



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Química

**CUANTIFICACIÓN DE LA PRESENCIA DE GLUFOSINATO EN LOS LODOS ACTIVADOS,  
PARA EL MEJORAMIENTO DE LA EFICIENCIA DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE  
AGUAS RESIDUALES**

**Héctor Federico Fuentes Saquich**

Asesorado por el Ing. Aldo Alexander Portillo Nájera

Guatemala, octubre de 2008.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**CUANTIFICACIÓN DE LA PRESENCIA DE GLUFOSINATO EN LOS LODOS ACTIVADOS,  
PARA EL MEJORAMIENTO DE LA EFICIENCIA DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE  
AGUAS RESIDUALES**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**HECTOR FEDERICO FUENTES SAQUICH**

ASESORADO POR EL Ing. ALDO ALEXANDER PORTILLO NÁJERA  
AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE  
**INGENIERO QUÍMICO**

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2008.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

|            |       |  |
|------------|-------|--|
| DECANO     | Ing.  | Murphy Olympo Paiz Recinos             |
| VOCAL I    | Inga. | Glenda Patricia García Soria           |
| VOCAL II   | Inga. | Alba Maritza Guerrero Spínola de López |
| VOCAL III  | Ing.  | Miguel Ángel Dávila Calderón           |
| VOCAL IV   | Br.   | José Milton de León Bran               |
| VOCAL V    | Br.   | Isaac Sultán Mejía                     |
| SECRETARIA | Inga. | Marcia Ivónne Véliz Vargas             |

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

|            |       |                                 |
|------------|-------|---------------------------------|
| DECANO     | Ing.  | Murphy Olympo Paiz Recinos      |
| EXAMINADOR | Ing.  | Carlos Salvador Wong Davi       |
| EXAMINADOR | Ing.  | Jaime Domingo Carranza González |
| EXAMINADOR | Ing.  | Víctor Herbert de León Morales  |
| SECRETARIA | Inga. | Marcia Ivónne Véliz Vargas      |

**HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

CUANTIFICACIÓN DE LA PRESENCIA DE GLUFOSINATO EN LOS LODOS ACTIVADOS,  
PARA EL MEJORAMIENTO DE LA EFICIENCIA DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE  
AGUAS RESIDUALES,

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, el 14 Julio de 2008.



**HECTOR FEDERICO FUENTES SAQUICH**

Guatemala, 17 de Octubre del 2008

Ingeniero  
Williams Álvarez  
Director Escuela Ingeniería Química  
Facultad de Ingeniería  
Presente

Estimado Ingeniero Álvarez:

Por este medio hago de su conocimiento que he revisado el trabajo de graduación del estudiante Héctor Federico Fuentes Saquich, titulado "CUANTIFICACIÓN DE LA PRESENCIA DE GLUFOSINATO EN LOS LODOS ACTIVADOS PARA EL MEJORAMIENTO DE LA EFICIENCIA DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES", encontrando el trabajo satisfactorio.

Sin otro particular y agradeciéndole la atención que sirva dar a la presente le saluda;



Ing. Aldo Alexander Portillo Najera  
Asesor  
Colegiado 972



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

---

Guatemala, 16 de Octubre del 2008  
Ref. EQ.0297.2008

Ingeniero  
Williams Guillermo Álvarez Mejía  
DIRECTOR  
Escuela de Ingeniería Química  
Facultad de Ingeniería  
Presente.

Estimado Ingeniero Álvarez:

Como consta en el Acta TG-089-08-B-IF le informo que reunidos los Miembros del Tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química, se practicó la revisión del informe final del trabajo de graduación, para optar al título de INGENIERO QUÍMICO al estudiante universitario HÉCTOR FEDERICO FUENTES SAQUICH, identificado con carné No. 1994-15443, titulado: "CUANTIFICACIÓN DE LA PRESENCIA DE GLUFOSINATO EN LOS LODOS ACTIVADOS PARA EL MEJORAMIENTO DE LA EFICIENCIA DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES", el cual ha sido asesorado por el Ingeniero Químico Aldo Alexander Portillo Nájera, como consta en el Acta.

Habiendo encontrado el referido informe final satisfactorio, se procede a recomendarle autorice al estudiante Fuentes Saquich proceder con los trámites requeridos de acuerdo a normas y procedimientos establecidos por la Facultad para su autorización e impresión.

"D Y ENSEÑAR A TODOS"

Inga Tatiana Lizaly de León Ariana, M.Sc.

COORDINADORA  
Tribunal que revisó el informe final  
Del trabajo de graduación



ESCUELA DE  
INGENIERÍA QUÍMICA

Gcc: archivo



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA.

---

El Director de la Escuela de Ingeniería Química Ing. Williams Guillermo Álvarez Mejía, M.Sc. Después de conocer el dictamen del Asesor y de los Miembros del Tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química para revisar el trabajo de graduación del estudiante Héctor Federico Fuentes Saquich titulado: "CUANTIFICACIÓN DE LA PRESENCIA DE GLUFOSINATO EN LOS LODOS ACTIVADOS, PARA EL MEJORAMIENTO DE LA EFICIENCIA DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES", procede a la autorización del mismo, ya que reúne rigor, coherencia y calidad requeridos.

  
Ing. Williams Guillermo Álvarez Mejía M.Sc.  
DIRECTOR ESCUELA INGENIERÍA QUÍMICA.



Guatemala, octubre de 2008

UNIVERSIDAD DE GUATEMALA



Facultad de Ingeniería  
Decanato

Ref. DTG.368.08

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al trabajo de graduación titulado: **CUANTIFICACIÓN DE LA PRESENCIA DE GLUFOSINATO EN LOS LODOS ACTIVADOS, PARA EL MEJORAMIENTO DE LA EFICIENCIA DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES**, presentado por el estudiante universitario Héctor Federico Fuentes Saquich, procede a la autorización para la impresión del mismo.

IMPRIMASE.

Ing. Murphy Olimpo Paiz Recinos  
DECANO

Guatemala, Octubre de 2008



/cc



## DEDICATORIA A

Dios

Por guiarme e iluminarme en seguir adelante.  
Base fundamental en mi vida.

Mis padres

Grandes ejemplos en mi vida; a ellos les debo  
todo lo que soy y todo lo que tengo.

Mi esposa

Por apoyarme y alentarme en todo momento.  
Parte importante en mi vida, y mostrarme el  
camino a seguir cada día.

Mis Hijos

Por inspirarme y que este acto de graduación  
sea un ejemplo para ellos.

Mis hermanas

Por ayudarme a alcanzar este triunfo.

Mis familiares y amigos

Por su apoyo incondicional.



