Figura 11. Procesos que ocurren en la interfaz semiconductor – electrolito bajo iluminación

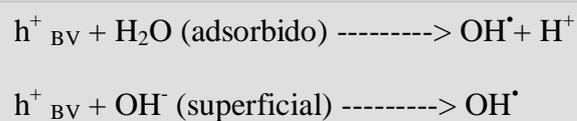


Al absorberse un haz de luz suficientemente energético, se crean pares hueco-electrón ( $h^+$ ,  $e^-$ ). Ellos deben migrar hacia la superficie y reaccionar con las especies adsorbidas allí, siguiendo diferentes caminos (a y b), en el transcurso de su corto tiempo de vida medio (dada su inestabilidad), después del cual, los pares que no logren reaccionar, seguirán un proceso de recombinación acompañado de disipación de energía en forma de calor, lo cual puede ocurrir tanto en la superficie como en el seno de la partícula (c y d). La fuerza impulsora del proceso de transferencia electrónica en la interfaz, es la diferencia de energía entre los niveles del semiconductor y el potencial redox de las especies adsorbidas

Es importante señalar que la recombinación es perjudicial para la eficiencia del proceso de fotocatalisis, dado que reduce el número de electrones y huecos que pueden ser transferidos a las especies adsorbidas en la superficie del semiconductor.

La captura de un electrón por parte de una especie A genera un anión radical  $A^-$ , mientras que la captura de un hueco por parte de una especie D genera un catión radical  $D^{\circ+}$ . Estos iones radicales son muy reactivos y pueden reaccionar entre ellos o con otros adsorbidos, e incluso pueden difundirse desde la superficie del semiconductor hacia el interior de la solución y participar en la reacción química en el seno de la fase acuosa.

En la aplicación del método al tratamiento de aguas, los huecos fotogenerados pueden oxidar al contaminante por contacto directo de este con la superficie del catalizador, o pueden reaccionar primero con especies como el agua y el radical  $OH^-$  dando lugar a la formación del radical  $OH^\bullet$ , que

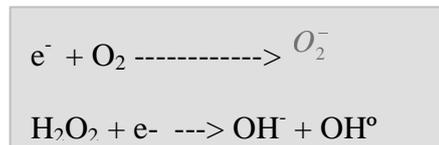


posteriormente oxidará al contaminante (Ecuación 3)

Ecuación 3. Formación del Radical Hidroxilo.

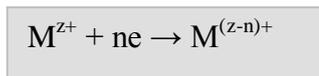
Al mismo tiempo, los electrones generados reaccionan con algún agente oxidante, generalmente el oxígeno dado que el proceso fotocatalítico se lleva normalmente a cabo en ambientes aerobios, aunque se pueden agregar

otras especies como el peróxido para favorecer esta reacción y con esto, la eficiencia global del proceso (Ecuación 4)



Ecuación 4. Reacción del Catalizador con el Agente Oxidante.

Si las aguas contienen iones, tales como los metálicos nobles o pesados, los electrones pueden reducirlos a un estado de oxidación más bajo, e incluso precipitarlos como metales sobre el semiconductor (Ecuación 5):



Ecuación 5. Reducción de Iones Metálicos.

Como puede deducirse, dado que el proceso completo implica por lo menos una reacción de oxidación y una de reducción, es necesario la presencia de ambos tipos de especies: oxidante y reductora.

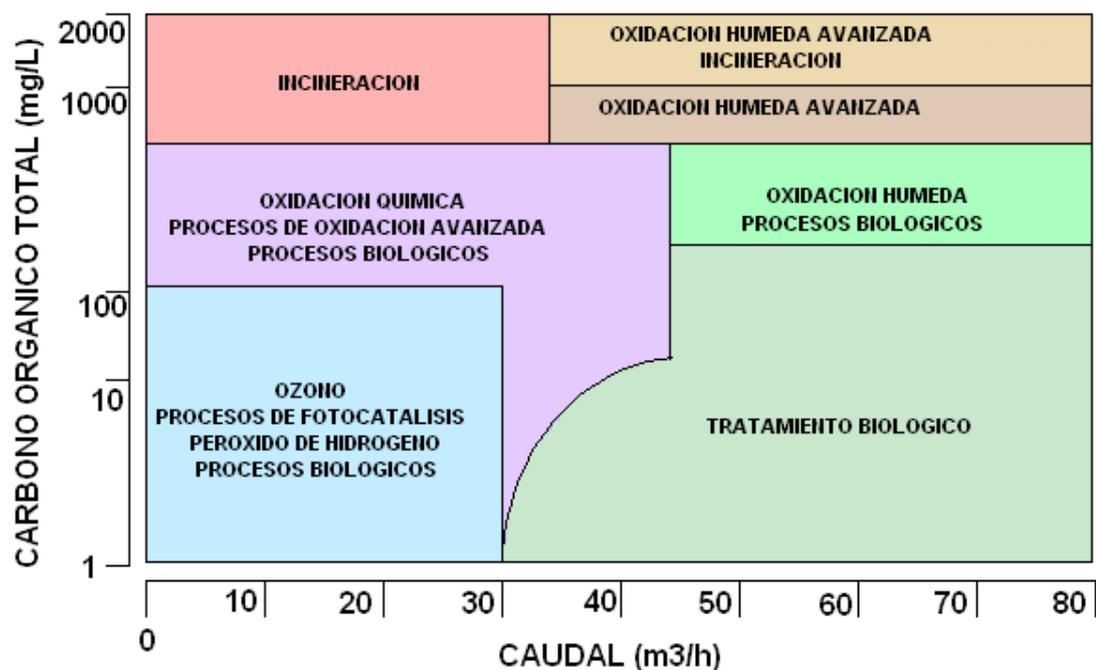
Entre los materiales utilizados como catalizadores, se encuentran:  $TiO_2$ ,  $ZnO$ ,  $CdS$ , óxidos de hierro,  $WO_3$ ,  $ZnS$ , entre otros, los cuales son económicamente asequibles, fácilmente detectables en la naturaleza, y pueden excitarse con luz de no muy alta energía, absorbiendo parte de la radiación del espectro solar que incide sobre la superficie terrestre ( $\lambda > 310$  nm).

Aunque cada aplicación de fotocátalisis debe tratarse como un caso particular, en general, las situaciones para las cuales la técnica tiene mayores posibilidades de aprovechamiento presentan las siguientes características:

1. *Concentración máxima orgánica:* Los procesos de fotodegradación son razonablemente eficientes cuando la concentración de los contaminantes es baja o media, hasta unos pocos cientos de ppm de orgánicos. Si bien el límite varía con la naturaleza de los contaminantes, la fotocátalisis no es normalmente una opción conveniente si las concentraciones superan el valor de 1 g/l (a menos que se recurra a una etapa previa de dilución).
2. *Contaminantes no biodegradables:* Este método es una buena alternativa para tratar este tipo de contaminantes ya que los tratamientos biológicos, aún siendo más económicos, no pueden trabajarse en estos casos.
3. *Contaminantes peligrosos presentes en mezclas de orgánicos complejos:* Cuando se trabaja con mezclas complejas, las ventajas comparativas del método aumentan al aprovechar su característica de escasa o nula selectividad.
4. *Contaminantes cuyo tratamiento convencional es difícil:* El método representa una alternativa novedosa en casos donde los métodos convencionales son complejos y/o costosos.

En la siguiente figura podemos observar que los procesos fotocatalíticos se adaptan a condiciones de caudales menores a 30 m<sup>3</sup>/h ya valores de COT menores a 100 mg/L.

**Figura 12. Diagrama de las distintas tecnologías existentes para el tratamiento de agua, en función de la carga orgánica existente y del volumen a tratar.**



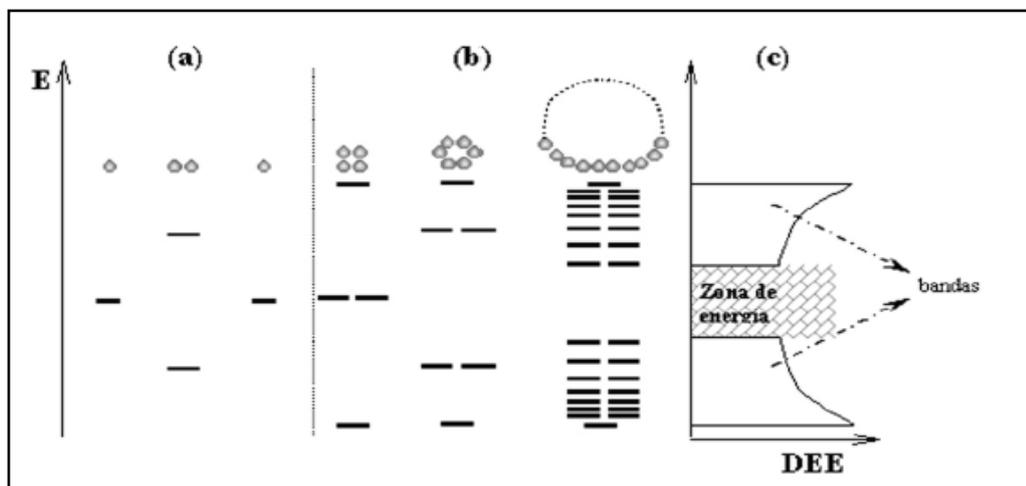
Fuente: Julián Blanco, Sixto Malato, Claudio A.

### 3.4.1 Semiconductores

El proceso de fotocátalisis se basa en la transferencia de carga a través de la interfaz formada entre un semiconductor iluminado y una solución acuosa. En esta interfaz hay una densidad local de carga diferente a la del seno de ambas fases, produciéndose un campo eléctrico que actúa

como fuerza impulsora en el proceso de transferencia de carga. La interfaz semiconductor – solución acuosa tiene como rasgo distintivo que la redistribución de carga se extiende significativamente tanto del lado de la solución como del lado del semiconductor.

**Figura 13. Niveles electrónicos resultante del enlace entre átomos idénticos.**



(a) Orbitales moleculares resultantes del solapamiento de dos átomos, cada uno con un único orbital atómico; (b) cadenas de 4, 6 y N átomos. (c) es la densidad de estados de energía (DEE) para una cadena infinita de átomos.

Los semiconductores de interés en fotocatalisis son sólidos (generalmente óxidos) donde los átomos constituyen una red tridimensional infinita. El solapamiento de los orbitales atómicos va mas allá de los primeros vecinos, extendiéndose por toda la red. Resulta entonces una configuración de

estados deslocalizados muy próximos entre sí, que forman bandas de estados electrónicos permitidos. La construcción de la configuración electrónica se esquematiza en la **Figura 7**. Entre las bandas, hay intervalos de energía en los cuales no hay estados electrónicos “permitidos”; cada uno de estos intervalos es una “banda de energía prohibida” o **gap**. A los fines de la fotocatalisis y de la mayoría de las propiedades químicas y físicas de los sólidos, las bandas que limitan el **gap** de interés son la banda de valencia (BV), de menor energía, y la banda de conducción (BC), de mayor energía. Ambas bandas surgen del solapamiento de los niveles atómicos de los electrones de valencia y, según su grado de ocupación, contienen los niveles ocupados más altos y los niveles desocupados más bajos (en inglés, highest occupied molecular orbital, HOMO, y lowest unoccupied molecular orbital, LUMO).

El semiconductor más utilizado para aplicaciones ambientales, entre otras aplicaciones, es el Dióxido de Titanio  $\text{TiO}_2$ , dado que es biológica y químicamente inerte, además de económico y resistente a la corrosión química y la fotocorrosión, oxidando generalmente tanto los compuestos tóxicos iniciales como los intermediarios generados en las reacciones de oxidación y no agota su fotoactividad tras una única utilización. Por esto último, idealmente, también puede ser reutilizado durante un largo periodo de tiempo.

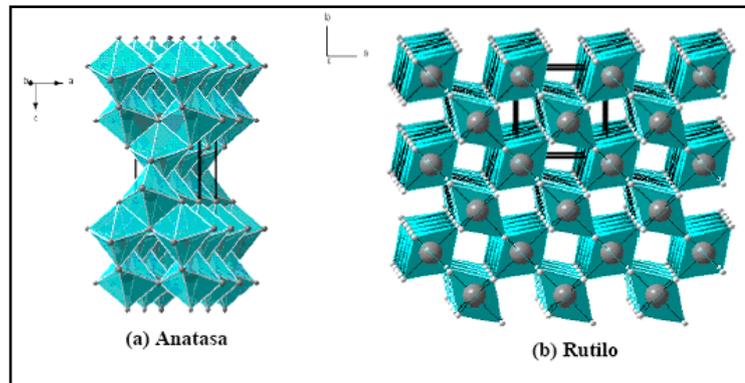
### 3.4.2 Dióxido de Titanio (TiO<sub>2</sub>)

Dado que muchos compuestos orgánicos tienen el potencial de oxidación por encima de la banda de valencia del TiO<sub>2</sub>, pueden ser fácilmente oxidados por este compuesto, mientras que son pocos los compuestos que poseen un par redox con un potencial de reducción por debajo de la banda de conducción del TiO<sub>2</sub> y por lo tanto que puedan reducirse.

El TiO<sub>2</sub> se encuentra en la naturaleza en varias formas: el rutilo (estructura tetragonal) que es la más estable termodinámicamente, la anatasa (estructura octahédrica) que es la que presenta mayor actividad fotocatalítica y es utilizada de manera habitual para aplicaciones de descontaminación ambiental y la brookita (estructura ortorómbica).

El dióxido de titanio rutilo y el dióxido de titanio anatasa se producen industrialmente en grandes cantidades y se utilizan como pigmentos y catalizadores y en la producción de materiales cerámicos.

**Figura 14. Estructura cristalina de la anatasa (a) y del rutilo (b).**



El dióxido de titanio tiene gran importancia como pigmento blanco por sus propiedades de dispersión, su estabilidad química y su no toxicidad. El dióxido de titanio es el pigmento inorgánico más importante en términos de producción mundial.

#### - **Propiedades**

El dióxido de titanio es un semiconductor sensible a la luz pero sólo es activo en la región ultravioleta cercana (UVA) debido a que su salto de banda (transición indirecta) se encuentra entre 3,02 – 3,23 eV, según si su estructura cristalina es, respectivamente, rutilo o anatasa. Por éste motivo, el  $\text{TiO}_2$  sólo puede aprovechar alrededor de un 5% de la intensidad del espectro de la luz solar, que es la parte que corresponde a la región ultravioleta que se encuentra por debajo de  $\lambda = 400 \text{ nm}$ .

El dióxido de titanio es anfotérico, muy estable químicamente y no es atacado por la mayoría de los agentes orgánicos e inorgánicos. Se disuelve en ácido sulfúrico concentrado y en ácido hidrofúrico.

#### - **Aplicaciones**

Sus aplicaciones abarcan todas las industrias como:

El dióxido de titanio se utiliza universalmente en la industria de las pinturas y recubrimientos y ha sustituido a cualquier otro pigmento blanco en el mercado.

1. El dióxido de titanio se utiliza también para darle color a artículos de plástico como juguetes, electrónicos, automóviles, muebles, empaque, etc. El pigmento de dióxido de titanio absorbe parte de la radiación UV protegiendo a su contenido.
2. El dióxido de titanio también tiene aplicaciones en las fibras sintéticas, eliminando la apariencia grasosa causada por las propiedades translúcidas de la resina. Los pigmentos de anatasa son preferidos en esta aplicación.
3. Para el papel se utilizan fillers como el caolín, tiza o talco. Los pigmentos de dióxido de titanio se utilizan para el papel muy blanco que también debe ser opaco cuando es muy delgado. También se aplica como recubrimiento para hacer papel artístico.