## ÍNDICE GENERAL

|   |             |
|---|-------------|
| <b>ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....</b>                       | <b>V</b>    |
| <b>LISTA DE SÍMBOLOS.....</b>                             | <b>VII</b>  |
| <b>GLOSARIO.....</b>                                      | <b>IX</b>   |
| <b>RESUMEN.....</b>                                       | <b>XIII</b> |
| <b>OBJETIVOS.....</b>                                     | <b>XV</b>   |
| <b>HIPÓTESIS.....</b>                                     | <b>XVI</b>  |
| <b>INTRODUCCIÓN.....</b>                                  | <b>XVII</b> |
| <br>  |             |
| <b>1. MARCO TEÓRICO</b>                                   |             |
| <b>1.1 AGUAS RESIDUALES.....</b>                          | <b>1</b>    |
| <br>  |             |
| <b>1.2 PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.....</b> | <b>3</b>    |
| 1.2.1. Tratamiento físico-químico.....                    | 3           |
| 1.2.2. Tratamiento biológico.....                         | 4           |
| 1.2.3 Tratamiento químico.....                            | 4           |
| 1.2.4 Etapas del tratamiento.....                         | 4           |
| 1.2.4.1 Tratamiento primario.....                         | 4           |
| 1.2.4.1.1 Remoción de sólidos.....                        | 4           |
| 1.2.4.1.2 Remoción de arena.....                          | 5           |
| 1.2.4.1.3 Separación y maceración.....                    | 5           |
| 1.2.4.1.4 Sedimentación.....                              | 6           |
| 1.2.4.2 Tratamiento secundario.....                       | 6           |
| 1.2.4.2.1 Filtros de desbaste.....                        | 7           |

|   |           |
|---|-----------|
| 1.2.4.2.2 Lodos activos.....                              | 8         |
| 1.2.4.2.3 Camas filtrantes.....                           | 8         |
| 1.2.4.2.4 Placas rotativas y espirales.....               | 9         |
| 1.2.4.2.5 Reactor biológico de cama móvil.....            | 9         |
| 1.2.4.2.6 Filtros aireados biológicos.....                | 10        |
| 1.2.4.2.7 Reactores biológicos de la membrana.....        | 10        |
| 1.2.4.2.8 Sedimentación secundaria.....                   | 11        |
| 1.2.4.3 Tratamiento terciario.....                        | 11        |
| 1.2.4.3.1 Filtración.....                                 | 11        |
| 1.2.4.3.2 Lagunaje.....                                   | 12        |
| 1.2.4.3.3 Tierras húmedas construidas.....                | 12        |
| 1.2.4.3.4 Remoción de nutrientes.....                     | 12        |
| 1.2.4.3.5 Desinfección.....                               | 14        |
| 1.2.5 Plantas de paquete y reactores de tratamientos..... | 17        |
| 1.2.6 Tratamientos de los lodos.....                      | 18        |
| 1.2.6.1 Digestión anaeróbica.....                         | 18        |
| 1.2.6.2 Digestión aeróbica.....                           | 19        |
| <b>1.3 LODOS ACTIVADOS.....</b>                           | <b>21</b> |
| 1.3.1 La aireación modificada.....                        | 25        |
| 1.3.2 La aireación activada.....                          | 25        |
| 1.3.3 La aireación en punta.....                          | 25        |
| 1.3.4 La aireación por pasos o fases.....                 | 26        |
| <b>1.4 INTRODUCCIÓN A LOS ÓRGANO - FOSFORADOS</b>         | <b>31</b> |
| 1.4.1 Usos.....   | 32        |
| 1.4.2 Propiedades de los órgano fosforados.....           | 32        |

|  |           |
|--|-----------|
| 1.4.3 Presentaciones.....  | 32        |
| 1.4.4 Características químicas.....  | 33        |
| 1.4.5 Toxicidad del órgano fosforado.....  | 34        |
| 1.4.5.1 Toxicodinamia.....   | 34        |
| 1.4.6 Biotransformación.....   | 34        |
| 1.4.7 Eliminación.....   | 35        |
| 1.4.8 Mecanismo de reacción.....   | 35        |
| <b>1.5 GLUFOSINATO.....</b>  | <b>37</b> |
| 1.5.1 Presentaciones comerciales.....  | 38        |
| 1.5.2 Hoja de seguridad del glufosinato.....   | 38        |
| <b>1.6 CROMATOGRAFÍA LÍQUIDA DE ALTA RESOLUCIÓN.....</b>   | <b>41</b> |
| 1.6.1 Selección de un método de cromatografía líquida.....   | 43        |
| <b>1.7 VALIDACIÓN DE MÉTODOS ANALÍTICOS.....</b>   | <b>47</b> |
| 1.7.1 Validación de métodos analíticos por cromatografía líquida<br>de alta resolución (HPLC)..... | 48        |
| <b>1.8 METODOLOGÍA.....</b>  | <b>51</b> |
| 1.8.1 Recursos humanos necesarios.....   | 51        |
| 1.8.2 Recursos físicos necesarios.....   | 51        |
| 1.8.3 Materiales, equipo y método.....   | 52        |
| 1.8.4 Toma de muestras.....  | 53        |
| 1.8.5 Procedimiento de cuantificación.....   | 54        |
| 1.8.6 Procedimiento general.....   | 54        |

|                                       |           |
|---------------------------------------|-----------|
| <b>2 RESULTADOS.....</b>              | <b>57</b> |
| <b>3 DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....</b> | <b>61</b> |
| <br>                                  |           |
| <b>CONCLUSIONES.....</b>              | <b>65</b> |
| <b>RECOMENDACIONES.....</b>           | <b>67</b> |
| <b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>              | <b>69</b> |
| <b>APÉNDICE.....</b>                  | <b>71</b> |

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

|   |  |    |
|---|--|----|
| 1 | Origen y destino de las aguas residuales                     | 3  |
| 2 | Áreas cromatográficas de estándares                          | 57 |
| 3 | Datos de las concentraciones obtenidas de glufosinato en g/l | 58 |
| 4 | Resultados DQO.  | 59 |

### TABLAS

|      |   |    |
|------|---|----|
| I    | Mecanismos de cromatografía líquida   | 42 |
| II   | Datos de las áreas cromatográficas de las lecturas de los estándares  | 57 |
| III  | Datos de las áreas cromatográficas de las concentraciones obtenidas de glufosinato en g/L   | 58 |
| IV   | Datos de DQO obtenidos en mg/L  | 59 |
| V    | Datos de las áreas cromatográficas de las lecturas de estándares.   | 71 |
| VI   | Datos de las áreas cromatográficas de los lodos activados en ausencia de glufosinato.   | 71 |
| VII  | Datos de las áreas cromatográficas de las lecturas de la muestra M constituida por 900mL de lodos + 100mL de técnico glufosinato a 1105.28 ppm. | 72 |
| VIII | Datos de las áreas cromatográficas de las lecturas de la muestra N constituida por 700mL de lodos + 300mL de técnico glufosinato a 1105.28 ppm. | 73 |
| IX   | Datos de las áreas cromatográficas de las lecturas de la muestra Ñ  | 74 |

constituida por 500mL de lodos + 500mL de técnico glufosinato a 1105.28 ppm.

|      |   |    |
|------|---|----|
| X    | Datos de las áreas cromatográficas de las lecturas de la muestra O constituida por 300mL de lodos + 700mL de técnico glufosinato a 1105.28 ppm. | 75 |
| XI   | Datos de las áreas cromatográficas de las lecturas de la muestra P constituida por 100mL de lodos + 900mL de técnico glufosinato a 1105.28 ppm. | 76 |
| XII  | Datos de las áreas cromatográficas totales de las muestras.   | 76 |
| XIII | Datos de las áreas cromatográficas de glufosinato (Área blanco de lodos - Área muestra) .   | 77 |
| XIV  | Datos obtenidos de la titulación para el cálculo del DQO  | 79 |



## LISTA DE SÍMBOLOS

| SÍMBOLO        | SIGNIFICADO  |
|----------------|--|
| DDT            | Plaguicidas sintéticos                                 |
| DBO            | Demanda Bioquímica de Oxígeno                          |
| MBBR           | Reactor biológico de cama móvil                        |
| MLSS           | Licor mezclado de sólidos                              |
| RAS            | Retorno de lodos activados                             |
| BAF            | Filtros aireados biológicos                            |
| MBR            | Reactores biológicos de las membranas                  |
| UV             | Ultravioleta   |
| O <sub>3</sub> | Ozono  |
| O <sub>2</sub> | Oxígeno  |
| MLSS           | Licor mezclado de sólidos en suspensión                |
| MLVSS          | Licor mezclado de los volátiles sólidos en suspensión. |

|       |  |
|-------|--|
| MCRT  | Licor mezclado constante de tiempo de residencia |
| IA    | Ingrediente Activo                               |
| DL    | Dosis Letal                                      |
| CLL   | Cromatografía Líquido Líquido                    |
| HPLC  | Cromatografía líquida de alta resolución         |
| CV    | Coefficiente de variación                        |
| TR    | Tiempo de Residencia                             |
| pH    | Potencial de Hidrógeno                           |
| % v/v | Porcentaje de volumen de lodos activados         |
| [ ]   | Concentración                                    |