4. Otras áreas de aplicación del dióxido de titanio incluyen la industria cerámica, la manufactura de cemento blanco y el coloreado de hule o linóleo,
5. Los pigmentos de dióxido de titanio también se utilizan como absorbentes de rayos UV en productos para el bronceado, jabones, polvos cosméticos, cremas, pasta de dientes, papel de cigarro y la industria cosmética. Sus propiedades más importantes son: su no toxicidad, su compatibilidad con las mucosas y la piel, y su buena dispersabilidad en soluciones orgánicas.

#### **3.4.3 Métodos de seguimiento del proceso**

Para llegar a la mineralización completa de un determinado contaminante, pueden aparecer y desaparecer previamente toda una serie de compuestos intermediarios de la reacción. Por lo tanto, para poder verificar la viabilidad del proceso fotocatalítico como técnica para la degradación de contaminantes, es importante demostrar la eliminación no sólo de los compuestos iniciales, sino también de todos los compuestos intermediarios que se generen, hasta la completa desaparición de todos los compuestos no deseables.

Un ejemplo es que la foto descomposición del insecticida pirimetanil mediante  $\text{TiO}_2$  crea 16 compuestos, lo que demuestra su complejidad.

Las herramientas principales de seguimiento del proceso son la demanda química de oxígeno (DBO) el cual sigue la evolución de compuestos biodegradables, la demanda bioquímica de oxígeno (DQO) que genera una estimación de susceptibilidad a la oxidación química de la materia orgánica a lo largo del tratamiento y el carbono orgánico total (COT) que permite conocer el grado de biodegradabilidad al avanzar la fotocatalisis

- **Demanda química de Oxígeno (DQO)**

Es la medida del oxígeno necesario para oxidar la materia orgánica e inorgánica susceptible de oxidación contenida en una muestra. Los valores de este parámetro están asociados al grado de avance de la oxidación de los contaminantes, por lo que la determinación seriada de DQO es una herramienta útil de seguimiento del proceso.

- **Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)**

Este parámetro se obtiene mediante una prueba empírica estándar, y mide la cantidad de oxígeno utilizado para la biodegradación de materia orgánica e inorgánica contenida en una muestra. El oxígeno se consume también en la oxidación de materia inorgánica como sulfuros o sales ferrosas. La prueba usa un tiempo fijo de incubación; la medición de oxígeno consumido en un período de 5 días (DBO<sub>5</sub>) es la más comúnmente empleada. Puede medirse también el oxígeno consumido hasta que no haya

modificación alguna en la concentración de éste, lo que puede tomar entre 30 y 90 días de incubación (DBO última). El procedimiento es sencillo: se determina el oxígeno disuelto al inicio y al final del tiempo de incubación preestablecido. La DBO es simplemente la diferencia entre la concentración inicial y final de oxígeno disuelto.

$$\text{DBO} = \text{Concentración inicial de O}_2 \text{ disuelto} - \text{concentración final de O}_2$$

disuelto

#### - **Carbono orgánico total (COT)**

El carbono orgánico total mide la cantidad de dióxido de carbono producida en la mineralización total de una muestra. A diferencia del DQO, su valor es independiente del estado de oxidación de los compuestos presentes en el sistema. Por ejemplo, iguales concentraciones de CH<sub>4</sub>, CH<sub>3</sub>OH o CH<sub>2</sub>O dan idénticos valores de COT. Esta medición proporciona la cantidad de carbón total por lo que el carbón inorgánico debe ser determinado de manera separada y el COT obtenido por diferencia. El seguimiento del proceso mediante esta herramienta es importante porque valores de COT cercanos a cero son los únicos que garantizan que no se acumulen contaminantes recalcitrantes, intermediarios de mayor persistencia, capacidad de acumulación o toxicidad que los iniciales. La determinación del COT es un índice del grado de avance de la oxidación, y una herramienta indispensable para el seguimiento del proceso fotocatalítico.

#### - **Determinación de productos inorgánicos**

El seguimiento de la fotocatalisis puede ser indirecto, midiendo el pH. o las concentraciones de iones inorgánicos (cloruros, nitratos, nitritos, amonios y sulfatos) que resultan de la oxidación o eliminación de los heteroátomos presentes en las estructuras químicas de los contaminantes degradados como resultado del proceso oxidativo. La determinación de la variación de concentraciones de iones respecto al tiempo resulta simple y barata.

#### - **Toxicidad**

Es una prueba clave de eficiencia y es vital en el acoplamiento con tratamientos biológicos. En agua por ejemplo se usan pruebas de potabilidad de bacterias, peces o algas.

#### **3.4.4 Parámetros que influyen en el proceso**

Los procesos fotocatalíticos se ven especialmente influenciado por:

1. pH: Se obtiene mayor eficiencia en medios ácidos ( $3 \leq \text{pH} \leq 5$ ), además afecta propiedades superficiales del catalizador y químicas del compuesto a degradar lo que altera la velocidad de degradación.
2. Características del catalizador: Se usan polvos cuyas partículas son radios micrométricos. Ejemplo:  $\text{TiO}_2$  (producto comercial P25)
3. Temperatura: Las reacciones fotocatalíticas no se modifican apreciablemente con variaciones de temperatura

### 3.4.5 Tecnología de los colectores solares

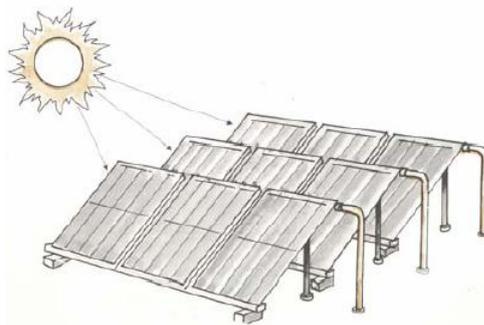
Tradicionalmente se han clasificado los diferentes sistemas de aprovechamiento de la radiación solar, o colectores solares, dependiendo del grado de concentración alcanzado con ellos. La *relación de concentración* (RC) puede ser definida como la relación entre el área de superficie de captación de radiación (o área de apertura) y el área del reactor (área del componente que recibe la radiación solar concentrada, esté completamente iluminada o no). Esta RC influye directamente en la temperatura de trabajo del sistema y, de acuerdo con este criterio, los colectores se clasifican en tres tipos:

1. Sin concentración o baja temperatura, hasta 150° C.
2. Concentración media o media temperatura, desde 150° C hasta 400° C.
3. Alta concentración o temperatura, por encima de 400° C.

Esta tradicional clasificación considera únicamente el rendimiento térmico de los colectores solares. Sin embargo, en aplicaciones fotocatalíticas, el factor térmico es irrelevante (incluso un aumento de temperatura puede desfavorecer la adsorción de los reactivos en el catalizador ya que es un proceso exotérmico espontáneo) y lo realmente importante es la cantidad de radiación de longitud de onda deseada que se recoge.

Los colectores solares sin concentración (**figura 15**) se caracterizan por ser estáticos y no poseer ningún tipo de seguimiento solar. Usualmente consisten en una placa plana, en muchos casos situada hacia el sol mediante una inclinación determinada, dependiente del emplazamiento geográfico dónde se sitúe. Sus principales ventajas son su simplicidad y su bajo coste, ya que la radiación solar que captan es suficiente para muchas aplicaciones. Un ejemplo es la tecnología doméstica de agua caliente.

**Figura 15. Colectores solares sin concentración para aplicaciones domesticas de agua caliente.**



*Fuente: Colección Documentos CIEMAT*

Los colectores solares de concentración media concentran la luz ente 5 y 50 veces. En este grupo se encuentran los colectores cilindro-parabólicos (PTC) y los colectores holográficos. Los primeros tienen una superficie reflectante de forma parabólica (**figura 16**) que concentran la radiación sobre un receptor tubular situado en el foco de la parábola. Los colectores holográficos consisten en superficies refractantes (parecidas a lentes convexas) que

desvían la radiación, al mismo tiempo que la concentran en el foco (**figura 17**).



**Figura 16.** Colector solar de media concentración instalado en la plataforma de Almería



**Figura 17.** Colector solar de alta concentración instalado en la PSA

Fuente: Manuel Ignacio Maldonado

Los colectores de alta concentración suelen tener un foco puntual en vez de lineal y se basan en un paraboloide. Concentran la radiación solar entre 100 y 1000 veces y requieren elementos ópticos de precisión.

Los colectores solares utilizados para tratamiento de aguas contaminadas mediante fotocátalisis corresponden a las dos primeras categorías.

## **Colectores solares para la descontaminación del agua**

### **A. Parámetros limitantes de diseño**

#### **- Disposición del catalizador**

En el caso de procesos de fotocátalisis heterogénea los principales factores que se deben optimizar, en estos reactores, son el aprovechamiento

energético de la radiación y la disposición del catalizador. En cuanto al rendimiento energético, los diseños que sitúan la fuente de energía (habitualmente una lámpara UV) en el centro de un reactor anular, son los que dan mejores resultados, y de hecho prototipos comerciales se basan en este principio.

La disposición del catalizador dentro del reactor, así como el tipo de soporte inerte a utilizar, si no se quiere trabajar con suspensiones, es un aspecto todavía a desarrollar ya que existen múltiples propuestas y no hay una decisión sobre cuál sería más idónea. Se ha usado para ello tanto vidrio (en forma de bolas o depositando el catalizador directamente sobre la superficie del tubo por donde circula el agua), como diferentes materiales cerámicos, polímeros e incluso algunos metales. Estos soportes pueden ser en forma de malla, reticulares, etc. Las ventajas de trabajar con el catalizador inmovilizado en vez de en suspensión son claras: se evita la separación posterior al tratamiento, su recuperación en unas condiciones óptimas que permitan su reutilización y la resuspensión del sólido como paso previo del proceso. Las desventajas de la utilización de soportes dentro del reactor serían:

1. La disminución de superficie de  $\text{TiO}_2$  activada, en un determinado volumen de reactor, en comparación con el mismo volumen con catalizador en suspensión.

2. Limitaciones en la transferencia de materia a bajos caudales.
3. Dificultades para conseguir una correcta iluminación. Esto es particularmente problemático cuando se pretende trabajar con radiación solar.
4. Aumento de la pérdida de carga del reactor. La consecuencia es un incremento de los costes energéticos, y del capital, ya que se deben instalar sistemas de bombeo de mayor potencia.

#### - **Superficie Reflectante**

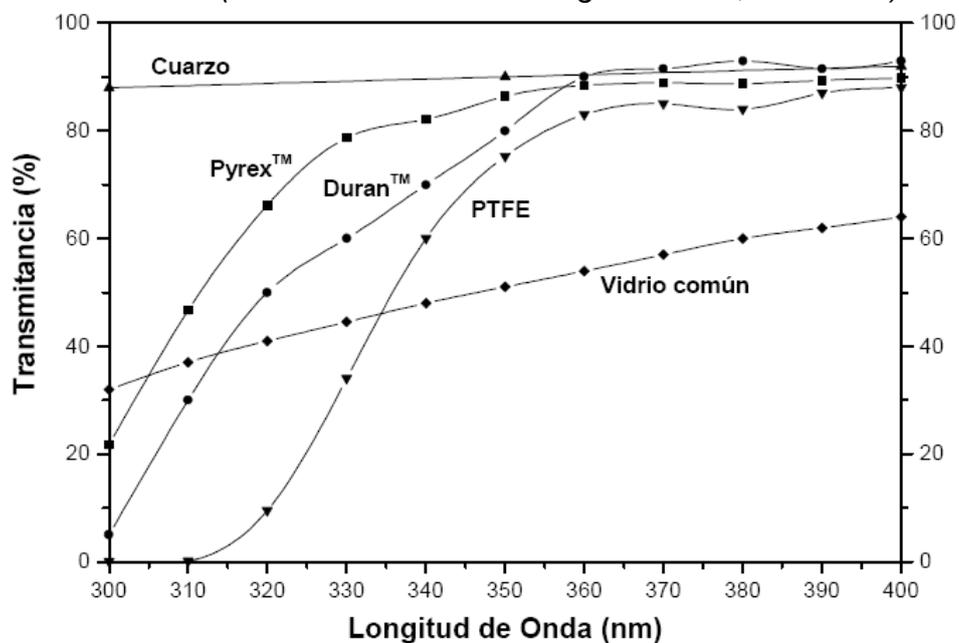
Esta superficie tiene por objeto dirigir y reflejar la luz útil hacia el reactor para conseguir un máximo aprovechamiento de esta y evitar pérdidas innecesarias, debiendo estar compuesta por un material que sea altamente efectivo para la reflexión de la radiación ultravioleta. Los espejos tradicionales basados en plata tienen una elevada reflectividad (radiación reflejada/radiación incidente) en el visible, pero no así en el intervalo de longitudes de onda entre 300 y 400 nm, siendo la mejor opción en este caso la utilización de espejos a base de aluminio

#### • **Fotoreactor**

Con respecto a los materiales válidos como reactores para procesos de fotocatalisis, la necesidad de tener una elevada transmisividad en el UV y una elevada resistencia a la degradación hace que las posibilidades de

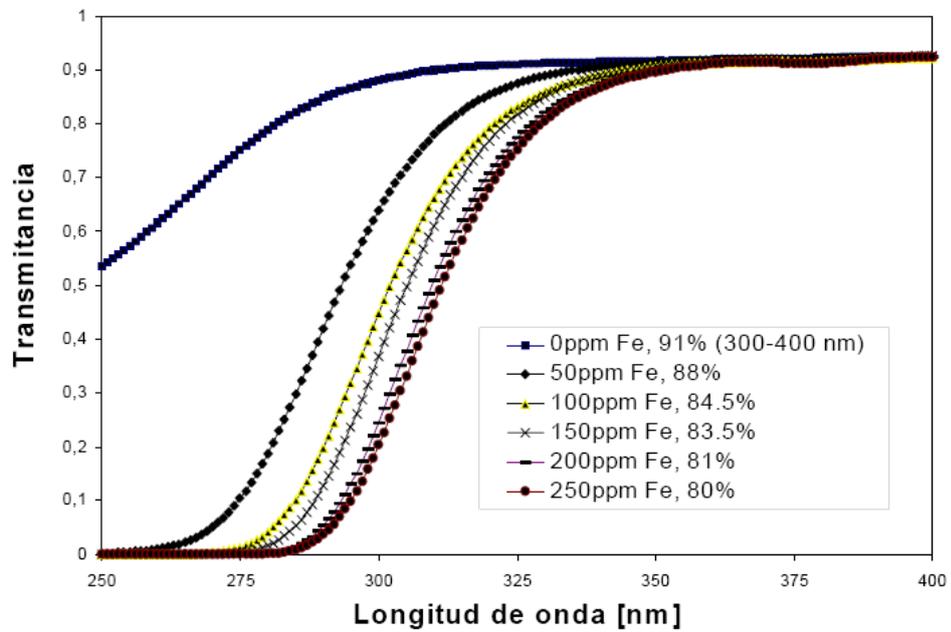
elección sean limitadas. Entre las posibles alternativas se encuentran los fluoropolímeros (inertes químicamente, con buena transmisividad y resistencia y buenos difusores de luz UV), materiales acrílicos y varios tipos de vidrio (necesariamente con bajo contenido en hierro ya que este absorbe UV).

**Figura 18.** Transmitancia de diferentes materiales válidos para reactores fotocatalíticos. (Cortesía de Schott-Rohrglas GmbH, Alemania).