## GLOSARIO

|               |   |
|---------------|---|
| Aireación     | Circulación de aire que garantice las condiciones aeróbicas en el proceso.  |
| Alúmina       | Es el óxido de aluminio ( $Al_2O_3$ ).  |
| Cromatografía | Conjunto de técnicas basadas en el principio de retención selectiva cuyo objetivo es separar los distintos componentes de una mezcla y en algunos casos identificar éstos si es que no se conoce su composición.  |
| Dosis tóxica  | Es aquella que produce algún efecto dañino en el organismo.   |
| DBO           | También denominada demanda bioquímica de oxígeno, (DBO) es un parámetro que mide la cantidad de materia susceptible de ser consumida u oxidada por medios biológicos que contiene una muestra líquida, y se utiliza para determinar su grado de contaminación. Normalmente se mide transcurridos 5 días ( $DBO_5$ ) y se expresa en $mg\ O_2/litro$ . |
| DQO           | Demanda Química de Oxígeno, es la cantidad de oxígeno requerida para oxidar la materia orgánica e inorgánica contenida en el agua, después de corregir la influencia de los cloruros. Es la   |

|                     |  |
|---------------------|--|
|                     | cantidad de oxígeno requerido para la oxidación de la materia orgánica a partir de un oxidante químico fuerte.   |
| Enzimas             | Sustancias de naturaleza proteica que catalizan reacciones químicas, siempre que sea termodinámicamente posible.   |
| Fitoremediación     | Se describe el tratamiento de los problemas ambientales (biorremediación) mediante el uso de las plantas.  |
| Fluidos hidráulicos | Grupo grande de líquidos compuestos de muchos tipos de sustancias químicas.  |
| Fungicidas          | Sustancias tóxicas que se emplean para impedir el crecimiento o para matar los hongos perjudiciales para las plantas, los animales o el ser humano.  |
| Herbicida           | Producto fitosanitario utilizado para matar plantas indeseadas.  |
| Insecticida         | Compuesto químico utilizado para matar insectos normalmente, mediante la inhibición de enzimas vitales. El origen etimológico de la palabra insecticida deriva del latín y significa literalmente matar insectos.                      |
| Macrofitos          | Macrófitas son plantas acuáticas, que crecen en o cerca del agua que son emergentes o flotantes. Macrófitos son beneficiosos para los lagos, porque proporcionan cobertura para los peces y sustrato para los invertebrados acuáticos. |

|                        |  |
|------------------------|--|
| Membrana semipermeable | Se trata de una membrana que permite el paso preferencial de ciertas sustancias presentes en una disolución frente a otras. La parte que ha atravesado la membrana se conoce como permeado y la que no es el rechazo.  |
| Nematicidas            | Compuesto contra nematodos (gusanos microscópicos que viven en el suelo y se alimentan de las raíces).   |
| Plagas                 | Situación en la cual un animal produce daños económicos, normalmente físicos, a intereses de las personas (salud, plantas cultivadas, animales domésticos, materiales o medios naturales).   |
| Plaguicidas            | Sustancias químicas utilizadas para controlar, prevenir o destruir las plagas que afectan a las plantaciones agrícolas. La mayoría de estas sustancias son fabricadas por el hombre, por eso son llamados plaguicidas sintéticos. La producción de estas sustancias surge a partir de la Segunda Guerra Mundial, donde los países industrializados inician la fabricación de plaguicidas con carácter comercial con el fin de aumentar la producción agrícola. |
| Plastificante          | Sustancia que cuando se añade a un material, normalmente a un plástico, da como resultado un producto flexible, resistente y más fácil de manejar.   |

|                     |  |
|---------------------|--|
| Polaridad           | Propiedad de las moléculas que representa la desigualdad de las cargas eléctricas en la misma. Esta propiedad se relaciona con otras propiedades químicas y físicas como la solubilidad, punto de fusión, punto de ebullición, fuerza intermolecular, etc.   |
| Proceso Graus       | Este proceso se aplica al tratamiento de aguas residuales que presentan diferencias de nitrógeno. El método consiste en airear el sobrante de los digestores de lodo en un tanque separado por 24 horas, para convertir en nitrógeno amoniacal en nitrato, y después mezclarlo con el lodo activado de retorno al tanque de aireación. |
| Resina              | Es cualquiera de las sustancias de secreción de las plantas con aspecto y propiedades más o menos análogas a las de los productos así denominados.   |
| Sílice              | Compuesto resultado de la mezcla entre silicio y oxígeno: $\text{Si} + \text{O} = \text{dióxido de silicio o sílice}$ . Abundante en la naturaleza.  |
| Sólidos suspendidos | Son los residuos filtrados del agua, desecados a la temperatura normalizada, después de haberlos lavado con un disolvente orgánico con el fin de eliminar aceites.   |



## RESUMEN

El presente trabajo es un estudio sobre la eficiencia de una planta de tratamiento de aguas residuales con respecto a la degradación del glufosinato en los lodos activados. Siendo el glufosinato un producto organofosforado utilizado en la industria agroquímica.

Para tal fin se evalúan comparativamente las distintas concentraciones de glufosinato adicionado a las muestras de lodos activados cada hora en un período de cinco horas, en el cual se encuentra que la planta de tratamiento es eficiente y se determina la concentración óptima en la cual se puede degradar el glufosinato.

Asimismo se evalúa la capacidad de la planta de tratamiento por proceso biológico de degradación por medio de los niveles detectados de DQO en los lodos activados y se encuentra que la planta sí puede degradar glufosinato eficazmente, y se determinan las condiciones en la cual esta degradación es eficaz.

Para dichos análisis fue utilizada la cromatografía líquida de alta resolución, HPLC, en el cual se utilizó un método existente propiedad de la empresa donde se realizó el estudio, método que se revalidó y utilizó en el desarrollo del trabajo.



## OBJETIVOS

- General

Mejorar la eficiencia de una planta de tratamiento de aguas residuales mediante la cuantificación de la cantidad presente de glufosinato en la parte de sus lodos activados.

- Específicos

1. Validar el método de cromatografía líquida de alta resolución para determinar la concentración del glufosinato en lodos activados.
2. Cuantificar la presencia de glufosinato en una planta de tratamientos en la parte de sus lodos activados en condiciones controladas.
3. Determinar la capacidad en una planta de tratamiento de aguas residuales en la parte de sus lodos activados por medio de la demanda química de oxígeno.

## **HIPÓTESIS**

Es posible mejorar la eficiencia de una planta de tratamiento de aguas residuales mediante la cuantificación del glufosinato que puede ser tratado en la parte de sus lodos activados.

## INTRODUCCIÓN

La problemática de plagas y enfermedades en cultivos es importante en las distintas regiones de Guatemala. El paso de huracanes y fenómenos naturales de toda índole demandan mayor atención a los cultivos que están expuestos al aire libre.

Las siguientes características son de mayor importancia:

- Condiciones climáticas fuera de los invernaderos, que durante el invierno permite la supervivencia de las poblaciones de las plagas, y dentro de los invernaderos, que hace que el incremento de las poblaciones de plagas y enfermedades sea muy rápido.
- Ciclo de los cultivos en los invernaderos distintos a los cultivos al aire libre que determinadas épocas del año originan que sólo los cultivos en ellos puedan existir.
- Agronomía de los cultivos con una mayor intensificación: densidad de plantas, fertilización, podas, recolección, etc. Que da lugar a una mayor severidad de plagas y enfermedades.
- Introducción continua de nuevas variedades en los cultivos que pueden desarrollar enfermedades y plagas propias.
- Tipos y estructura de los invernaderos que no impiden las infestaciones.