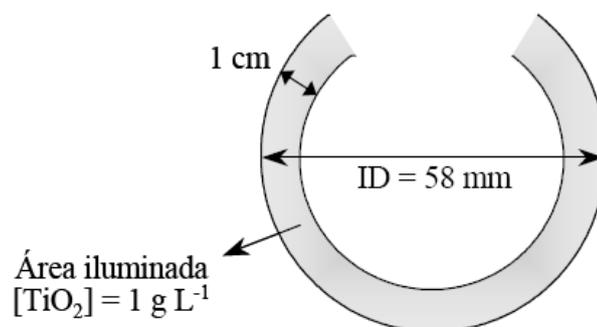
El vidrio es otro material alternativo para fotorreactores. Como puede apreciarse en la figura 12, el vidrio común no es adecuado ya que absorbe parte de la luz UV que llega al fotorreactor, debido al contenido en hierro. Por ello solo resultan adecuados aquellos vidrios que poseen un bajo contenido en hierro, como es el caso del borosilicato (**Figura 19**).

**Figura 19.** Influencia de la concentración de hierro en la transmitancia espectral de un fotoreactor tubular de vidrio (cortesía de Schott-Rohrglas GmbH, Alemania).



Los valores prácticos para fotorreactores tubulares van a estar normalmente entre 25 y 50 mm; diámetros menores van a suponer unas elevadas pérdidas de carga y valores mayores un excesivo volumen sin iluminar, con la consiguiente reducción de la eficiencia general del proceso.

**Figura 20.** Zona de penetración de luz solar (sin concentrar) en un reactor tubular con una concentración de  $TiO_2$  de  $1\text{ g L}^{-1}$  (catalizador en suspensión).



## Reactores Cilindro-Parabólico Compuestos (CPCs)

Los colectores solares CPCs son una interesante mezcla entre los PTCs y los sistemas sin concentración y suponen una de las mejores opciones para las aplicaciones fotocatalíticas utilizando la luz solar. Antes de introducir los colectores tipo CPC, y debido a sus especiales características, resulta interesante exponer las principales ventajas e inconvenientes de los colectores PTCs y colectores sin concentración, lo que se realiza en la tabla 15.

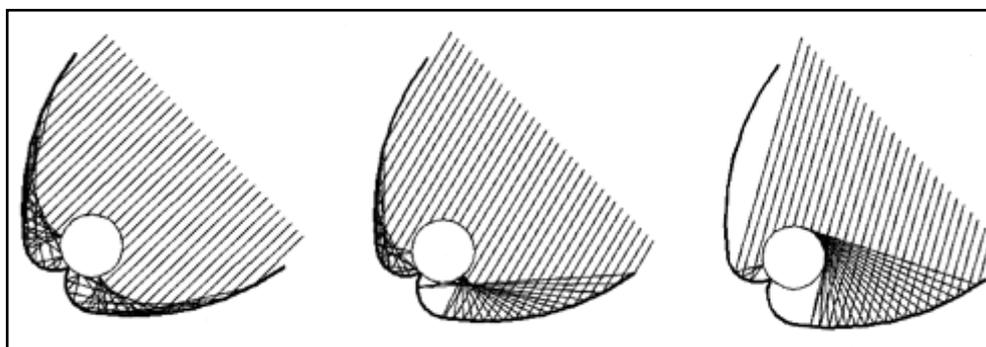
**Tabla 15. Comparación cualitativa entre reactores PTC y reactores sin concentración para aplicaciones fotocatalíticas, usando TiO<sub>2</sub> y luz solar.**

Reactores Cilindro-Parabólicos		Reactores sin concentración	
Ventajas	Desventajas	Ventajas	Desventajas
Flujo turbulento (favorece la transferencia de materia). Ausencia de vaporización de compuestos volátiles.	Sólo aprovechan la radiación directa. Alto coste. Baja eficiencia óptica. Baja eficiencia cuántica. Sobrecalentamiento del agua a tratar.	Aprovechamiento de la radiación directa y difusa. No se produce sobrecalentamiento del agua a tratar. Bajo coste. Alta eficiencia óptica y cuántica.	Flujo laminar (baja transferencia de materia). Vaporización de compuestos volátiles.

Los reactores tipo CPC son unos sistemas estáticos con una superficie reflectante enfocada hacia un fotorreactor cilíndrico siguiendo una involuta (Figura 21). Estos dispositivos proporcionan una de las mejores ópticas para

los sistemas de baja concentración, pudiendo además ser diseñados con una  $RC = 1$ , con lo que se consiguen simultáneamente las ventajas de los PTCs y de los reactores sin concentración.

**Figura 21.** Radiación solar reflejada en un colector CPC. Toda la luz que llega a la apertura del colector será reflejada sobre el reactor si el ángulo de incidencia es menor del ángulo de aceptación del CPC



Gracias al diseño de su superficie reflectante, casi toda la radiación que llega al área de apertura del colector (no sólo la directa, también la difusa) puede ser recogida y estar disponible para el proceso fotocatalítico en el reactor. La radiación UV reflejada por el CPC es además distribuida alrededor de la parte trasera del tubo fotorreactor y como resultado la mayoría de la circunferencia del tubo fotorreactor se encuentra iluminada. Además, como en un PTC, el agua es más fácilmente conducida y distribuida que en los diseños de los colectores sin concentración. A diferencia de las instalaciones de PTCs, no se necesitan equipos de refrigeración (que aumentan el coste de la instalación) porque no existe un sobrecalentamiento del agua. *Blanco, Malato, Sánchez y Cardona*

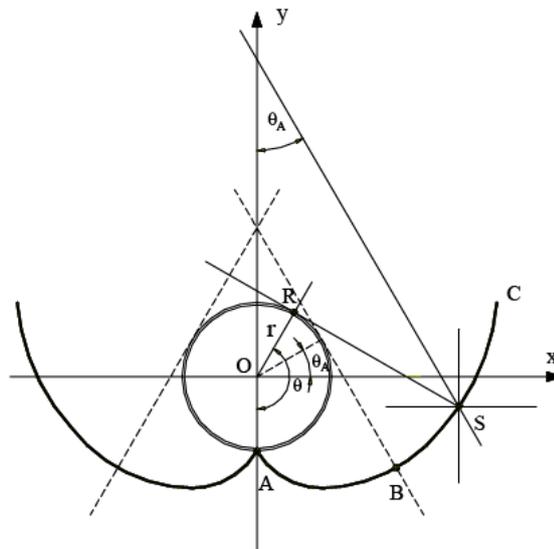
Algunas iniciativas han tenido como objeto el desarrollo de este tipo de reactores, sin concentración solar, para aplicaciones fotocatalíticas. En estos casos en los que no hay concentración solar ( $RC = 1$ ) ningún punto del tubo recibe mucho más de 1 sol de radiación UV, debido a la relación entre la superficie del tubo fotorreactor y del colector. Como resultado, la radiación UV incidente en el reactor es muy similar a la de los fotorreactores basados en colectores de placa plana. La eficiencia máxima de captación anual, para colectores estáticos sin seguimiento, se consigue con un ángulo de inclinación del colector sobre la horizontal semejante a la latitud del lugar de emplazamiento. Es importante resaltar también que en estos reactores sin concentración se tiene una relación lineal entre la velocidad de la reacción y la intensidad de irradiación incidente. Todos estos factores contribuyen a un excelente comportamiento de los colectores CPCs en las aplicaciones fotocatalíticas solares.

**Figura 22.** *Detalle de un colector CPC donde se observa la configuración de los tubos reactores.*



La ecuación explícita para un reflector CPC con un reactor tubular se indica en la **Figura 23**. Un punto reflector genérico S puede describirse en términos de dos parámetros: el ángulo  $\theta$ , sostenido por líneas originadas en O (centro del tubo reactor) y los puntos A y R, y la distancia  $\rho$ , dado por segmento RS, que es tangente al tubo reactor en el punto R, tal que  $\theta = \overline{OA} \triangleleft \overline{OR}$  y  $\rho = \overline{RS}$

**Figura 23.** Construcción de un reactor Cilindro-Parabólico Compuesto (CPC).



Un parámetro importante para la definición de CPC es el ángulo de aceptación  $2\theta_a$ , que es el rango angular dentro del cual todos los rayos incidentes en el plano de apertura del colector van, bien a incidir directamente sobre el reactor, o bien a ser reflejados sobre el, sin necesidad de mover el conjunto.

La solución a la curva del CPC viene dada por dos porciones separadas, una involuta ordinaria para la curva AB y una porción exterior para la curva que va desde B a C:

$\rho = r\theta$  parte AB de la curva

$$\rho = \left[ \frac{\theta + \theta_a + \frac{\pi}{2} - \cos(\theta - \theta_a)}{1 + \text{Sen}(\theta - \theta_a)} \right] \quad (*) \text{ para } \theta_a + \frac{\pi}{2} \leq |\theta| \leq \frac{3\pi}{2} - \theta_a \text{ parte BC}$$

El valor de la Razón de Concentración (RC) del CPC está dado por:

$$RC = \frac{1}{\text{sen} \theta_a}$$

En el caso especial de  $\theta_a = 90^\circ$ , se tiene una  $RC = 1$  y los puntos B y C son coincidentes. En este caso  $2\theta_a = 180^\circ$ , lo que quiere decir que cualquier fotón que llegue al plano de apertura del colector, sea cual sea su dirección, va a poder ser aprovechado en el reactor. Este hecho es especialmente importante ya que permite aprovechar la radiación solar UV difusa. Además, este amplio ángulo de aceptación permite absorber posibles errores de alineación y reflexión del conjunto superficie reflectora-tubo reactor, lo que también es una virtud importante para permitir un bajo coste del fotorreactor.

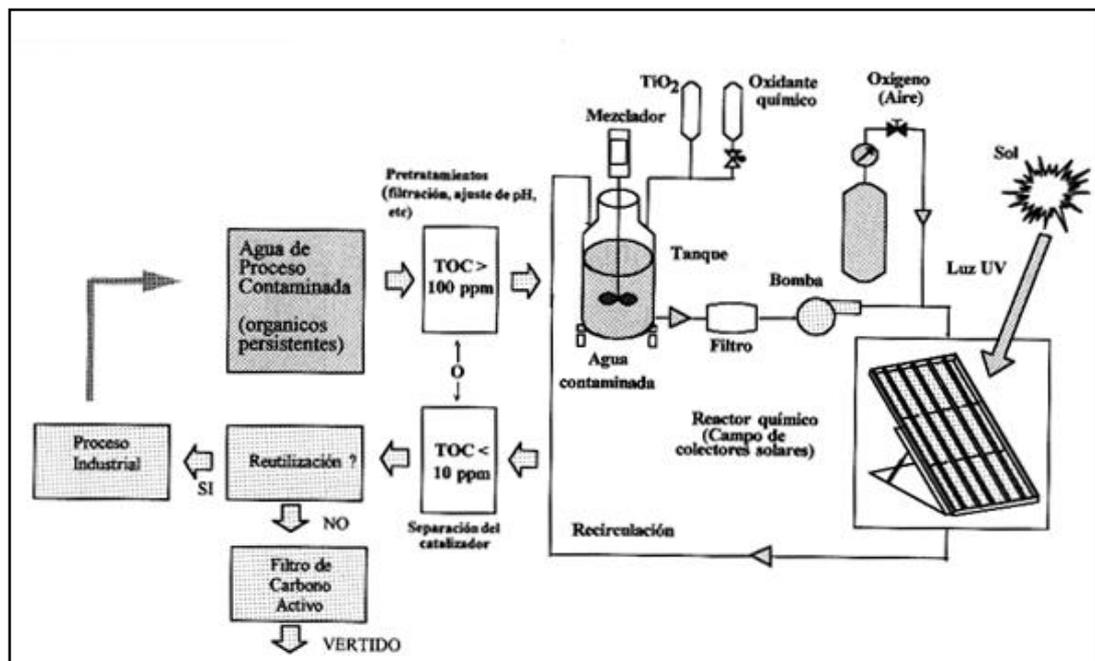
### 3.4.6 Nivel de desarrollo de la tecnología de detoxificación solar

La tecnología para llevar a cabo el proceso es se basa en colectores térmicos modificados para optimizar la eficiencia óptica en la captación de la radiación solar UV. De acuerdo con la experiencia acumulada durante los

últimos 7 años en la PSA, los sistemas más adecuados son aquellos basados en colectores estáticos de baja concentración solar, como es el caso de los colectores tipo cilindro-parabólico compuestos (CPC's).

Estos colectores, con un semiángulo de aceptación adecuado ( $60^{\circ}$ - $70^{\circ}$ ), pueden aprovechar hasta el 80% de la radiación directa disponible y casi toda la radiación difusa (**figura 24**). Este último hecho es muy importante, ya que permite que la detoxificación solar pueda alcanzar una eficiencia razonable en presencia de nubes. La luz UV solar no es absorbida por el vapor de agua (únicamente es desviada), por lo que un fotón UV alcanza la superficie terrestre como componente difusa aunque haya nubes.

**Figura 24.** Captación de radiación solar en un colector CPC en función de la posición solar.



Fuente: Colección Documentos CIEMAT

La reflexión de la radiación solar debe producirse sobre una superficie de alta reflectividad en el ultravioleta solar (300 a 400 nm.). El material que resulta más idóneo para este tipo de aplicaciones es el aluminio. El tubo absorbedor debe estar fabricado con vidrio de bajo contenido en hierro para que la transmisividad UV sea máxima. Un esquema conceptual de lo que podría ser un sistema de detoxificación solar es el que aparece reflejado en la figura 10.

### **Eficiencias de degradación obtenidas por el sistema experimental de la Planta Solar de Almería PSA..**

En 1990 se instaló en la PSA una planta piloto para la realización de ensayos de degradación solar fotocatalítica en condiciones pre-industriales, que ha venido ampliándose y modificándose de forma continua desde entonces. En el tiempo transcurrido han acumulado una gran experiencia sobre el proceso y han degradado con éxito tanto sustancias orgánicas puras como aguas residuales industriales con mezclas complejas de contaminantes y con alto contenido en carbono orgánico.

Una disminución del COT a lo largo del proceso garantiza la completa mineralización, no sólo de los contaminantes iniciales, sino también de todos los compuestos intermedios generados. En las tablas (**Tabla 16** y **17**) se reflejan los parámetros de degradación más significativos obtenidos en la instalación de colectores CPCs (8.9 m<sup>2</sup> de colectores con una inclinación de

37° sobre la horizontal hacia el sur) de la PSA, para el caso de 10 contaminantes diferentes.

**Tabla 16.** Degradación solar fotocatalítica de contaminantes en el sistema CPC de la PSA (250 L de volumen total tratado, 200 mg/L de TiO<sub>2</sub>, radiación solar UV en torno a los 30 W/m<sup>2</sup> en todos los casos). **COT<sub>0</sub>**: concentración inicial de contaminante; **r<sub>0,TOC</sub>**: velocidad inicial de degradación del COT; **r'<sub>0,COT</sub>**: velocidad inicial de degradación del COT por m<sup>2</sup> de campo solar; **t<sub>95%,COT</sub>**: tiempo necesario para degradar el 95% del carbono orgánico total inicial existente; (\*): valores no determinados por ser necesarios ensayos muy prolongados; (\*\*): COT<sub>0</sub> de formulaciones comerciales.

<b>Tabla sólo TiO<sub>2</sub></b>	<b>COT<sub>0</sub></b>	<b>r<sub>0,COT</sub></b>	<b>r'<sub>0,COT</sub></b>	<b>t<sub>95%,COT</sub></b>
	<b>(mg/L)</b>	<b>(mg/L)</b>	<b>(mg/L)</b>	<b>(min)</b>
<i>Fitosanitarios:</i>				
Imidacloprid**	132	0.25	6.9	617
Acrinatrín**	40	0.25	6.9	698
Oxamilo**	90	0.08	2.7	(*)
Ac.	13	0.16	4.4	70
2,4.diclorofenoxiacético				
<i>Fenoles:</i>				
Fenol	38	0.199	5.2	(*)
4-clorofenol	72	0.12	3.3	600
2,4 diclorofenol	88	0.09	2.6	450
<i>Otros contaminantes:</i>				
Benzofurano	8	0.14	3.8	60
Ac. dicloroacético	120	0.51	14.0	224
Alpechín	250	(*)	(*)	(*)

Las experiencias realizadas incluyeron la adición de reactivos adicionales, como es el caso de agentes oxidantes. Este tipo de sustancias aceleran el proceso de degradación al actuar como captadores de electrones y, por tanto, inhibiendo el proceso de recombinación de los pares electrón/hueco generados al iluminarse la superficie del  $\text{TiO}_2$ . La eficiencia máxima se ha obtenido con persulfato ( $\text{S}_2\text{O}_8^{2-}$ ). En la **tabla 17** se recogen los resultados obtenidos al utilizar este oxidante con las mismas sustancias y condiciones de la **tabla 18**. La adición de persulfato permite incrementar de forma importante la eficacia global del proceso, reduciendo por tanto el coste del mismo. El persulfato se descompone (se genera  $\text{SO}_4^{2-}$ ) durante el proceso de oxidación, por lo que es necesario dotar a la planta de un sistema de dosificación (**figura 9**).

**Tabla 17.** Degradación solar fotocatalítica de contaminantes con la adición de Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>8</sub> (0.01 M). Condiciones y símbolos igual que en Tabla 1. (--): datos no disponibles.

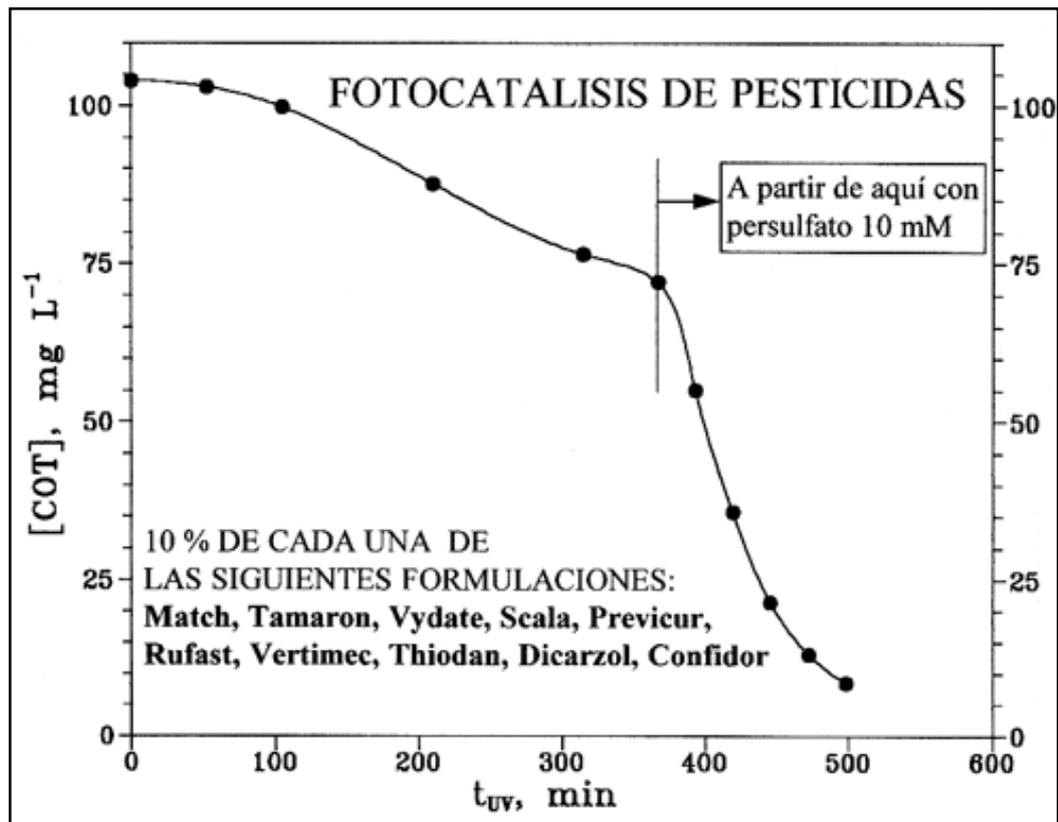
<b>Tabla solo TiO<sub>2</sub></b>	<b>COT<sub>0</sub></b>	<b>r<sub>0,COT</sub></b>	<b>r'<sub>0,COT</sub></b>	<b>t<sub>95%,COT</sub></b>
	<b>(mg/L)</b>	<b>(mg/L)</b>	<b>(mg/L)</b>	<b>(min)</b>
<i>Fitosanitarios:</i>				
Imidacloprid**	132	0.75	20.6	277
Acrinatrín**	40	0.77	20.6	103
Oxamilo**	90	0.41	12.4	183
Ac.				
2,4.diclorofenoxiacético	—	—	—	—
<i>Fenoles:</i>				
Fenol	—	—	—	—
4-clorofenol	72	0.90	24.7	60
2,4 diclorofenol	88	0.4	11	120
<i>Otros contaminantes:</i>				
Benzofurano	—	—	—	—
Ac. dicloroacético	120	0.71	19.5	160
Alpechín	250	0.83	22.8	300

### **Tratamiento de plaguicidas de la agricultura intensiva almeriense**

Después de la recogida selectiva y de su traslado al centro de reciclado, el plástico debe ser lavado para poder realizar los procesos posteriores que permitan su reutilización. Este enjuague se hará con agua que, por tanto, arrastrará los restos de fitosanitario que quedaran en los envases. La instalación de detoxificación sería la encargada del tratamiento del agua de lavado de los envases una vez triturados. La mineralización de pesticidas en grandes concentraciones (decenas de mg L<sup>-1</sup>), contenidas en cantidades de agua no muy elevadas (decenas de m<sup>3</sup>) puede ser abordada mediante esta

técnica. La figura 11 muestra el proceso de degradación de una mezcla de 10 pesticidas representativos.

**Figura 25. Degradación fotocatalítica de fitosanitarios en agua con colectores CPC**



Fuente: S. Malato, J. Blanco. IV SIAGA Almería

El volumen completo de agua ha sido de unos 250 L de agua y el área de colectores utilizada de 9 m<sup>2</sup>. A partir de estos datos y de la velocidad de descomposición del COT, se puede calcular la capacidad de tratamiento de la planta.

## **Purificación fotocatalítica de aguas de enjuague de cisternas de tractor usadas para el tratamiento con pesticidas para la uva de vino**

Las normas de seguridad aplicadas a residuos generados por la agricultura en Francia, en 1997 incluyeron el tratamiento de las aguas de enjuague de cisternas de tractores usados para el control químico de plagas, y según estas normas las aguas deben ser tratadas en instalaciones específicas, lo que resulta costoso y poco práctico.

Por esto el tratamiento *on-site* de esta agua está siendo investigada, particularmente la purificación biológica y la fotocatálisis usando  $\text{TiO}_2$ .

Los ensayos se realizaron usando un panel solar fotocatalítico de 2 m de longitud y de acero corrugado, con una fina capa de  $\text{TiO}_2$  pegada al material. La inclinación del panel estuvo a  $45^\circ$  respecto a la horizontal de la máxima radiación solar promedio (latitud  $44^\circ$  N).

El método analítico usado para el control del proceso fue el COT y los resultados confirmaron (Malato et al, 2000) que la mezcla compleja de pesticidas contenidas en aguas de enjuague puede ser eliminada, sin embargo, la superficie del panel solar fotocatalítico fue insuficiente en algunos casos. En la **tabla 18** se pueden observar los principales resultados generados de esta investigación.

**Tabla 18. Concentración de pesticidas, TOC, COD, DBO<sub>5</sub>, y valores de toxicidad**

Test por pesticida (µ/l)	Caso 1			Caso 2			Caso 3		
	C <sub>0</sub>	C <sub>8d</sub>	C <sub>8d,corr</sub>	C <sub>0</sub>	C <sub>8d</sub>	C <sub>8d,corr</sub>	C <sub>0</sub>	C <sub>8d</sub>	C <sub>8d,corr</sub>
Cymoxanil	<0.1			<0.1					
Folpet	306	213	146	1973	88	63			
Triadimenol	15600	8800	6050						
Tebuconazole	38000	21206	14579						
Quinoxifen									
Chlorpyriphos							370	0.8	0.6
Dinocab							9890	267	170
Mancozeb									
TOC (mg/l)	170	160	130	21	nd		22	24	15.3
COD (mgO <sub>2</sub> /l)									
BOD <sub>5</sub> (mgO <sub>2</sub> /l)									
Microtox 5 min (equitox/m <sup>3</sup> )	85.6	4.6		<2.2	<2.2		6.4	6.4	
Microtox 15 min (equitox/m <sup>3</sup> )	76.2	4.4		3.2	<2.2		11.7	11.2	
Microtox 30 min (equitox/m <sup>3</sup> )									

Test por pesticida (µ/l)	Caso 4				
	C <sub>0</sub>	C <sub>8d</sub>	C <sub>8d,corr</sub>	C <sub>8d</sub>	C <sub>8d,corr</sub>
Cymoxanil					
Folpet	12300	7230	6266	3130	2086
Triadimenol					
Tebuconazole					
Quinoxifen	12800	11640	10088	5970	3980
Chlorpyriphos					
Dinocab					
Mancozeb	486	190	165	160	107
TOC (mg/l)	1200	1000	867	900	600
COD (mgO <sub>2</sub> /l)	8044	7254	6287	5800	3867
BOD <sub>5</sub> (mgO <sub>2</sub> /l)	285	495	429	197	131
Microtox 5 min (equitox/m <sup>3</sup> )	271.5	222		440	
Microtox 15 min (equitox/m <sup>3</sup> )	446	239		507	
Microtox 30 min (equitox/m <sup>3</sup> )	865	312		534	

C<sub>0</sub>, C<sub>4</sub> y C<sub>8d</sub> son, respectivamente, la concentración antes de la purificación por fotocatalisis y después de la purificación para en día 4 y 8. La abreviación

corr indica que la concentración ha sido corregida por cambios en el volumen del agua. Equitox es el inverso de LC 50-24 h, la concentración que reduce el número de bacterias vivas en un 50% después de 24 horas de exposición. La desviación estándar relativa fue del 10% para todas las mediciones la cuales fueron llevadas a cabo por métodos de registro estándar en los laboratorios independientes para cada muestra de agua.

El número de plaguicidas que se han ensayado mediante fotocátalisis con TiO<sub>2</sub> supera el centenar. Entre ellos los más ampliamente estudiados corresponden a los organoclorados, Órganofosforados, carbamatos, tiocarbamatos y triazinas, entre otros.

La información contenida en la **Tabla 18** ha sido confeccionada con la intención de reunir la mayoría de la información disponible en la literatura científica sobre la tecnología de fotocátalisis con TiO<sub>2</sub> aplicada a la descontaminación de agua conteniendo estos compuestos.

#### **3.4.7 Desinfección solar de aguas en comunidades rurales de América Latina**

La tecnología DSAUI, Desinfección Solar de Aguas en Unidades Individuales (Solar Water Disinfection, SODIS, desarrollado por el EAWAG –

Instituto del agua – de Zurich), es un método eficiente para la eliminación de microorganismos patógenos presentes en agua de consumo humano.

Este método tiene la ventaja de ser económico y fácilmente aplicable en cualquier localidad que lo necesite y sólo requiere de la energía solar, apartándose de los métodos convencionales de purificación de agua tales como la cloración y el hervido del agua, cuyo costo es tal vez inaccesible para poblaciones que viven en condiciones precarias.

Los microorganismos son eliminados por la radiación ultravioleta (UV-A), en sinergia con la radiación infrarroja (IR) a partir de determinada temperatura.

El método no esteriliza el agua pero elimina microorganismos causantes de serias enfermedades como diarreas, infecciones intestinales, cólera, entre otras. Los requerimientos para la aplicación de este método son solamente la disponibilidad de luz solar y de botellas de PET (polietilentereftalato).

Además debe adaptarse al tipo de clima y relieve que posea la región, dado que será más exitoso en regiones de clima cálido y con pocas precipitaciones que en otros de nubosidad y clima frío.

Algunas experiencias usando el método SODIS en comunidades rurales por el proyecto OEA AE 141/2001 se dieron en estudios realizados en: **Tucumán y el Río de La Plata, Argentina**, Campina Grande, PA, Brasil, Tambo Pariachi, Huaycan, Lima, Perú, En aguas de lluvia y de llave en Mayaro, Trinidad y Tobago.

*Fuente: Proyecto OEA AE 141/2001*

# CAPITULO 4

## RECURSOS LEGISLATIVOS PARA LA PREVENCIÓN Y CONSERVACIÓN DEL AGUA

### **4.1 Antecedentes**

Se advierte que la próxima causa mundial de conflictos será por la ausencia y apropiación desmesurada del recurso hídrico, por ello es importante que éste sea resguardado a través de leyes y normativas que garanticen el uso racional del agua.

La mayor concentración de agua dulce en el mundo está en América Latina localizada en ríos abiertos y subterráneos en mares continentales, en los glaciares y en la Antártida.

Aunque nuestro planeta está cubierto en sus dos terceras partes de agua, sólo un 3% del total mundial corresponde al agua dulce, este porcentaje variará con el transcurrir del tiempo debido a la contaminación de este recurso que ya no es renovable.

Se ha comprobado que el sector agrícola es también uno de los mayores responsables de la contaminación del agua debido al uso incontrolado de plaguicidas tóxicos y fertilizantes. Por ello, el presente capítulo pretende

buscar normativas que regulen el uso y conservación del agua de manera eficiente. Tales normativas serán revisadas para observar su aplicabilidad en el medio agrícola rural.

#### **4.2 Marco Legal del Uso de Plaguicidas en relación a la conservación del recurso agua**

El marco legal es la concentración de normas que son usadas para llevar a cabo determinado estudio. De esta manera, se analizarán dentro de la legislación vigente los puntos inherentes a la preservación de los cuerpos hídricos.

Los documentos que serán consultados para establecer los criterios para la preservación y conservación del agua son: el *Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria* (TULAS), y el *Reglamento de Saneamiento Ambiental Bananero*.

##### **4.2.1 Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria (TULAS)**

El TULAS es un conglomerado de normas y reglas que promueven la preservación del medio ambiente evitando la contaminación por desechos sólidos, líquidos o gaseosos.

## Artículos concernientes al recurso agua dentro del TULAS

### Art. 21

Registro de formuladores, fabricantes, importadores, comercializadores y distribuidores.- Para obtener la inscripción en el Registro de Formuladores, Fabricantes, Importadores, Comercializadores y Distribuidores se acompañará a la solicitud la siguiente información:

- Si se trata de una compañía se deberá acompañar un certificado del Registro Mercantil respectivo de que la compañía se encuentra debidamente construida, una copia certificada de sus estatutos y del nombramiento de sus representantes legales.
- Si se trata de personas naturales deberá acompañar su debida identificación y la respectiva matrícula de comercio.
- En el caso de empresas que se dedicarán a la formulación o fabricación:
  - a) Certificación de que la Unidad de Control de Calidad de la empresa, que está sujeta a las normas del Instituto Ecuatoriano de Normalización.
  - b) Descripción de las normas de seguridad a emplearse, de conformidad con las disposiciones del Ministerio de Salud Pública, para evitar daños a personas o animales y para prevenir la **contaminación de aguas** y del ambiente.