Todo ello da lugar a una gran incidencia y diversidad de plagas y enfermedades que deben ser necesariamente controladas. Este control supone un uso importante de plaguicidas en la agricultura del país y conlleva una serie de riesgos medioambientales.

La mala aplicación y dosificación de los plaguicidas pueden contaminar el medio ambiente a través de distintas rutas, dependiendo de sus propiedades físico-químicas y de las condiciones medioambientales.

Determinados plaguicidas, como los de alto grado de toxicidad, en su preparación y aplicación con agua deben ser bastante diluidos, ya que pueden permanecer más tiempo. La contaminación medioambiental que ha recibido mayor atención en los últimos años ha sido la del agua, tanto superficial como subterránea. El hecho de que muchos plaguicidas se apliquen al suelo, donde deben persistir durante un cierto tiempo para poder controlar las plagas, puede explicar que las concentraciones encontradas en esta agua sean a menudo relevantes [Chiron, 1995; Gómez de Barreda, 1991; Koplíng, 1996].

Además de su aplicación en cultivos, los plaguicidas pueden llegar al agua, procedentes de otras prácticas: aguas de desecho de industrias agroalimentarias, aguas de desecho de plantas productoras de plaguicidas, aguas de lavado procedente de contenedores y equipos de pulverización.

En las plantas productoras de plaguicidas existe el compromiso de garantizar a la mayor escala posible la calidad de agua de desecho, cuentan con plantas de tratamiento, que a su vez deben tener una gran eficiencia. Por lo que es importante determinar los residuos presentes en cada una de las fases, pero con mayor énfasis en los lodos activados.

Para mejorar la eficiencia de las plantas de tratamientos en la parte de sus lodos activados, es necesario encontrar el valor permisible de degradación, éste a la vez puede ser determinado por medio experimental.

# 1. MARCO TEÓRICO

## 1.1 Aguas residuales

El término agua negra, más comúnmente utilizado en plural, aguas negras, define un tipo de agua que está contaminada con sustancias fecales y orina, procedentes de desechos orgánicos humanos o animales. Su importancia es tal que requiere sistemas de canalización, tratamiento y desalojo. Su tratamiento nulo o indebido genera graves problemas de contaminación.

A las aguas negras también se les llama aguas servidas, aguas residuales, aguas fecales, o aguas cloacales. Son residuales, habiendo sido usada el agua, constituyen un residuo, algo que no sirve para el usuario directo; son negras por el color que habitualmente tienen, y cloacales porque son transportadas mediante alcantarillado, nombre que se le da habitualmente al colector.

Algunos autores hacen una diferencia entre aguas servidas y aguas residuales en el sentido que las primeras sólo provendrían del uso doméstico y las segundas corresponderían a la mezcla de aguas domésticas e industriales.

En todo caso, están constituidas por todas aquellas aguas que son conducidas por el alcantarillado e incluyen, a veces, las aguas de lluvia y las infiltraciones de agua del terreno.

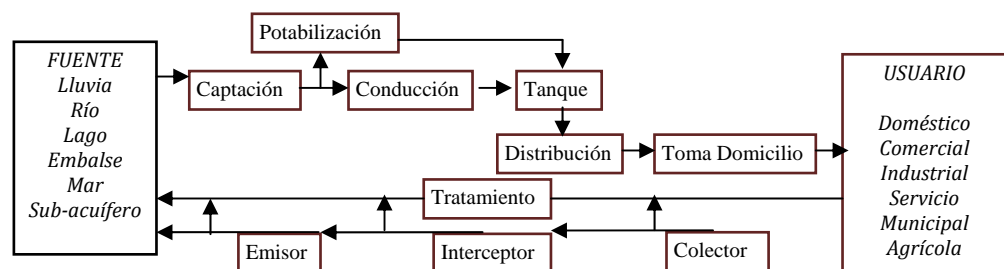
Las aguas residuales son generadas por residencias, instituciones y locales comerciales e industriales. Estas pueden ser tratadas dentro del sitio en el cual son generadas (por ejemplo: tanques sépticos u otros medios de depuración) o recogidas y llevadas mediante una red de tuberías y eventualmente bombas a una planta de tratamiento municipal.

Los esfuerzos para coleccionar y tratar las aguas residuales domésticas de la descarga están típicamente sujetas a regulaciones y estándares locales, estatales y federales (regulaciones y controles). Los recursos industriales de aguas residuales, a menudo requieren procesos de tratamiento especializado.

## 1.2 Planta de tratamiento de aguas residuales

Las aguas residuales, mezcladas con contaminantes procedentes de todo tipo de uso que exista en una comunidad, son desalojadas del lugar, por medio de tuberías y son redistribuidas hacia depósitos de abastecimiento. Posteriormente por el emisor son enviadas al suelo o a lugares de riego, en ocasiones sin tratamiento, lo que debe evitarse ya que siempre es necesario construir y operar adecuadamente una planta de tratamiento (fig. 1).

Figura 1.- Origen y destino de las aguas residuales.



Fuente: Masten, Susan. Ingeniería y ciencias ambientales. Mc Graw Hill 2005

### 1.2.1 Tratamiento físico-químico

- Remoción de sólidos
- Remoción de arena
- Precipitación con o sin ayuda de coagulantes o floculantes
- Separación y filtración de sólidos.

El agregado de cloruro férrico ayuda a precipitar para favorecer la remoción de fósforo y los sólidos biológicos.



### **1.2.2 Tratamiento biológico**

- Lechos oxidantes o sistemas aeróbicos
- Post – precipitación
- Liberación al medio de efluentes, con o sin desinfección según las normas de cada lugar.

### **1.2.3 Tratamiento químico**

- Eliminación del hierro del agua potable
- Eliminación del oxígeno del agua de las centrales térmicas
- Eliminación de los fosfatos de las aguas residuales domésticas.

### **1.2.4 Etapas del tratamiento**

#### **1.2.4.1 Tratamiento primario**

El tratamiento primario es para reducir aceites, grasas, arenas y sólidos gruesos. Este paso está enteramente hecho con maquinaria, de ahí conocido también como tratamiento mecánico.

##### **1.2.4.1.1 Remoción de sólidos**

En el tratamiento mecánico, el afluente es filtrado en cámaras de rejillas para eliminar todos los objetos grandes que son depositados en el sistema de alcantarillado, tales como trapos, barras, condones, compresas, tampones, latas, frutas, papel higiénico, etc.

Este tipo de basura se elimina porque puede dañar equipos sensibles en la planta de tratamiento de aguas residuales, además, los tratamientos biológicos no están diseñados para tratar sólidos.

#### **1.2.4.1.2 Remoción de arena**

Esta etapa (también conocida como escaneo o maceración) típicamente incluye un canal de arena donde la velocidad de las aguas residuales es cuidadosamente controlada para permitir que la arena y las piedras de ésta tomen partículas, pero todavía se mantiene la mayoría del material orgánico con el flujo. Este equipo es llamado colector de arena. La arena y las piedras necesitan ser quitadas a tiempo en el proceso para prevenir daño en las bombas y otros equipos en las etapas restantes del tratamiento.

#### **1.2.4.1.3 Separación y maceración**

El líquido libre de abrasivos es pasado a través de pantallas arregladas o rotatorias para remover material flotante, materia grande y partículas pequeñas. Los residuos son colectados y podrán ser regresados a la planta de tratamiento de lodos o podrán ser dispuestos al exterior hacia campos o incineración. En la maceración, los sólidos son cortados en partículas pequeñas a través del uso de cuchillos rotatorios montados en un cilindro homogenizador. Los sólidos macerados son utilizados en plantas que pueden procesar esta basura en partículas.