#### **Art. 40**

Limpieza de equipos. Los equipos usados para la aplicación de plaguicidas deberán lavarse en lugares destinados para este fin, **evitando** riesgos para los operarios y **contaminación** de fuentes o **cursos de agua**. Estas aguas residuales deben someterse a un sistema de tratamiento de desechos, de acuerdo a las normas establecidas por el Ministerio de Salud Pública.

#### **4.2.2 Reglamento de Saneamiento Ambiental Bananero**

En el presente estatuto se establecen las directrices sobre el uso, manejo, transporte y almacenamiento de productos químicos utilizados en la producción de banano para resguardar el medio ambiente de las poblaciones cercanas además de proteger la infraestructura destinada al desarrollo de Acuicultura aledaña a las plantaciones bananeras.

#### **Artículos concernientes al recurso agua dentro del Reglamento**

##### **Art. 3. Literal a**

Las bodegas para el almacenamiento de plaguicidas además de lo dispuesto en las nominas respectivas deben reunir los siguientes requisitos:

- a. Ubicarse en lugares protegidos y alejados de las viviendas, escuelas, centros de salud, centros de comercio, industrias que fabriquen o procesen

alimentos para el hombre o animales, establos y fuentes de agua, en por lo menos diez metros de distancia.

**Artículo 14.** Literal c

c. Reservar franjas protectoras de por lo menos 10 metros de ancho a lo largo de ríos, esteros, pozas, canales de aducción de agua, canales perimetrales de drenaje, carreteros, camaroneras o estanques de agua que linderen con las bananeras.

**Art. 17**

El productor bananero está obligado a prevenir la contaminación de fuentes de agua y ambiente en general, evitando derrames, recogiendo recipientes vacíos y remanentes de plaguicidas. Estos remanentes de plaguicidas así como las aguas utilizadas en el lavado del equipo empleado, deben ser depositados en lugares apropiados como pozos de sedimentación, debidamente tratados para el efecto. Los residuos serán esparcidos en la bananera a un mínimo de diez metros de canales de riego, drenaje, pozos y tanques de agua y/o viviendas, en diferentes lugares en cada ocasión.

**Art. 21**

En un plazo no mayor de un año los productores bananeros están obligados a diseñar o rediseñar su planta empacadora para recoger los residuos de

fungicidas (resultantes del control de pudrición de corona) del agua con látex. Los residuos de mezcla fungicida no deben ir a canales sino a un pozo sedimentador, para después ser asperjados en la bananera a una distancia mínima de diez metros de las casas, canales de riego, drenajes y pozos de agua.

#### **Art. 22**

En un plazo no mayor de un año, el productor bananero se obliga a instalar filtros (trampas de sólidos y látex) para retener los desechos arrastrados por el agua usada en la empacadora y así asegurar que el agua descargada sea la más limpia posible. Colocarán además sistemas de clorinación o purificación del agua para consumo humano y tratamiento de la fruta.

#### **Art. 25**

En un plazo no mayor de dos (2) años los productores bananeros están obligados a establecer un área libre de aplicación de plaguicidas o fertilizantes a una distancia de diez (10) metros o más de los pozos de agua.

#### **Art. 56**

Se obliga a las compañías aeroatomizadoras a recoger y reutilizar las aguas residuales producto del lavado de aeronaves y equipos, con el fin de evitar la contaminación de cuerpos hídricos.

### **4.2.3 Reglamento de Uso y Aplicación de plaguicidas en las plantaciones dedicadas al cultivo de Flores.**

**R.O. N° 623, 31 de enero de 1995.**

El riesgo ocasionado por la toxicidad de los plaguicidas puede ser controlable si se respetan las medidas de seguridad que exige el uso de un plaguicida.

#### **Protección ambiental**

- Manejo Integrado de plagas (MIP)
- Eliminación de los desechos de plaguicidas.

#### **Normas de seguridad**

- El área de eliminación de envases debe ser restringida y bien señalada.
- Para entrar a esta área se debe utilizar el equipo de protección personal para fumigación.

#### **Eliminación de residuos líquidos**

- Preparar los volúmenes necesarios.
- Las aguas de lavado de tanques y equipos deben ser tratadas en fosas de eliminación.

### 4.3 Otras normas ambientales

- **Ley de prevención y control de la contaminación ambiental**

**Decreto 374 de 1976**

Lo que nos dice esta ley:

Queda prohibido expeler o descargar, hacia la atmósfera, las redes de alcantarillado,  **cursos naturales de agua, lagos, aguas marítimas** o al suelo, sin sujetarse a las correspondientes normas técnicas y regulaciones, contaminantes que puedan perjudicar a la salud, la vida humana, la flora, la fauna y los recursos o bienes del estado o de particulares o constituir una molestia.

Identifica las fuentes potenciales de contaminación al:

#### **Aire**

- **Artificiales:** calderas, incineradores, plantas químicas, aeronaves, automotores y similares.
- **Naturales:** erupciones, precipitaciones, sismos, sequías, deslizamientos de tierra.

#### **Agua**

Aguas residuales que tengan contaminantes nocivos a la salud humana, flora y fauna.

#### **Suelo**

Sustancias radioactivas y desechos sólidos, líquidos o gaseosos de procedencia industrial, agropecuaria, doméstica, etc.

- **Reglamento para la prevención y control de la contaminación ambiental relativo al recurso agua**

**Publicado en el R.O. No. 204 de Junio 5 de 1989**

### **Recurso Agua**

Aguas superficiales, subterráneas, marinas y estuarios, incluidas las aguas servidas.

Establece los criterios de calidad admisibles de las aguas, en función de su uso agrícola, industrial, recreativo, pecuario, transporte, estético, doméstico, consumo humano, preservación de la flora y fauna.

### **Descargas de residuos líquidos**

- Las aguas residuales, previamente a su descarga, deberán ser tratadas sea cual fuere su origen: público o privado.
- Se prohíbe toda descarga de residuos líquidos a las vías públicas, canales de riego y drenaje de sistemas de recolección de aguas lluvias y acuíferos.
- Se prohíbe la utilización de aguas naturales de las redes públicas o privadas y de las aguas lluvias, con el propósito de diluir los efluentes líquidos no tratados.
- Se prohíbe la infiltración de efluentes industriales no tratados.

## **Breve descripción de la Experiencia Española en la Gestión de la Conservación del Agua y el uso de la normativa ambiental como herramienta para el cumplimiento de sus objetivos**

La comunidad Europea tiene establecido desde 1977 un Procedimiento común de intercambio de información sobre la calidad de las aguas continentales superficiales, que ha sido modificado hasta en cinco ocasiones, siendo la modificación más importante la que recoge la Decisión 86/547/CEE del Consejo de 28 de noviembre de 1996, en la que se establece el procedimiento común – y de obligado cumplimiento – para el envío de dicha información por parte de los quince países miembros.

Los tres principales objetivos de dicha decisión son los siguientes (Comunidades Europeas, 2000):

- Determinar el grado de contaminación de los ríos de la Comunidad Europea en consecuencia la lucha contra la misma y contra las perturbaciones.
- Observar la tendencia a largo plazo y las mejores resultantes de la aplicación de la legislación nacional y comunitaria vigente.

Posibilitar una comparación lo más indicativa posible entre los resultados de las mediciones efectuadas en las estaciones de muestreo o medición.

Entre los parámetros considerados en el Procedimiento Común de Intercambio de Información están:

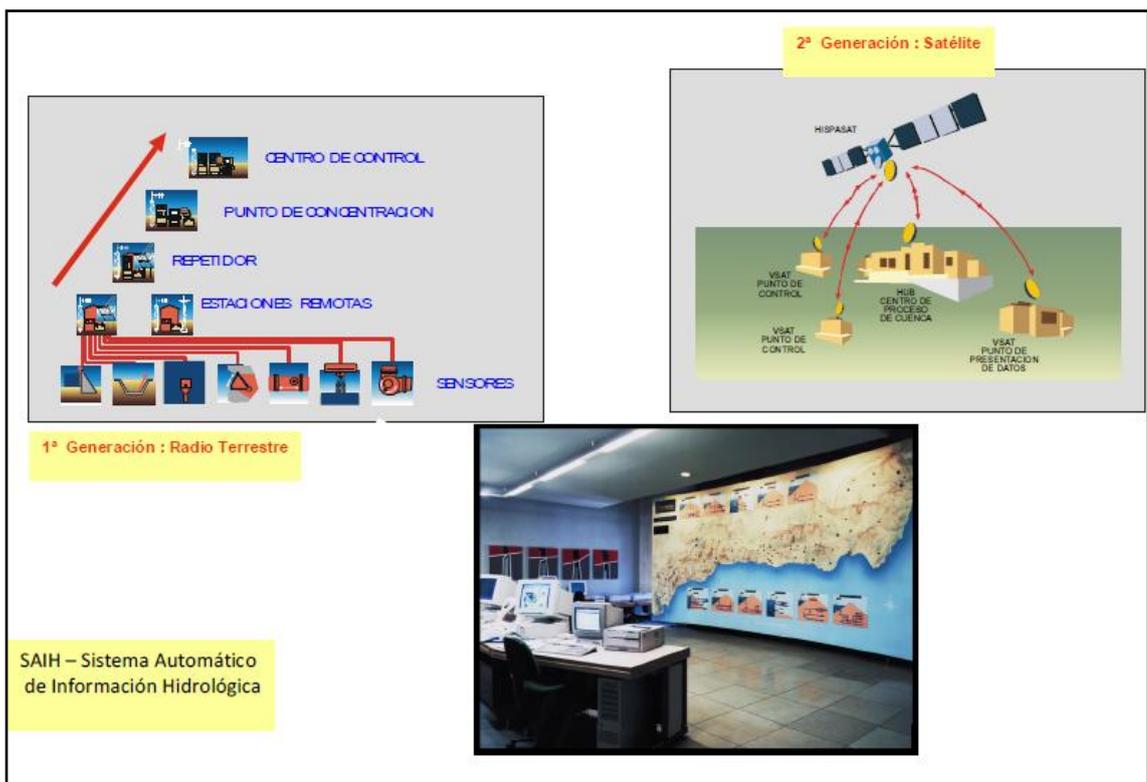
- Físicos: Caudal, Temperatura, pH, Conductividad.
- Químicos: Cloruros, Nitratos, Amonio, Oxígeno Disuelto, DBO5, DQO, Fósforo Total, Sustancias tensoactivas, Cadmio total y Mercurio.
- Microbiológicos: Coliformes fecales, Coliformes totales, Estreptococos fecales Y Salmonelas.
- Biológicas: Calidad biológica.

En España existen diversas redes de control de la calidad de las aguas, entre las que cabe destacar las siguientes (MIMAM, 2000):

- Red COAS (Calidad Oficial de Abastecimiento). Para el análisis de prepotabilidad de los abastecimientos urbanos.
- Red Ictiofauna.- tiene por objeto conocer la aptitud de las lagunas de los ríos para albergar la vida de los peces.
- Red COCA (Control Oficial de la Calidad del Agua).- Es la más importante de todas en cantidad de número de puntos de control (más de 400 en la actualidad). Se puso en marcha en 1962 e inicialmente se concibió para medir los 23 parámetros que intervienen en el ICG (índice de Calidad General).
- Red ICA (Red Integrada de la Calidad de las Aguas).- Vigente desde 1993, integra las tres anteriores, con idea de unificar y simplificar la información sobre calidad del agua.
- SAICA (Sistema Automático de la Calidad de las Aguas).- Recaba información de diversos parámetros indicadores de calidad de forma

automática y continua y la transmite vía satélite en tiempo real a una serie de centros de control y decisión.

- Red ROCAS (Red de Observación de la Calidad de las Aguas Subterráneas).- En vigor desde 1970, está gestionada por el IGME (Instituto Geológico Minero), contando en la actualidad con más de 1650 puntos de control.
- Red Nacional de Control de la Radiactividad Ambiental.- Funciona desde 1878 y su objetivo es controlar el estado de diversos parámetros radiológicos en las aguas superficiales.



Esquema de funcionamiento de los Sistemas de Alerta Hidrológica

Fuente: Departamento de Geología. UAH. Silvia Martínez Pérez. Diciembre 2007.

- **La situación de la Reutilización de las Aguas Depuradas en España.**

**Normativa y Control de Riesgos.**

- En los últimos años ha habido un importante desarrollo de la reutilización en España, en el 2006 el volumen reutilizado llegó a los 368 Hm<sup>3</sup>/año, que representa el 11% del caudal total depurado.
- En algunas zonas constituye un recurso estratégico, como por ejemplo en Gran Canaria, donde satisface más del 20% de la demanda total.
- Los beneficios de la reutilización son los siguientes:
- Posibilita un incremento de los recursos en las zonas en que los efluentes se vierten al mar.
- Permite una mejor gestión de los recursos, al permitir sustituir con aguas regeneradas, volúmenes de agua de mayor calidad
- Reduce el aporte de contaminantes a los cursos de agua.
- Evita la necesidad de realizar costosas infraestructuras para transportar recursos adicionales desde zonas alejadas
- Permite, en el caso que el destino sea la agricultura, un aprovechamiento de los nutrientes contenidos en el agua residual.
- Garantiza una mayor fiabilidad y regularidad del agua disponible.

Entre las causas del desarrollo de esta propuesta de reutilización están:

**Déficit hídrico**

- Degradación de los recursos existentes

- Impulso de la depuración (aplicación Directiva 91/271/CEE) ha permitido disponer volúmenes de agua depurada cerca de los lugares de demanda.
- Tecnologías de regeneración más fiables y a menor coste.
- Posibilidad de utilizar la reutilización como una herramienta en la mejora de la gestión de los recursos hídricos.

Para el año 2006 existían 2536 estaciones depuradoras y 322 sistemas de reutilización, siendo el caudal total depurado en el mismo año 3337 Hm<sup>3</sup>/año, del cual el 11% fue reutilizado.

La legislación española en materia de reutilización que respalda estos procedimientos se indica a continuación:

- Texto refundido Ley de Aguas (2001)
  - El Gobierno regulará las condiciones básicas de la reutilización
  - La reutilización requiere concesión o autorización administrativa
- Reglamento de Dominio Público Hidráulico
  - Determina los trámites para la concesión, que corresponde al Organismo de Cuenca, previo informe vinculante de las autoridades sanitarias
- Normas de reutilización establecidas en Planes Hidrológicos de Cuenca: Tajo (1999) y Guadalquivir (1999)

- Normas y recomendaciones establecidas en algunas CC.AA.:  
Cataluña (1885-2005), Baleares (1995- 2001), Comunidad Valenciana (2004)
- Real Decreto 1620/2007 sobre “Régimen Jurídico de la Reutilización de las Aguas Depuradas”

## Clasificación del uso de las aguas recicladas

1. URBANOS	2. RIEGO AGRÍCOLA	3. INDUSTRIALES	3. RECREATIVOS	5. AMBIENTALES
				
<p>1.1. <u>Usos residenciales</u> Riego jardines privados; Descarga de aparatos sanitarios</p> <p>1.2. <u>Servicios urbanos</u> Riego de zonas verdes; Baldeo de calles; Sistemas contra incendios; Lavado industrial de vehículos</p>	<p>2.1. Contacto directo del agua con partes comestibles</p> <p>2.2. Productos cuyo consumo se realiza después de un tratamiento posterior; Pastos para consumo de animales productores de leche o carne; Acuicultura</p> <p>2.3. Cultivos leñosos; Flores ornamentales, viveros e invernaderos; Cultivos industriales, viveros, forrajes ensilados, cereales y semillas oleaginosas</p>	<p>3.1.a. Aguas de proceso y limpieza excepto industria alimentaria; Otros usos industriales</p> <p>3.1.b. Aguas de proceso y limpieza de la industria alimentaria</p> <p>3.2. Torres de refrigeración y condensadores evaporativos</p>	<p>4.1. Riegos de campos de golf</p> <p>4.2. Estanques, caudales circulantes ornamentales a los que está impedido el acceso del público al agua</p>	<p>5.1. Recarga de acuíferos por percolación a través del terreno</p> <p>5.2. Recarga de acuíferos por inyección directa</p> <p>5.3. Riego de bosques y zonas verdes; Silvicultura</p> <p>5.4. Otros usos ambientales: mantenimiento de humedales; caudales mínimos y similares.</p>

**- Legislación Relevante Relacionada Con El Saneamiento Y La  
Depuración De Aguas Residuales Urbanas**

**Normativa general**

Real Decreto 849/1986, de 11 de abril, por el que se aprueba el Reglamento del Dominio Público Hidráulico, que desarrolla los Títulos Preliminar, I, IV, V, VI y VII de la Ley 29/1985, de 2 de agosto, de Aguas

Real Decreto 927/1988, de 29 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de la Administración Pública del agua y de la planificación hidrológica, en desarrollo de los Títulos II y III de la Ley de Agua

Directiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas

Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de Julio, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Aguas

**Tratamiento de aguas residuales urbanas**

Directiva 91/271/CEE del Consejo, de 21 de mayo de 1991, sobre el tratamiento de las aguas residuales urbanas

Real Decreto-Ley 11/1995, de 28 de diciembre, por el que se establecen las normas aplicables al tratamiento de las aguas residuales urbanas (Transposición de la directiva 91/271/CEE)

Real Decreto 509/1996, de 15 de marzo, de desarrollo del Real Decreto-ley 11/1995, de 28 de diciembre, por el que se establecen las normas aplicables al tratamiento de las aguas residuales urbanas

Resolución del 28 de Abril de 1995, de la Secretaría de Estado de Medio Ambiente y Vivienda, por la que se dispone la publicación del acuerdo del Consejo de ministros de 17 de febrero de 1995, por el que se aprueba el Plan Nacional de Saneamiento y Depuración de Aguas Residuales.

Resolución de 10 de Julio de 2006, de la Secretaría General para el Territorio y la Biodiversidad, por la que se declaran las Zonas Sensibles en las Cuencas Hidrográficas Intercomunitarias.

### **Lodos de depuración**

Directiva 86/278/CEE, relativa a la protección del medio ambiente y en particular de los suelos en la utilización de los lodos con fines agrícolas

Real Decreto 1310/1990, de 29 de octubre, por el que se regula la utilización de los lodos de depuración en el sector agrario (Transposición de la directiva 86/278/CEE)

Real Decreto 824/2005, de 8 de julio, sobre productos fertilizantes.

Ley 10/1998 de 21 de Abril, de residuos

Orden MAM/304/2002 de 8 de febrero por la que se publican las operaciones de valorización y eliminación de residuos y la lista europea de residuos

Resolución de 14 de junio de 2001, de la Secretaría General de Medio Ambiente, por la que se dispone la publicación del Acuerdo de Consejo de Ministros, de 1 de junio de 2001, por el que se aprueba el Plan Nacional de Lodos de Depuradoras de Aguas Residuales 2001-2006.

Real Decreto 1481/2001, de 27 de diciembre, por el que se regula la eliminación de residuos mediante depósito en vertedero

### **Objetivos de calidad en las masas de agua según los usos**

Real Decreto 927/1988, de 29 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de la Administración Pública del agua y de la planificación hidrológica, en desarrollo de los Títulos II y III de la Ley de Agua

Real Decreto 734/1988, de 1 de julio, por el que se establecen normas de calidad de las aguas de baño.

Directiva 2006/7/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, relativa a la gestión de la calidad de las aguas de baño y por la que se deroga la Directiva 76/160/CEE

Real Decreto 1341/2007 de 11 de Octubre, sobre la gestión de la calidad de las aguas de baño. (Transposición de la directiva 2006/7/CE)

Orden de 11 de mayo de 1988, sobre características básicas de calidad que deben ser mantenidas en las corrientes de agua superficiales cuando sean destinadas a la producción de agua potable

Orden de 15 de octubre de 1990, por la que se modifica la Orden de 11 de mayo de 1988 sobre características básicas de calidad que deben mantenerse en las corrientes superficiales destinadas a la producción de agua potable, a fin de adecuarla a la Directiva CEE 75/440 de 16 de junio de 1975.

Real Decreto 345/1993, de 5 de marzo, por el que se establecen las normas de calidad de las aguas y de la producción de moluscos y otros invertebrados marinos vivos

Directiva 2006/113/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 12 de diciembre de 2006, relativa a la calidad exigida a las aguas para cría de moluscos.

Directiva 1978/659/CEE, relativa a la calidad de las aguas continentales que requieren protección o mejora para ser aptas para la vida de los peces.

Orden de 16 de Diciembre de 1988, relativa a los métodos y frecuencia de análisis o de inspección de las aguas continentales que requieran protección o mejora para el desarrollo de la vida piscícola.

Directiva 2006/44/CE, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 6 de septiembre de 2006, relativa a la calidad de las aguas continentales que requieren protección o mejora para ser aptas para la vida de los peces

### **Reutilización de aguas residuales urbanas**

Proyecto de Real Decreto por el que se establecen las condiciones básicas para la reutilización de las aguas depuradas y se modifica parcialmente el reglamento del dominio público hidráulico aprobado por el Real Decreto 849/1986, de 11 de Abril.

### **Regulación de vertidos a redes de saneamiento (ámbito no nacional)**

Ley 10/1993, de 26 de octubre, sobre vertidos líquidos industriales al Sistema Integral de Saneamiento (Comunidad de Madrid)

Decreto 57/2005, de 30 de junio, por el que se revisan los anexos de la ley 10/1993 (Comunidad de Madrid)

Reglamento Metropolitano de vertidos de aguas residuales aprobado por el Consejo Metropolitano el 3/06/2004. (Área Metropolitana de Barcelona)

### **Control integrado de la contaminación**

Directiva 96/61/CE, del Consejo de 24 de septiembre de 1996 relativa a la prevención y al control integrados de la contaminación.

Transposición de la directiva 96/61/CE: Ley 16/2002, de 1 de julio, de prevención y control integrados de la contaminación

# CAPÍTULO 5

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1 ANÁLISIS

El Ecuador es un país con una población rural significativa y una carencia importante de servicios de saneamiento básicos, por lo que las comunidades rurales son las más propensas a contraer enfermedades de origen hídrico.

Entre los causales más importantes de la contaminación del agua está la actividad minera, hidrocarburífera y agrícola, siendo ésta última la más común, pues al ser éste un país inminentemente agrícola, el uso de insumos como fertilizantes y pesticidas es común en los cultivos como el banano, la palma africana, las rosas, entre otros.

La educación juega un papel importante dentro de los problemas de salud por contaminación del agua, pues los pequeños agricultores desconocen los riesgos de utilizar grandes cantidades de agroquímicos y sus vertidos a las fuentes de agua y más aun los riesgos de consumirla y utilizarla para las actividades diarias sin ningún tratamiento y los grandes agricultores no se rigen a la legislación ambiental competente.

Las opciones que tienen las comunidades rurales para asegurar el consumo de agua segura son limitadas, la más conocida y difundida es la acción de

hervir el agua, sin embargo éste mecanismo únicamente es efectivo para la eliminación de microorganismos patógeno, que es cierto que con sólo esta acción se evitan muchas enfermedades, pero no se obtiene un agua inocua, pues aun quedan los contaminantes químicos.

Aunque los efectos en la salud por el consumo de agua contaminada por agroquímicos no es evidente a un corto plazo, hay investigaciones que indican que a largo plazo pueden ocasionar enfermedades del sistema nervioso, problemas reproductivos e incluso cáncer y efectos sobre el feto.

Siendo ya más de 40 años de uso de agroquímicos en el país, ya son visibles los efectos de la contaminación sobre los recursos naturales y la salud, siendo la más preocupante la contaminación del agua pues es el líquido vital, por lo que en diferentes partes del mundo se han innovado en tecnologías sostenibles para su descontaminación.

Como hemos podido ver en el documento, la fotocatalisis heterogénea representa una alternativa ambientalmente amigable, económicamente factible y socialmente viable, pues utiliza como principal fuente de energía la energía solar, los componentes para elaboración de reactores foto catalíticos son de valores accesibles y ya han sido utilizados en ensayos en comunidades rurales en países como México donde han tenido una gran aceptación.

En nuestro país no han sido utilizadas las tecnologías fotocatalíticas, por lo que se recomienda ampliamente su investigación, pues por nuestra ubicación geográfica, contamos significativamente con el insumo más importante de ésta tecnología: luz solar durante 12 horas por día.

Por otro lado, hay que recordar que aunque se encontrara una tecnología ideal para la obtención de agua segura para su consumo, la mejor herramienta es la prevención, por lo que no hay que llegar a contaminar para luego buscar mecanismos de recuperación de los recursos, sino prevenir, y uno de los recursos es la aplicación en toda su extensión de la legislación ambiental.

Recursos legislativos para la prevención de la contaminación han tenido un considerable éxito en países considerados desarrollados, que a demás son los principales destinos de nuestros productos agrícolas, de los cuales cada vez más se exigen certificaciones de buenas prácticas agrícolas y ambientales.

## **5.2 RECOMENDACIONES**

- Investigar las tecnologías fotocatalíticas aplicadas a nuestro medio.
- Implementar un plan de manejo ambiental en plantaciones bananeras para identificar y prevenir los impactos negativos que genera el uso descontrolado de plaguicidas en el recurso agua y por ende en la salud de la población rural involucrada a esta actividad.

- Las normativas vigentes relacionadas a la conservación del ecosistema deben ser difundidas a través de programas de capacitación hacia todos los habitantes de las comunidades rurales que no tienen acceso a este tipo información.

## **5.2 CONCLUSIONES**

Respecto a,

La influencia de la actividad agrícola como uno de los causales de la contaminación del agua en comunidades rurales:

- A pesar de que la actividad agrícola es una de las principales fuentes de contaminación ambiental por el uso indiscriminado de productos químicos, existe poca información sobre contaminación por pesticidas debido al alto costo de realizar este tipo de estudio en el Ecuador.
- El cultivo de Banano, siendo el cultivo extensivo de mayor importancia en el país, es la principal fuente de contaminación del agua debido a la utilización descontrolada de plaguicidas en las fumigaciones aéreas para el control de la sigatoka negra.

- Los drenajes de las plantaciones bananeras son fuente directa de contaminación del agua debido a que se encuentran conectados con los ríos. Asimismo, el agua de las empacadoras -con alto contenido de fungicidas- generalmente se descarga en los ríos.

Tecnologías aplicables para el tratamiento y desinfección de agua de consumo humano en sectores agrícolas:

- Los resultados potenciales de nuevas investigaciones de reactores CPC con catalizador inmovilizados son muy prometedores y representan una nueva alternativa para proveer de agua segura a las comunidades rurales y de pocos recursos económicos, donde la gran mayoría se dedica a la actividad agrícola y está en constante ingestiva de aguas contaminadas por pesticidas u otros agroquímicos que disminuyen su capacidad intelectual, salud y por ende su desarrollo.
- Aunque no está expresado entre los objetivos de esta Tesis, consideramos que el más importante es despertar el interés en el estudio de esta tecnología, que utiliza como principal fuente de energía a la luz ultravioleta.

Recursos legislativos que inciden en la prevención y conservación del recurso hídrico en el Ecuador:

- Nuestro país cuenta con leyes y normativas relacionadas directa e indirectamente con la conservación y preservación del recurso agua. Sin embargo, esto no es un indicativo de que estas reglas sean acatadas minuciosamente por los entes involucrados en actividades agrícolas. Prueba de ello es el caso del banano y las continuas denuncias hacia las compañías de plaguicidas por el deterioro en la salud de los trabajadores y pobladores que viven circundando las plantaciones bananeras. Por ello, la utilización desmedida de agroquímicos -sean estos permitidos o no por los organismos de control- y su influencia directa con la contaminación del ecosistema biótico/abiótico, son temas actuales que aún no están del todo regulados.

## APÉNDICES A

### FOTOGRAFÍAS



Fotografía 1. Plantaciones bananeras que limitan con la carretera



Fotografía 2. Desechos plásticos de las bananeras



Fotografía 3. Plantaciones bananeras que limitan con cuerpos de agua



Fotografía 4. Canales de drenaje de plantaciones bananeras que descargan en cuerpos hídricos.

## APÉNDICE B

### TABLAS

**Tabla 1: El acceso en el hogar a agua en áreas urbanas y rurales, en las cuatro regiones geográficas:**

Servicio de Agua por	% Pob	Urbana	Rural	Costa	Sierra	Amazonia	Galápagos
Tubería dentro del hogar	47.5	66.5	19.8	44.1	51.3	39.1	86.2
Tubería fuera del hogar	29.3	22.1	39.7	22.7	35.1	34.4	3.3
Grifos públicas	3.3	2.3	4.7	3.7	3.1	1.5	0.0
Pozos públicos/privados	7.4	1.8	15.6	12.0	2.8	10.6	0.0
Tanquero	5.1	5.9	3.8	9.1	1.8	0.0	4.9
Ríos, vados	5.2	0.2	12.6	5.7	4.5	8.7	0.0
Otros	2.2	1.2	3.8	2.7	1.5	5.7	5.7

Fuente: ENDEMAIN, 2004

**Tabla 2: Acceso al alcantarillado en las 4 regiones geográficas**

Sistema de servicios sanitarios por	% Pob	Urbana	Rural	Costa	Sierra	Amazonía	Galápagos
Inodoro con/alcantarilla	44.4	64.4	15.3	30.5	57.0	50.5	26.4
Inodoro con/pozo séptico	20.0	19.3	21.1	28.9	11.9	14.9	72.0
Inodoro des/en río	18.6	11.5	28.9	22.2	15.4	18.0	0.4
Letrina	6.5	2.5	12.4	10.7	3.0	2.3	0.8
Ningún servicio/sanitario	10.5	2.4	22.2	7.7	12.8	14.4	0.4

Fuente: ENDEMAIN, 2004

**Tabla 3: Manejo de desechos sólidos en las 4 regiones geográficas**

Eliminación de desechos sólidos por:	% Pob	Urbana	Rural	Costa	Sierra	Amazonía	Galápagos
Ríos, quebradas, terrenos	8.5	1.8	18.1	6.4	10.1	12.7	0.0
Quema o entierro	25.4	4.9	55.3	23.0	28.7	16.6	6.9
Basurero público	1.2	1.2	1.2	1.5	1.0	0.4	0.4
Recolección de basura pública	64.8	92.0	25.3	69.1	60.1	70.1	92.7
Recolección de basura privada	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.0

Fuente: ENDEMAIN, 2004

**Tabla 4: TMI según área de residencia y sexo**

A. Residencia	Hombres	Mujeres	A. Sexos
A. Urbana	25.7	18.6	22.2
A. Rural	43.6	33.3	38.6

Fuente: INEC, Censo de Población 2001

**Tabla 7. Efectos de las actividades agrícolas en la calidad del agua**

Actividad agrícola	Efectos	
	Aguas superficiales	Aguas subterráneas
Labranza/arado	<p><b>Sedimentos/turbidez:</b> los sedimentos transportan fósforos y plaguicidas adsorbidos a las partículas de los sedimentos;</p> <p><b>entarquinamiento</b> de los lechos de los ríos y pérdida de hábitat, desovaderos, etc.</p>	

<b>Actividad agrícola</b>	<b>Efectos</b>	
	<b>Aguas superficiales</b>	<b>Aguas subterráneas</b>
Aplicación de fertilizantes	Escorrentía de nutrientes, especialmente fósforo, que da lugar a la eutrofización y produce mal gusto y olor en el abastecimiento público de agua, crecimiento excesivo de las algas que da lugar a desoxigenación del agua y mortandad de peces	Lixiviación del nitrato hacia las aguas subterráneas; los niveles excesivos representan una amenaza para la salud pública.
Aplicación de estiércol	Esta actividad se realiza como medio de aplicación de fertilizantes; si se extiende sobre un terreno congelado provoca en las aguas receptoras elevados niveles de contaminación por agentes patógenos, metales, fósforo y nitrógeno, lo que da lugar a la eutrofización y a una posible contaminación.	Contaminación de las aguas subterráneas, especialmente por el nitrógeno.
Plaguicidas	La escorrentía de plaguicidas da lugar a la contaminación del agua superficial y la biota; disfunción del sistema ecológico en las aguas superficiales por pérdida de los depredadores superiores debido a la inhibición del crecimiento y a los problemas reproductivos; consecuencias negativas en la salud pública debido al consumo de pescado contaminado. Los plaguicidas son trasladados en forma de polvo por el viento hasta distancias muy lejanas y contaminan sistemas acuáticos que pueden encontrarse a miles de millas de distancia (por ejemplo, a veces se encuentran plaguicidas tropicales o subtropicales en	Algunos plaguicidas pueden lixiviarse en las aguas subterráneas, provocando problemas para la salud humana a través de los pozos contaminados.