#### **1.2.4.1.4 Sedimentación**

Muchas plantas tienen una etapa de sedimentación donde el agua residual se pasa a través de grandes tanques circulares o rectangulares. Estos tanques son comúnmente llamados clarificadores primarios o tanques de sedimentación primarios. Los tanques son lo suficientemente grandes que los sólidos fecales pueden situarse y el material flotante como la grasa y plásticos pueden levantarse hacia la superficie y desnatarse.

El propósito principal de la etapa primaria es producir generalmente un líquido homogéneo capaz de ser tratado biológicamente y de unos lodos que pueden ser tratados separadamente. Los tanques primarios del establecimiento se equipan generalmente con raspadores activados mecánicamente que conducen continuamente los lodos recogidos hacia una tolva en la base del tanque donde mediante una bomba puede llevarse hacia otras etapas del tratamiento.

#### **1.2.4.2 Tratamiento secundario**

El tratamiento secundario es designado para sustancialmente degradar el contenido biológico de las aguas residuales que se derivan de la basura humana, basura de comida, jabones y detergentes.

La mayoría de las plantas municipales e industriales trata el licor de las aguas residuales usando procesos biológicos aeróbicos. Para que sea efectivo el proceso biótico, requiere oxígeno y un substrato en el cual vivir.

Hay un número grande de maneras en la cual esto está hecho. En todos estos métodos, las bacterias y los protozoarios consumen contaminantes orgánicos solubles biodegradables (por ejemplo: azúcares, grasas, moléculas de carbón orgánico, etc.) y unen muchas de las pocas fracciones solubles en partículas de flóculo. Los sistemas de tratamiento secundario son clasificados como película fija o crecimiento suspendido. En los sistemas fijos de película –como los filtros de roca- la biomasa crece en el medio y el agua residual pasa a través de él.

En el sistema de crecimiento suspendido –como lodos activos- la biomasa está bien combinada con las aguas residuales. Típicamente, los sistemas fijos de película requieren superficies más pequeñas que para un sistema suspendido equivalente del crecimiento, sin embargo, los sistemas de crecimiento suspendido son más capaces ante choques en el cargamento biológico y provee cantidades más altas del retiro para el DBO y los sólidos suspendidos que sistemas fijados de película.

#### **1.2.4.2.1 Filtros de desbaste**

Los filtros de desbaste son utilizados para tratar particularmente cargas orgánicas fuertes o variables, típicamente industriales, para permitirles ser tratados por procesos de tratamiento secundario.

Son filtros típicamente altos, filtros circulares llenados con un filtro abierto sintético en el cual las aguas residuales son aplicadas en una cantidad relativamente alta. El diseño de los filtros permite una alta descarga hidráulica y un alto flujo de aire. En instalaciones más grandes, el aire es forzado a través del medio usando sopladores. El líquido resultante está usualmente con el rango normal para los procesos convencionales de tratamiento.

#### **1.2.4.2.2 Lodos activos**

Las plantas de lodos activos usan una variedad de mecanismos y procesos para usar oxígeno disuelto y promover el crecimiento de organismos biológicos que remueven substancialmente materia orgánica. También pueden atrapar partículas de material y pueden, bajo condiciones ideales, convertir amoniaco en nitrito y nitrato, y en última instancia a gas nitrógeno.

#### **1.2.4.2.3 Camas filtrantes (camas de oxidación)**

Se usa la capa filtrante de goteo colocando plantas más viejas y plantas receptoras de cargas más variables.

Las camas filtrantes son utilizadas donde el licor de las aguas residuales es rociado en la superficie de una profunda cama compuesta de coque (carbón, piedra caliza o fabricada especialmente de medios plásticos). Tales medios deben tener altas superficies para soportar los biofilms que se forman.

El licor es distribuido mediante unos brazos perforados rotativos que irradian de un pivote central. El licor distribuido gotea en la cama y es recogido en drenajes en la base. Estos drenes también proporcionan un recurso de aire que se infiltra hacia arriba de la cama, manteniendo un medio aerobio. Las películas biológicas de bacteria, protozoarios y hongos se forman en la superficie media y se comen o reducen los contenidos orgánicos. Este biofilm es alimentado a menudo por insectos y gusanos, los cuales atraen pájaros.

#### **1.2.4.2.4 Placas rotativas y espirales**

En algunas plantas pequeñas son usadas placas o espirales de revolvimiento lento que son parcialmente sumergidas en un licor. Se crea un flóculo biótico que proporciona el substrato requerido.

#### **1.2.4.2.5 Reactor biológico de cama móvil**

El reactor biológico de cama móvil (MBBR, por sus siglas en inglés) asume la adición de medios inertes en vasijas de lodos activos existentes para proveer sitios activos que se adjunten la biomasa.

Esta conversión da como resultado un sistema de crecimiento. Las ventajas de los sistemas de crecimiento adjunto son

- Mantener una alta densidad de población de biomasa
- Incrementar la eficiencia del sistema sin la necesidad de incrementar la concentración del licor mezclado de sólidos (MLSS)
- Eliminar el costo de operación de la línea de retorno de lodos activos (RAS).

#### **1.2.4.2.6 Filtros aireados biológicos**

Los filtros aireados biológicos (BAF) combinan la filtración con reducción biológica de carbono, nitrificación o desnitrificación. Los BAF incluyen usualmente un reactor lleno de medios de un filtro. Los medios están en la suspensión o apoyados por una capa en el pie del filtro. El propósito doble de este medio es soportar altamente la biomasa activa que se une a él y a los sólidos suspendidos del filtro.

La reducción del carbón y la conversión del amoníaco ocurre en medio aerobio y alguna vez alcanzado en un sólo reactor mientras la conversión del nitrato ocurre en una manera anóxica. Los BAF son también operados en flujo alto o flujo bajo dependiendo del diseño especificado por el fabricante.

#### **1.2.4.2.7 Reactores biológicos de la membrana**

Los reactores biológicos de la membrana (MBR) son un sistema con una barrera de membrana semipermeable o en conjunto con un proceso de lodos. Esta tecnología garantiza la remoción de todos los contaminantes suspendidos y algunos disueltos.

La limitación de los sistemas MBR es directamente proporcional a la eficaz reducción de nutrientes del proceso de lodos activos. El coste de construcción y operación de MBR es usualmente más alto que el de un tratamiento de aguas residuales convencional de esta clase de filtros.

#### **1.2.4.2.8 Sedimentación secundaria**

El paso final de la etapa secundaria del tratamiento es retirar los flóculos biológicos del material de filtro y producir agua tratada con bajos niveles de materia orgánica y materia suspendida.

#### **1.2.4.3 Tratamiento terciario**

El tratamiento terciario proporciona una etapa final para aumentar la calidad del efluente al estándar requerido antes de que éste sea descargado al ambiente receptor (mar, río, lago, campo, etc.) Más de un proceso terciario del tratamiento puede ser usado en una planta de tratamiento. Si la desinfección se practica al final del proceso, es llamado pulido de efluente.

##### **1.2.4.3.1 Filtración**

La filtración de arena remueve gran parte de los residuos de materia suspendida. El carbón activado sobrante de la filtración remueve las toxinas residuales.



#### **1.2.4.3.2 Lagunaje**

El tratamiento de lagunas proporciona el establecimiento necesario y fomenta la mejora biológica de almacenaje en pozas o lagunas artificiales. Estas lagunas son altamente aerobias y la colonización por los macrófitos nativos, especialmente cañas, se dan a menudo. Los invertebrados de alimentación del filtro pequeño tales como Daphnia y especies de Rotifera asisten grandemente al tratamiento removiendo partículas finas.