Actividad agrícola	Efectos	
	Aguas superficiales	Aguas subterráneas
	los mamíferos del Ártico).	
Granjas/parcelas de engorde	Contaminación del agua superficial con numerosos agentes patógenos (bacterias, virus, etc.), lo que da lugar a problemas crónicos de salud pública. Contaminación por metales contenidos en la orina y las heces.	Posible lixiviación de nitrógeno, metales, etc. hacia las aguas subterráneas.
Riego	Escorrentía de sales, que da lugar a la salinización de las aguas superficiales; escorrentía de fertilizantes y plaguicidas hacia las aguas superficiales, con efectos ecológicos negativos, bioacumulación en especies ícticas comestibles, etc. Pueden registrarse niveles elevados de oligoelementos, como el selenio, con graves daños ecológicos y posibles efectos en la salud humana.	Enriquecimiento del agua subterránea con sales, nutrientes (especialmente nitrato).
Talas	Erosión de la tierra, lo que da lugar a elevados niveles de turbidez en los ríos, entarquinamiento del hábitat de aguas profundas, etc. Perturbación y cambio del régimen hidrológico, muchas veces con pérdida de cursos de agua perennes; el resultado es problemas de salud pública debido a la pérdida de agua potable.	Perturbación del régimen hidrológico, muchas veces con incremento de la escorrentía superficial y disminución de la alimentación de los acuíferos; influye negativamente en el agua superficial, ya que reduce el caudal durante los períodos secos y concentra los nutrientes y contaminantes en el agua superficial.
Silvicultura	Gran variedad de efectos; escorrentía de plaguicidas y contaminación del agua	

Actividad agrícola	Efectos	
	Aguas superficiales	Aguas subterráneas
	superficial y de los peces; problemas de erosión y sedimentación.	
Acuicultura	Descarga de plaguicidas (por ejemplo, TBT <sup>1</sup> ) y altos niveles de nutrientes en el agua superficial y subterránea a través de los piensos y las heces, lo que da lugar a fenómenos graves de eutrofización.	

<sup>1</sup> TBT = Tributilestaño

Fuente: Depósito de documentos de la FAO

**Tabla 8. Cronología del desarrollo de los plaguicidas (Stephenson y Solomon, 1993)**

Período	Ejemplo	Fuente	Características
1800-1920	Primeros plaguicidas orgánicos, nitrofenoles, clorofenoles, creosota, naftaleno, aceites de petróleo	Química orgánica, productos derivados de la elaboración de gas de carbón, etc.	Con frecuencia, carecen de especificidad y eran tóxicos para el usuario o para organismos que no eran los destinatarios
1945-1955	Productos orgánicos clorados, DDT, HCCH, ciclodien. clorados	Síntesis orgánica	Persistentes, buena selectividad, buenas propiedades agrícolas, buenos resultados en materia de salud pública, resistencia, efectos ecológicos nocivos
1945-1970	Inhibidores de la colinesterasa, compuestos organofosforados, carbamatos	Síntesis orgánica, buena utilización de las relaciones estructura-actividad	Menor persistencia, cierta toxicidad para el usuario, algunos problemas

			ambientales
1970-85	Piretroides sintéticos, avermectinas, imitaciones de las hormonas juveniles, plaguicidas biológicos	Perfeccionamiento de las relaciones estructura-actividad, nuevos sistemas de selección de objetivos	Cierta falta de selectividad, resistencia, costos y persistencia variable
1985-	Organismos obtenidos por la ingeniería genética	Transferencia de genes para plaguicidas biológicos a otros organismos y a plantas y animales beneficiosos. Alteración genética de las plantas para que resistan mejor a los efectos no deseados de los plaguicidas	Posibles problemas con mutaciones y fugas, perturbación de la ecología microbiológica, monopolio de los productos

**Tabla 9. Límites máximos permisibles para aguas de consumo humano y uso doméstico que únicamente requieran de tratamiento convencional**

Parámetros	Expresado Como	Unidad	Límite Máximo Permissible
Aceites y Grasas	Sustancias solubles en hexano	mg/l	0,3
Aluminio	Al	mg/l	0,1
Amoniaco	N-Amoniacal	mg/l	1,0
Amonio	NH <sub>4</sub>	mg/l	0,05
Arsénico (total)	As	mg/l	0,05
Bario	Ba	mg/l	1,0
Boro (total)	B	mg/l	0,75
Cadmio	Cd	mg/l	0,01
Cianuro (total)	CN-	mg/l	0,1
Cloruro	Cl	mg/l	250
Cobalto	Co	mg/l	0,2
Cobre	Cu	mg/l	1,0

<b>Parámetros</b>	<b>Expresado Como</b>	<b>Unidad</b>	<b>Límite Máximo Permissible</b>
Coliformes Totales	nmp/100 ml		3 000
Coliformes Fecales	nmp/100 ml		600
Color	color real	unidades de color	100
Compuestos fenólicos	Fenol	mg/l	0,002
Cromo hexavalente	Cr+6	mg/l	0,05
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	DBO5	mg/l	5,0
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/l	10,0
Dureza	CaCO3	mg/l	500
Bifenilo Bs policlorados/PC	Concentración de PCBs totales	mg/l	0,0005
Fluoruro (total)	F	mg/l	1,4
Fósforo (total)	P	mg/l	0,025
Hierro (total)	Fe	mg/l	0,3
Manganeso (total)	Mn	mg/l	0,1
Materia flotante			<b>Ausencia</b>
Mercurio (total)	Hg	mg/l	0,001
Níquel	Ni	mg/l	0,025
Nitrato	N-Nitrato	mg/l	10,0
Nitrito	N-Nitrito	mg/l	1,0
Olor y sabor			Es permitido olor y sabor removible por tratamiento convencional
Oxígeno disuelto	O.D.	mg/l	No menor al 80% del oxígeno de saturación y no menor a 6mg/l
Plata (total)	Ag	mg/l	0,05
Plomo (total)	Pb	mg/l	0,05
Potencial de hidrógeno	pH		6-9

<b>Parámetros</b>	<b>Expresado Como</b>	<b>Unidad</b>	<b>Límite Máximo Permissible</b>
Selenio (total)	Se	mg/l	0,01
Sodio	Na	mg/l	200
Sólidos disueltos totales		mg/l	1 000
Sulfatos	SO4 =	mg/l	400
Temperatura		□ □	Condición Natural + o – 3 grados
Tensoactivos	Sustancias activas al azul de metileno	mg/l	0,5
Turbiedad		UTN	100
Uranio total		mg/l	0,02
Vanadio		mg/l	0,02
Zinc	Zn	mg/l	5,0
<b>*Productos para la desinfección</b>		mg/l	0,1
<b>Hidrocarburos Aromáticos</b>			
Benceno	C6H6	□ □ □	0,01
Benzo(a) pireno		□ □ □	0,01
Etilbenceno		□ □ □	700
Estireno		□ □ □	100
Tolueno		□ □ □	1 000
Xilenos (totales)		□ □ □	10 000
<b>Pesticidas y herbicidas</b>			
Carbamatos totales	Concentración de carbamatos totales	mg/l	0,1
Organoclorados totales	Concentración de organoclorados totales	mg/l	0,01
Organofosforados totales	Concentración de organofosforados totales	mg/l	0,1
Dibromocloropropano	Concentración	□ □ □	0,2

Parámetros	Expresado Como	Unidad	Límite Máximo Permissible
(DBCP)	total de DBCP		
Dibromoetileno (DBE)	Concentración	□ □ □	0,05
	total de DBE		
Dicloropropano (1,2)	Concentración	□ □ □	5
	total de		
	dicloropropano		
Diquat		□ □ □	70
Glifosato		□ □ □	200
Toxafeno		□ □ □	5
<b>Compuestos Halogenados</b>			
Tetracloruro de carbono		□ □ □	3
Dicloroetano (1,2-)		□ □ □	10
Dicloroetileno (1,1-)		□ □ □	0,3
Dicloroetileno (1,2-cis)		□ □ □	70
Dicloroetileno (1,2-trans)		□ □ □	100
Diclorometano		□ □ □	50
Tetracloroetileno		□ □ □	10
Tricloroetano (1,1,1-)		□ □ □	200
Tricloroetileno		□ □ □	30
Clorobenceno		□ □ □	100
Diclorobenceno (1,2-)		□ □ □	200
Diclorobenceno (1,4-)		□ □ □	5
Hexaclorobenceno		□ □ □	0,01
Bromoxil		□ □ □	5
Diclorometano		□ □ □	1,9
Tribrometano		□ □ □	2

Nota: Productos para la desinfección: Cloroformo, Bromodiclorometano, Dibromoclorometano y Bromoformo.

**Tabla 10. Límites máximos permisibles para aguas de consumo humano y uso doméstico que únicamente requieran desinfección.**

<b>Parámetros</b>	<b>Expresado Como</b>	<b>Unidad</b>	<b>Límite Máximo Permissible</b>
Aceites y Grasas	Sustancias solubles en hexano	mg/l	0,3
Aluminio total	Al	mg/l	0,1
Amoniaco	N-amoniacal	mg/l	1,0
Arsénico (total)	As	mg/l	0,05
Bario	Ba	mg/l	1,0
Berilio	Be	mg/l	0,1
Bifenilo Policlorado/PCBs	Concentración total de PCBs	mg/l	0,0005
Boro (total)	B	mg/l	0,75
Cadmio	Cd	mg/l	0,001
Cianuro (total)	CN-	mg/l	0,01
Cobalto	Co	mg/l	0,2
Cobre	Cu	mg/l	1,0
Color	color real	Unidades de color	20
Coliformes Totales	nmp/100 ml		50*
Cloruros	Cl-	mg/l	250
Compuestos fenólicos	Expresado como fenol	mg/l	0,002
Cromo hexavalente	Cr+6	mg/l	0,05
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	DBO5	mg/l	2
Dureza	CaCO3	mg/l	500
Estaño	Sn	mg/l	2,0
Fluoruros	F	mg/l	Menor a 1,4
Hierro (total)	Fe	mg/l	0,3
Litio	Li	mg/l	2,5
Manganeso (total)	Mn	mg/l	0,1
Materia Flotante			Ausencia
Mercurio (total)	Hg	mg/l	0,001
Níquel	Ni	mg/l	0,025

<b>Parámetros</b>	<b>Expresado Como</b>	<b>Unidad</b>	<b>Límite Máximo Permissible</b>
Nitrato	N-Nitrato	mg/l	10,0
Nitrito	N-Nitrito	mg/l	1,0
Olor y sabor			Ausencia
Oxígeno disuelto	O.D	mg/l	No menor al 80% del oxígeno de saturación y no menor a 6 mg/l
Plata (total)	Ag	mg/l	0,05
Plomo (total)	Pb	mg/l	0,05
Potencial de Hidrógeno	pH		6-9
Selenio (total)	Se	mg/l	0,01
Sodio	Na	mg/l	200
Sulfatos	SO4 =	mg/l	250
Sólidos disueltos totales		mg/l	500
Temperatura	°C		Condición Natural +/- 3 grados
Tensoactivos	Sustancias activas al azul de metileno	mg/l	0,5
Turbiedad		UTN	10
Uranio Total		mg/l	0,02
Vanadio		mg/l	0,02
Zinc	Zn	mg/l	5,0
Hidrocarburos Aromáticos			
Benceno	C6H6	mg/l	0,01
Benzo-a- pireno		mg/l	0,00001
Pesticidas y Herbicidas Organoclorados totales	Concentración de organoclorados totales	mg/l	0,01
Organofosforados y carbamatos	Concentración de organofosforados y carbamatos totales.	mg/l	0,1
Toxafeno		□ □ □	0,01

<b>Parámetros</b>	<b>Expresado Como</b>	<b>Unidad</b>	<b>Límite Máximo Permissible</b>
Tetracloruro de carbono		mg/l	0,003
Dicloroetano (1,2-)		mg/l	0,01
Tricloroetano (1,1,1-)		mg/l	0,3

Nota: \*Cuando se observe que más del 40% de las bacterias coliformes representadas por el Índice NMP, pertenecen al grupo coliforme fecal, se aplicará tratamiento convencional al agua a emplearse para el consumo humano y doméstico.

**Tabla 19.** Relación de plaguicidas que han sido objeto de experimentación con la tecnología fotocatalítica utilizando TiO<sub>2</sub> como catalizador.

Plaguicida	Familia	Referencias
Alaclor	Cloroacetanilida	Chiron et al., 1997; Moza et al., 1992; Muszkat et al., 1995; Muszkat et al., 1992;
Aldicarb	Oxima carbamato	Parreño et al., 1994.
Asulam	-	Tanaka et al., 1992.
Atrazina	Triazina	Bellobono et al., 1995; Chiron et al., 2000; Herrmann, 1999c; Low et al., 1991; Muszkat et al., 1992; Muszkat et al., 1995; Pelizzetti, 1987; Pelizzetti et al., 1990a; Pelizzetti et al., 1990b; Pelizzetti et al., 1991; Pelizzetti et al., 1992; Pelizzetti et al., 1993; Sullivan et al., 1994; Texier et al., 1999a; Texier et al., 1999b.
Azinfos-metil	Organofosforado	Domínguez et al., 1998.
Bendiocarb	Tiocarbamato	Hasegawa et al., 1998.
Bentazon	-	Chiron et al., 1997; Herrmann, 1999c; Kinkennon et al., 1995; Pelizzetti et al., 1989; Pelizzetti et al., 1993.
Benzofuran	-	Herrmann et al., 1997.
Benzopyran	-	Muszkat et al., 1995.
BHT	-	Muszkat et al., 1992.
Bromacil	Uracilo	Muszkat et al., 1992; Muszkat et al., 1995.
Bromoxynil	Hidroxibenzonitrilo	Muszkat et al., 1992; Texier et al., 1999a; Texier et al., 1999b.
Butilato	Tiocarbamato	Mogyoródi et al., 1993; Vidal, 1991.
Carbaril	Carbamato	Bianco Prevot et al., 1999a.
Carbetamida	Carbamato	Brun et al., 1997; Cabrera et al., 1996; Percherancier et al., 1995.
Carbofurano	Carbamato	Mansour et al., 1997; Tennakone et al., 1997.
Cianobenzoato	-	Muszkat et al., 1995
Cicloato	Tiocarbamato	Mogyoródi et al., 1993; Vidal, 1991.
Cloroxinil	Organoclorado	Muszkat et al., 1992.