#### **1.2.4.3.3 Tierras húmedas construídas**

Las tierras húmedas construídas incluyen camas de caña y un rango similar de metodologías similares que proporcionan un alto grado de mejora biológica aerobia y pueden ser utilizadas a menudo en lugar del tratamiento secundario para las comunidades pequeñas, también para la fitoremediación.

#### **1.2.4.3.4 Remoción de nutrientes**

Las aguas residuales pueden también contener altos niveles de nutrientes (nitrógeno y fósforo) que pueden ser tóxicos para peces e invertebrados en concentraciones muy bajas (por ejemplo amoníaco) o puede crear condiciones insanas en el ambiente de recepción (por ejemplo: mala hierba o crecimiento de algas).

Las malas hierbas y las algas pueden parecer estéticamente favorables, pero las algas pueden producir las toxinas, y su muerte y consumo por las bacterias (decaimiento) pueden agotar el oxígeno en el agua y sofocar los pescados y la otra vida acuática.

Cuando se recibe una descarga de los ríos a los lagos o a los mares, los nutrientes agregados pueden causar pérdidas debido a los cambios severos en el medio perdiendo así muchos peces sensibles a la limpieza del agua. El retiro del nitrógeno o del fósforo de las aguas residuales se puede alcanzar mediante la precipitación química o biológica.

La remoción del nitrógeno se efectúa con la oxidación biológica del nitrógeno del amoníaco al nitrato (nitrificación que implica nitrificar bacterias tales como Nitrobacter y Nitrosomonas), y entonces mediante la reducción el nitrato es convertido al gas del nitrógeno (desnitrificación), que se lanza a la atmósfera.

Estas conversiones requieren condiciones cuidadosamente controladas para permitir la formación adecuada de comunidades biológicas. Los filtros de arena, las lagunas y las camas de lámina se pueden utilizar para reducir el nitrógeno. Algunas veces, la conversión del amoníaco tóxico al nitrato solamente se refiere como tratamiento terciario.

El retiro del fósforo se puede efectuar biológicamente en un proceso llamado retiro biológico realizado del fósforo.

En este proceso específicamente bacteriano, los polifosfatos se acumulan en los organismos, se enriquecen y acumulan selectivamente grandes cantidades dentro de las células, teniendo grandes cantidades de fósforo dentro de sus células.

Cuando la biomasa enriquecida en estas bacterias se separa del agua tratada, los sólidos biológicos bacterianos tienen un alto valor fertilizante. El retiro del fósforo se puede alcanzar también, generalmente por la precipitación química con las sales del hierro (por ejemplo: cloruro férrico) o del aluminio (por ejemplo: alumbre).

El lodo químico que resulta, sin embargo, es difícil de operar, y el uso de productos químicos en el proceso del tratamiento es costoso. Aunque esto hace la operación difícil y a menudo sucia, el retiro químico del fósforo requiere una huella significativamente más pequeña del equipo que la de retiro biológico y es más fácil de operar.

#### **1.2.4.3.5 Desinfección**

El propósito de la desinfección en el tratamiento de las aguas residuales es reducir substancialmente el número de organismos vivos en el agua que se descargará nuevamente dentro del ambiente.

La efectividad de la desinfección depende de la calidad del agua que es tratada (por ejemplo: turbiedad, pH, etc.), del tipo de desinfección que se utilice, de la dosis de desinfectante (concentración y tiempo), y de otras variables ambientales.

El agua turbia será tratada con menor éxito puesto que la materia sólida puede blindar organismos, especialmente de la luz ultravioleta o si los tiempos del contacto son bajos. Generalmente, tiempos de contacto cortos, dosis bajas y altos flujos influyen en contra de una desinfección eficaz. Los métodos comunes de desinfección incluyen el ozono, el cloro, o la luz UV.

La desinfección con cloro sigue siendo la forma más común de desinfección de las aguas residuales debido a su bajo historial de costo y del largo plazo de la eficacia.

Una desventaja es que la desinfección con cloro del material orgánico residual puede generar compuestos orgánicamente clorados que pueden ser carcinógenos o dañinos al ambiente.

La clorina o las cloraminas residuales puede también ser capaces de tratar el material como el cloro orgánico en el ambiente acuático natural. Además, porque la clorina residual es tóxica para especies acuáticas, el efluente tratado debe ser químicamente desclorinado, agregándose complejidad y costo del tratamiento.

La luz ultravioleta (UV) se está convirtiendo en el medio más común de la desinfección en algunas regiones del mundo debido a las preocupaciones por los impactos de la clorina en el tratamiento de aguas residuales y en la clorinación orgánica en aguas receptoras. La radiación UV se utiliza para dañar la estructura genética de las bacterias, virus, y otros patógenos, haciéndolos incapaces de la reproducción.

Las desventajas dominantes de la desinfección UV son la necesidad del mantenimiento y del reemplazo frecuentes de la lámpara y la necesidad de un efluente altamente tratado para asegurarse de que los microorganismos objetivo no están blindados de la radiación UV (es decir, cualquier sólido presente en el efluente tratado puede proteger microorganismos contra la luz UV).

El ozono  $O_3$  es generado pasando el  $O_2$  del oxígeno con un potencial de alto voltaje resultando un tercer átomo de oxígeno y que forma  $O_3$ . El ozono es muy inestable y reactivo y oxida la mayoría del material orgánico con que entra en contacto, de tal manera que destruye muchos microorganismos causantes de enfermedades.

El ozono se considera ser más seguro que la clorina porque mientras la clorina tiene que ser almacenada en el lugar (altamente venenoso en caso de un derramamiento accidental), el ozono es colocado según lo necesitado.

La ozonización también produce pocos subproductos de desinfección comparado con la desinfección con cloro. Una desventaja de la desinfección del ozono es el alto coste del equipo de la generación del mismo y las habilidades de los operadores deben ser demasiadas.

### **1.2.5 Plantas de paquete y reactores de tratamiento**

Se han producido las plantas de paquete y los reactores de tratamiento para utilizar menos espacio, para tratar la basura difícil de manipular, y así ocuparse de flujo intermitente o alcanzar estándares ambientales más altos, un número de diseños de las plantas de tratamiento híbridas. Tales plantas combinan a menudo todas o por lo menos dos o tres etapas principales del tratamiento en una etapa combinada. Una gran cantidad de plantas de tratamiento de aguas residuales ayudan a poblaciones pequeñas, las plantas de paquete son una alternativa viable a las estructuras discretas del edificio para cada etapa del proceso.

La desventaja de tales procesos es el control de la sincronización, el mezclarse y la aireación. Esta precisión es alcanzada generalmente por los controles de computadora ligados a muchos sensores en la planta. Un sistema tan complejo, frágil es inadecuado a los lugares en donde los controles pueden ser no fiables, o mal mantenidos, o donde la fuente de alimentación puede ser intermitente.

Las plantas del paquete se pueden referir como el punto alto cargado o punto bajo cargado. Esto se refiere a la manera que se procesa la carga biológica.

En altos sistemas cargados, la etapa biológica se presenta con una alta carga orgánica y el material combinado del flóculo y orgánico, entonces se oxigena por algunas horas antes de ser cargada nuevamente. El sistema cargado bajo la etapa biológica contiene una carga orgánica baja y se combina con el flóculo para un largo plazo, relativamente.

### **1.2.6 El tratamiento de los lodos**

Los sólidos primarios gruesos y los biosólidos secundarios acumulados en un proceso del tratamiento de aguas residuales se deben tratar y disponer de una manera segura y eficaz. Este material a menudo se contamina inadvertidamente con los compuestos orgánicos e inorgánicos tóxicos (por ejemplo: metales pesados).

El propósito de la digestión es reducir la cantidad de materia orgánica y el número de los microorganismos presentes en los sólidos que causan enfermedades. Las opciones más comunes del tratamiento incluyen la digestión anaeróbica, la digestión aeróbica, y el abonamiento.

#### **1.2.6.1 La digestión anaeróbica**

La digestión anaeróbica es un proceso bacteriano que se realiza en ausencia del oxígeno. El proceso puede ser la digestión termofílica en la cual el lodo se fermenta en tanques en una temperatura de 55°C o mesofílica, en una temperatura alrededor de 36°C. Sin embargo, permite tiempo de una retención más corta, así en los pequeños tanques, la digestión termofílica es más expansiva en términos de consumo de energía para calentar el lodo.

La digestión anaeróbica genera biogas con una parte elevada de metano que se puede utilizar para el tanque y los motores o las microturbinas del funcionamiento para otros procesos en sitio. En plantas de tratamiento grandes se puede generar suficiente energía; de esta manera se puede producir más la electricidad que las máquinas requieren.

La generación del metano es una ventaja dominante del proceso anaeróbico. Su desventaja dominante es la del largo plazo requerido para el proceso (hasta 30 días) y el alto costo de capital.

#### **1.2.6.2 Digestión aeróbica**

La digestión aeróbica es un proceso bacteriano que ocurre en presencia del oxígeno. Bajo condiciones aeróbicas, las bacterias consumen rápidamente la materia orgánica y la convierten en el bióxido de carbono. Una vez que haya carencia de la materia orgánica, las bacterias mueren y son utilizadas como alimento por otras bacterias. Esta etapa del proceso se conoce como respiración endógena. La reducción de los sólidos ocurre en esta fase.

Debido a que ocurre la digestión aeróbica mucho más rápidamente, los costos de capital de digestión aerobia son más bajos. Sin embargo, los gastos de funcionamiento son característicos por ser mucho mayores para la digestión aeróbica debido a los costes energéticos para la aireación necesitada para agregar el oxígeno al proceso.





## **1.3 Lodos activados**

Un proceso de lodo activado es un tratamiento biológico en el cual se agita y airea una mezcla de agua de desecho y un lodo de microorganismos, y de la cual los sólidos se remueven y recirculan posteriormente al proceso de aireación, según se requiera.

El paso de burbujas de aire a través de las aguas de desecho coagula los coloides y la grasa, satisface parte de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), y reduce un poco el nitrógeno amoniacal. La aireación también puede impedir que las aguas de desecho se vuelvan sépticas en uno de los tanques subsiguientes de sedimentación. Pero si las aguas de desecho se mezclan con lodo previamente aireado y luego se vuelve a airear, como se hace con los métodos de tratamiento de aguas de desecho utilizando lodo activado, la efectividad de la aireación se mejora mucho.

La reducción de la DBO y sólidos en suspensión en el proceso convencional del lodo activado que incluye pre-decantación y sedimentación final, puede variar desde 80 a 95% y la reducción de las bacterias coliformes de 90 a 95%.

Además, el costo de construcción de una planta de lodo activado puede ser competitivo con otros tipos de plantas de tratamiento que producen resultados comparables. Sin embargo, los costos unitarios de operación son relativamente altos.

El método del lodo activado es un tratamiento biológico secundario que emplea la oxidación para descomponer y estabilizar la materia putrescible que queda después de los tratamientos primarios. Otros métodos de oxidación incluyen la filtración, estanques de oxidación, y la irrigación. Estos métodos de oxidación ponen a la materia orgánica de las aguas de desecho en contacto inmediato con microorganismos bajo condiciones aerobias.

En una planta convencional de lodo activado, las aguas de desecho que entran pasan primero por un tanque de sedimentación primaria. Se añade lodo activado al efluente del tanque, generalmente en la relación de una parte de lodo por tres o cuatro partes de aguas negras decantadas, en volumen, y la mezcla pasa a un tanque de aireación. En el tanque, el aire atmosférico se mezcla con el líquido por agitación mecánica o se difunde aire comprimido dentro del fluido mediante diversos dispositivos; placas filtrantes, tubos de filtro, eyectores y chorros.

Con cualquiera de los métodos, se pone a las aguas negras en íntimo contacto con los microorganismos contenidos en el lodo. En los primeros 15 a 45 minutos, el lodo absorbe los sólidos en suspensión y los coloides. Según se absorbe la materia orgánica, tiene lugar la oxidación biológica. Los organismos presentes en el lodo descomponen los compuestos de nitrógeno orgánico y destruyen los carbohidratos. El proceso avanza rápidamente al principio y luego decae gradualmente en las próximas 2 a 5 horas. Después continúa con un ritmo casi uniforme durante varias horas. En general el periodo de aireación dura de 6 a 8 horas más.

El efluente del tanque de aireación pasa a un tanque de sedimentación secundaria, donde se retiene el fluido, en general de 1 1/2 a dos horas para decantar el lodo. El efluente de este tanque está completamente tratado, y después de la floración puede descargarse sin peligro.

Cerca de un 25 a 35% del lodo del tanque de sedimentación final se regresa para la recirculación con las aguas negras de entrada. No debe retenerse el lodo en el tanque. Es necesaria la remoción parcial (a intervalos de menos de una hora) o la remoción continúa para evitar la desaeración.

Las cantidades de rebose para la sedimentación final van, normalmente, desde unos 800 galones por pie cuadrado por día, para las plantas pequeñas, hasta 1,000 para plantas con capacidades mayores de 2 millones de galones por día.

Es preferible que las cargas sobre el vertedero no excedan de 10,000 galones por pie lineal por día. Cuando el volumen requerido de tanque sobrepase los 2,500 pies', son convenientes tanques múltiples de sedimentación.

Se requieren tanques múltiples de aireación cuando el volumen total del tanque excede los 5,000 pies cúbicos. Los tanques de aireación en que se usa aire comprimido son, por lo general, largos y estrechos.

Para conservar espacio, el canal puede hacerse girar varias veces 180°, con una pared común que separe el flujo en dirección opuesta. Se tiende en general, una tubería maestra de aire, a lo largo de la parte superior del tanque, para alimentar los difusores o placas porosas a lo largo de toda su longitud.

El aire establece un movimiento espiral dentro del líquido según fluye por los tanques. Esta agitación reduce los requisitos de aire. El ancho del canal va de los 15 a los 30 pies. La profundidad es de unos 15 pies.

El oxígeno disuelto debe mantenerse a una concentración de 2 partes por millón (miligramos por litro) o más. Los requisitos de aire varían normalmente de 0.2 a 1.5 pies cúbicos por galón de aguas tratadas. La mayoría de las autoridades estatales requieren el uso de un mínimo de 1,000 pies cúbicos de aire por libra de la DBO aplicada por día.

La aireación mecánica puede efectuarse en tanques cuadrados, rectangulares o circulares, según sea el mecanismo empleado para la agitación. En algunas plantas, el fluido puede hacerse subir por tubos verticales y descargarlo en láminas, mientras en la parte superior el líquido puede hacerse bajar por tubos aspirantes, mientras el aire burbujea a través del fluido.

En ambos métodos, la agitación en la superficie producida por el movimiento del líquido, aumenta la aereación. Los periodos de detención son, generalmente más largos, 8 horas o más, que para los tanques con difusión de aire.

Se usan diversas modificaciones para el método de lodo activado, para mejorar el funcionamiento o disminuir los costos. Entre éstos se incluyen la aireación modificada, activada, en punta y por pasos o fases, y los procesos de Kraus, bioadsorción y bioactivados.

### **1.3.1 La aireación modificada**

Disminuye el periodo de aireación a tres horas o menos, y mantienen el lodo retornado a una baja proporción. Los resultados son intermedios entre la sedimentación primaria y un tratamiento secundario completo.