<b>Plaguicida</b>	<b>Familia</b>	<b>Referencias</b>
Clorpirifos	Organoclorado	Chiarenzelli et al., 1995.
Clorsulfuron	Sulfonilurea	Maurino et al., 1999.
2,4-D	Ácido ariloxialcanoico	Chiron et al., 1997; Chiron et al., 2000; D'Oliveira et al., 1993a; Herrmann et al., 1998; Herrmann, 1999c; Lu et al., 1995; Lu et al., 1997; Martin et al., 1995; Müller et al., 1998; Pichat et al., 1993a; Pichat et al., 1993b; Trillas et al., 1995; Trillas et al., 1996; Sun et al., 1995.
DBS	-	Domínguez et al., 1998;
DCB	-	Muszkat et al., 1992.
DCDD	-	Pelizzetti et al., 1988.
DDT	Organoclorado	Borello et al., 1989; Chhazed et al., 1997; Chiron et al., 1997; Herrmann, 1999c; Pelizzetti et al., 1985; Pelizzetti et al., 1993; Sabin et al.; 1992;
DEMP	Organofosforado	O'Shea et al., 1997a.
DEP	Organoclorado	Tanaka et al., 1992; Muneer et al., 1998; Hisanaga et al., 1990.
Diazinon	Organofosforado	Doong et al., 1997; Hasegawa et al., 1998.; Mak et al.,1992; Mansour et al.; 1997.
Dicloran	Organoclorado	Chiarenzelli et al., 1995.
Dicloroanilina	-	Muszkat et al., 1995.
Diclorofenol (DCP)	-	D'Oliveira et al., 1993b; Jardim et al., 1997; Manilal et al., 1992; Ollis et al., 1991a; Trillas et al., 1994; Trillas et al., 1996; Serra et al., 1994; Texier et al., 1999a; Texier et al., 1999b; Tseng et al., 1991.
Dicloropiridina	-	Kyriacou et al., 1997.
Diclorvos	Organofosforado	Chen et al., 1996; Chen et al., 1997; Hasegawa et al., 1998; Lu et al., 1993; Lu et al., 1995; Mak et al., 1992; Mak et al., 1993; Hisanaga et al., 1990.
Dicofol	Organoclorado	Chiron et al., 1997.
Diquat	Bipiridilio	Kinkennon et al., 1995.
Dimetoato	Organofosforado	Domínguez et al., 1998.
Diuron	Urea	Kinkennon et al., 1995; Muneer et al., 1998.
DMMP	Organofosforado	O'Shea et al., 1997a.
3,4-DPA	Organoclorado	Pathirana et al., 1997.
EPN	Organofosforado	Doong et al., 1997.
EPTC	Tiocarbamato	Mogyoródi et al., 1993. Vidal et al., 1991.
Fenitrotion	Organofosforado	Chiron et al., 1997; Chiron et al., 2000; Hasegawa et al., 1998. Herrmann, 1999c; Kerzhentsev et al., 1996; Tanaka et al., 1992.
Fenobucarb	Carbamato	Hasegawa et al., 1998.
Fenuron	Urea	Richard et al., 1996.
Imidacloprid	-	Chiron et al., 1997; Texier et al., 1999a; Texier et al., 1999b.

<b>Plaguicida</b>	<b>Familia</b>	<b>Referencias</b>
Iprobenfos	Organofosforado	Hasegawa et al., 1998.
Isoprotiolane	-	Hasegawa et al., 1998.
Isoproturon	Urea	Mansour et al., 1997.
Lindano	Organoclorado	Chhazed et al., 1997; Chiron et al., 1997. Guillard et al., 1995; Guillard et al., 1996; Herrmann, 1999c; Malato et al., 1996; Sabin et al., 1992; Vidal, 1994.
Malation	Organofosforado	Doong et al., 1997; Mak et al., 1992; Mak et al., 1993; Muszkat et al., 1995.
Manuron	Urea	Herrmann, 1999c.
MCC	Carbamato	Tanaka et al., 1999.
Metamidofos	Organofosforado	Doong et al., 1997; Hisanaga et al., 1990.
Metamitron	Triazinona	Mansour et al., 1997.
Metolaclor	Cloroacetanilida	Chiron et al., 1997;
Metobromuron	Urea	Muszkat et al., 1992.
MIPC	Carbamato	Tanaka et al., 1999.
MMPU	-	Muszkat et al., 1992.
Molinato	Tiocarbamato	Mogyoródi et al, 1993; Vidal, 1991.
Monocrotofos	Organofosforado	Chen et al., 1996.
Monuron	Urea	Augugliaro et al., 1993; Pramauro et al., 1993;
MPMC	Carbamato	Tanaka et al., 1999.
MTMC	Carbamato	Tanaka et al., 1999.
O-Cloroanilina	-	Daoxin, 1995.
Oxamilo	Oxima-carbamato	Texier et al., 1999a.
Paraquat	Bipiridilio	Moctezuma et al., 1999.
Paration	Organofosforado	Chen et al., 1996; Chiron et al., 1997; Herrmann, 1999c.
Paration-metil	Organofosforado	Chiron et al., 1997; Chiron et al., 2000.
PCDD	-	Barbeni et al., 1986; Pelizzetti et al., 1985.
PCDF	-	Barbeni et al., 1986; Pelizzetti et al., 1985.
Pendimetalin	Dinitroanilina	Mansour et al., 1997; Moza et al., 1992.
Pentaclorofenol	-	Barbeni et al., 1984; Blanco et al., 1992; Blanco et al., 1993; Blanco et al., 1994; Jardim et al., 1997; Malato, 1999; Manilal et al., 1992; Martin et al., 1995; Minero et al., 1993; Minero et al., 1996a; Ollis et al., 1991a; Pelizzetti et al., 1985; Sabin et al., 1992; Serpone et al., 1995b; Tseng et al., 1991.

<b>Plaguicida</b>	<b>Familia</b>	<b>Referencias</b>
Permetrin	Piretroide	Chiarenzelli et al., 1995; Hidaka et al., 1992a; Hidaka et al., 1992b.
Phorate	Organofosforado	Doong et al., 1997; Chen et al., 1996;
Pirimifos-metil	Organofosforado	Herrmann et al., 1999b
Procimidona	Dicarbocimida	Hustert et al., 1997.
Prometon	Triazina	Herrmann, 1999c; Pelizzetti et al., 1990b; Pelizzetti et al., 1993.
Prometrin	Triazina	Muszkat et al., 1992; Muszkat et al., 1995; Pelizzetti et al., 1990b; Pelizzetti et al., 1993.
Propaclor	Cloroacetanilida	Muszkat et al., 1995.
Propanil	Anilida	Sturini et al., 1997.
Propazina	Triazina	Muszkat et al., 1992; Muszkat et al., 1995; Pelizzetti et al., 1992.
Propetrina	Triazina	Herrmann, 1999c.
Propoxur	Carbamato	Lu et al., 1995; Lu et al., 1999.
Propizamida	Amida	Chiarenzelli et al., 1995; Hasegawa et al., 1998; Takeda et al., 1998; Torimoto et al., 1996.
Simazina	Triazina	Hasegawa et al., 1998.; Pelizzetti et al., 1990b. Pelizzetti et al., 1992; Pelizzetti et al., 1993.
2,4,5-T	-	Barbeni et al., 1987; Chiron et al., 1997; Ollis et al., 1991a; Pelizzetti et al., 1993.
2,3,6-TBA	Ácido triclorobenzoico	Bianco Prevot et al., 1999b.
Terbutilazina	Triazina	Mansour et al., 1997.
Terbutrin	Triazina	Muszkat et al., 1992.
Tetraclorofenol (TTCP)	-	Pelizzetti et al., 1985.
Tetraclorvinfos (TCVP)	Organofosforado	Herrmann, 1999c; Kerzhentsev et al., 1993.
Tetradifon	-	Chiron et al., 1997.
Thiram	Dimetilditiocarbamato	Hasegawa et al., 1998.
Tifensulfuron-metil	Sulfonilurea	Maurino et al., 1999.
Tiobencarb	Tiocarbamato	Nishida et al., 1994.
Tiocarbaril	Tiocarbamato	Nishida et al., 1994.
Triadimefon	Azol	Chiarenzelli et al., 1995.
Triclorofenol (TCP)	-	Barbeni et al., 1987; D'Oliveira et al., 1993; Jardim et al., 1997; Ollis et al., 1991a; Pelizzetti et al., 1985; Pellizzetti et al., 1993; Tanaka et al., 1994; Tseng et al., 1991;
Triclopyr	Ácido ariloxialcanoico	Poulius et al., 1998.
Trietazina	Triazina	Muszkat et al., 1992; Pelizzetti et al., 1990b.

<b>Plaguicida</b>	<b>Familia</b>	<b>Referencias</b>
Vernolato	Tiocarbamato	Mogyoródi et al., 1993; Vidal, 1991.
Vinclozolina	Dicarboximida	Hustert et al., 1997.
XMC	Carbamato	Tanaka et al., 1999.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. INEC. Instituto Nacional de Censos y Estadísticas. Ecuador.  
Recuperado en: <http://www.inec.gov.ec/default.asp>
2. Estudios demográficos en profundidad. Componente: la mortalidad en el Ecuador en el periodo 1990-2001. Universidad Central del Ecuador, Instituto Nacional de Estadística y Censos y Facultad de Ciencias Económicas. Mayo 2006. Pág. 3 – 59.
3. Sistema de Información sobre el Uso del Agua en la Agricultura y el Medio Rural de la FAO. Ecuador. Aquastat – FAO. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.  
Recuperado en:  
<http://www.fao.org/nr/water/aquastat/dbase/indexesp.stm>
4. Dr. Ing. Remigio H. Galárraga Sánchez, M.Sc. 2001. Estado y Gestión De Los Recursos Hídricos en El Ecuador. Departamento de Ciencias del Agua. Escuela Politécnica Nacional Quito, Ecuador.
5. Enrique Leff. Superación de la Pobreza, Gestión Ambiental Participativa y Desarrollo

6. Sustentable en las Comunidades Rurales de América Latina. Ecoplaza. Sistema de Información Ambiental para la participación ciudadana. Recuperado en: <http:\Temporal\SIMP\UICN\SUR\superacion%20de%20la%20pobreza.html>
7. Xavier Doménech, Wilson F. Jardim y Marta I. Litter. 2004. Procesos avanzados de oxidación para la eliminación de contaminantes. Colección Documentos Ciemat. Eliminación de Contaminantes por Fotocatálisis Heterogénea. Pág. 7 – 33.
8. Benigno Sánchez, Ana I. Cardona, José Peral y Marta I. Litter. 2004. Purificación de Gases por fotocátalisis heterogénea. Colección Documentos Ciemat. Eliminación de Contaminantes por Fotocatálisis Heterogénea. Pág. 62.
9. Julián Blanco, Sixto Malato, Claudio A. Estrada Gasca, Erick R. Bandala, Silvia Gelover y Teresa Leal. 2004. Purificación de Aguas por Fotocatálisis Heterogénea. Colección Documentos Ciemat. Eliminación de Contaminantes por Fotocatálisis Heterogénea. Pág. 67 – 159.

10. Julián Blanco Gálvez, Sixto Malato Rodríguez, José Peral, Benigno Sánchez y Ana Isabel Cardona. 2004. Diseño de Reactores Para Fotocatálisis: Evaluación comparativa de las distintas opciones. Colección Documentos Ciemat. Eliminación de Contaminantes por Fotocatálisis Heterogénea. Pág. 305 – 329.
  
11. Sixto Malato Rodríguez, Julia Blanco Gálvez, Claudio A. Estrada Gasca, Erick R. Bandala, Gustavo Peñuela y Manuel I. Maldonado Rubio. 2004. Degradación de Plaguicidas. Colección Documentos Ciemat. Eliminación de Contaminantes por Fotocatálisis Heterogénea. Pág. 331 – 345.
  
12. Héctor D. Mansilla, Cristian Lizama, Abel Gutarra y Juan Rodríguez. 2004. Tratamientos de Residuos de la Industria de Celulosa y Textil. Colección Documentos Ciemat. Eliminación de Contaminantes por Fotocatálisis Heterogénea. Pág. 351 – 360.
  
13. José Roberto Guimaraes, Jorge Ibáñez, Marta I. Litter y Ramón Pizarro. 2004. Desinfección de Agua. Colección Documentos Ciemat. Eliminación de Contaminantes por Fotocatálisis Heterogénea. Pág. 375 – 387.

14. Maria L. Gagliano y Marta I. Litter. 2001. Desinfección Solar de Aguas de Los Pereyra (Tucumán) y del Río de la Plata, Argentina. Desinfección Solar de Aguas en Comunidades Rurales de América Latina. Proyecto OEA AE 141/2001. Pág. 13 – 27.
  
15. Patricia Pulcini R. Donaire y Wilson de F. Jardim. 2001. Desinfección Solar de Aguas de Represa en Campira Grande, Paraíba, Brasil. Desinfección Solar de Aguas en Comunidades Rurales de América Latina. Proyecto OEA AE 141/2001. Pág. 37 – 53.
  
16. Patricia Galarza, Eder Sánchez, Dora Maurtua, Juan Rodríguez, José Solís y Walter Estrada. 2001. Desinfección Solar de Aguas en Tambo Pariachi, Huaycan, Lima, Perú. 2001. Desinfección Solar de Aguas en Comunidades Rurales de América Latina. Proyecto OEA AE 141/2001. Pág. 63 – 98.
  
17. Ramsey Saunders, Winston Mellowes, Ricardo Clarke y Kimberly Kimkeran. 2001. Application of SODIS Technology to Rain and Tap Water Samples from Mayaro, Trinidad & Tobago. Desinfección Solar de Aguas en Comunidades Rurales de América Latina. Proyecto OEA AE 141/2001. Pág. 83 – 87.

18. Detlef Bahnemann. 2004. Photocatalytic water treatment: solar energy applications. Alemania. *Solar Energy* 77 (2004) 445-459.
19. S. Malato Rodríguez, J. Blanco Galvez, M.I. Maldonado Rubio, P. Fernandez Ibanez, D. Alarcón Padilla, M. Collares Pereira, J. Farinha Mendes, J. Correia de Oliveira. 2004. Engineering of Solar photocatalytic collectors. *Solar Energy* 77 (2004) 513-524.
20. Toshiyuki Oyama, Akio Aoshima, Satoshi Horikoshi, Hisao Hidaka, Jincal Zhao, Nick Serpone. 2004. Solar photocatalysis, photodegradation of a commercial detergent in aqueous TiO<sub>2</sub> dispersions under sunlight irradiation. *Solar Energy* 77 (2004) 525-532.
21. O.A. McLoughlin, P. Fernandez Ibanez, W. Gerjank, S. Malato Rodriguez, L.W. Gill. 2004. Photocatalytic disinfection of water using low cost compound parabolic collectors. *Solar Energy* 77 (2004) 625-633.