### **1.3.2 La aireación activada**

Los tanques de aireación se colocan en paralelo. El lodo activado, procedente de un tanque de sedimentación final o grupo de dichos tanques, se añade al afluente de los tanques de aireación. El resto del lodo se concentra y se quita. Los resultados son mejores que con la aireación modificada y con menos aire.

### **1.3.3 La aireación en punta**

Difiere de la aireación normal en que los difusores de aire no están uniformemente espaciados. En su lugar, se colocan más difusores cerca del extremo de entrada de los tanques de aireación que cerca de la salida.

La teoría pretende que la demanda de oxígeno es mayor cerca de la entrada y, por tanto, la eficiencia del tratamiento debe mejorar si se suministra allí más aire. Sin embargo, los resultados dependen del grado de mezclado longitudinal, proporción del retorno de lodo y las características de la materia recirculada, por ejemplo, el contenido de aire del lodo o del licor mezclado.

#### **1.3.4 La aireación por pasos o fases**

Se añaden las aguas negras en cuatro o más sitios del tanque de aireación. Cada incremento reacciona con el lodo que ya se encuentra en el tanque. Por consiguiente, los requisitos de aire casi son uniformes en todo el tanque.

La aireación por mezcla completa obtiene mejores resultados dispersando el influente del agua de desecho tan uniformemente como sea posible, a lo largo de la longitud total del tanque de aireación, de manera que se produzca una demanda uniforme de oxígeno a todo lo largo. La aireación extendida es similar, pero el agua de desecho se airea por 24 h en vez de las 6 a 8 h convencionales.

El proceso Kraus agrega a las aguas negras una mezcla aireada de lodo activado y materia de los tanques digestores de Lodos. El proceso de bioabsorción mezcla agua negra con lodo pre-aereado en un tanque separado. El proceso de bioactivación usa sedimentación primaria, un filtro rociador y una corta sedimentación secundaria, agregando después lodo activado, y pasa la mezcla a tanques de aireación y sedimentación.

Se han obtenido excelentes resultados sustituyendo oxígeno por aire en el proceso de lodos activados.

Para el eficiente uso del oxígeno, pueden cubrirse los tanques de aereación; el oxígeno se hace recircular en varios pasos, entrando a la primera etapa del proceso y de ahí a través del tanque de oxigenación con el agua de desecho en tratamiento.

La presión bajo la cubierta del tanque es cercana a la atmosférica y suficiente para mantener el control y evitar el retro-mezclado de los siguientes pasos. En cada paso puede lograrse la mezcla con aereadores superficiales o un aspersor rotatorio sumergido: el oxígeno puro permite el uso de tanques más pequeños y el tiempo de oxigenación puede ser de 1 1/2 a 2 h en lugar del convencional de 6 a 8 h. El lodo activado producido se sedimenta, con menos dificultad y es más fácil de drenar que el de los procesos convencionales.

Las plantas de lodo activado deben controlarse bien para obtener un funcionamiento óptimo. Esto requiere una frecuente revisión del contenido de lodo del licor mezclado.

En general se limitan los sólidos de 1 500 a 2 500 ppm (mg por litro) en plantas con difusión de aire y unas mil ppm, cuando se use la agitación mecánica.



Las características de asentamiento del lodo se indican por el índice de Mohlman:

$$\text{Índice de Mohlman} = \frac{\text{Volumen de lodo asentado en 30 min \%}}{\text{Volumen de sólidos en suspensión \%}}$$

Un lodo con buen asentamiento tiene un índice debajo de 100. Otra medida es el índice de densidad del lodo que es igual a 100 dividido entre el índice de Mohlman. Puede mantenerse el control operacional, manteniendo constante la concentración de licor mezclado-sólidos en suspensión (MLSS), o los volátiles-sólidos en suspensión (MLVSS), manteniendo una relación constante entre los alimentos y los microorganismos, o un promedio constante de tiempo de residencia en la celda (MCRT) en el licor mezclado.

Esta última alternativa puede ser la más sencilla, porque sólo es necesario medir la concentración de los sólidos en suspensión en el tanque de aireación, y en el lodo activado del líquido de desecho.

La edad del lodo constituye otro factor importante. Representa el tiempo promedio en que una partícula de los sólidos en suspensión permanece sometida a la aireación. La edad del lodo se mide por la relación entre el peso seco del lodo en el tanque de aireación en libras y la carga de sólidos en suspensión, en libras por día, de las aguas de desecho que entran.

En una planta bien operada de lodo activado, la edad del lodo es de tres a cinco días. Pero puede ser de solamente 1/3 días con un proceso modificado que trabaje bien.



## 1.4 Introducción a los órgano-fosforados

Los órgano-fosforados son ésteres, amidas o derivados tioles de ácidos fosfóricos, fosfónicos, fosfotioicos o fosfonotioicos. Son clasificados en arilfosfatos y alquilfosfatos.

Los arilfosfatos requieren ser activados por enzimas microsomales hepáticas. Los alquilfosfatos no requieren activación.

Los órgano-fosforados presentan una estructura química inestable y se hidrolizan con rapidez, razón por la cual, a diferencia de los organoclorados, no entrañan el riesgo de acumularse en el medio ambiente. Su toxicidad es muy variable, oscilando la dosis potencialmente letal por vía oral entre 10 mg para el Paratión y 60 g para el Malatión, que son organofosforados de uso común.

Los carbamatos son ésteres de ácidos carbámicos, relacionados con grupos alcoholes cuaternarios o amonios ternarios.

### **1.4.1 Usos**

Se utilizan como insecticidas, nematocidas, herbicidas, funguicidas, plastificantes y fluidos hidráulicos (en la industria). También son utilizados como armas químicas.

### **1.4.2 Propiedades de los órgano fosforados**

#### **a. Liposolubles**

Facilitan su absorción porque atraviesa fácilmente las barreras biológicas (piel, mucosas), también penetran fácilmente en el sistema nervioso central. Algunos productos pueden almacenarse en tejido graso lo que puede provocar toxicidad retrasada debido a la liberación tardía.

#### **b. Mediana tensión de vapor**

Hacen que sean volátiles facilitando la absorción inhalatoria.

#### **c. Degradables**

Sufren hidrólisis en medio alcalino en tierra como en líquidos biológicos, no siendo persistentes en el ambiente.

### **1.4.3 Presentaciones**

Los compuestos de uso agrícola están formulados a altas concentraciones que varían desde el 20% al 70% del principio activo, este hecho es muy importante para tenerlo en cuenta para el cálculo de dosis tóxica.

Su representación más frecuente es en líquido con diferentes tipos de solventes, generalmente hidrocarburos derivados del petróleo como el Tolueno, Xileno, esto favorece la absorción del principio activo.

Estas presentaciones reciben el nombre de concentrados emulsionables.

Existen, además, presentaciones sólidas en forma de polvos, polvos mojables, gránulos, que son menos tóxicas por la forma de presentación dada la menor absorción.

Los insecticidas de uso doméstico vienen en concentraciones del orden del 0.5 al 5%. Se presentan generalmente en forma de aerosoles y cintas repelentes.

#### **1.4.4 Características químicas**

Son ésteres del ácido fosfórico (unión de un ácido y un alcohol) y una variedad de alcoholes.

Cuando el átomo que se une al fósforo con el doble enlace es el oxígeno, el compuesto se denomina oxon y es un potente inhibidor de la colinesterasa y de otras esterasas. Sin embargo con el oxígeno en esta posición, se favorece la hidrólisis del compuesto, especialmente bajo condiciones alcalinas. Para hacerlos más resistentes a la hidrólisis, se ha sustituido al oxígeno por un átomo de azufre.

Estos compuestos son llamados tiones y son pobres inhibidores de la colinesteras. Pero tienen la característica de atravesar la membrana celular más rápidamente que los oxones. En el ambiente los tiones son convertidos en oxones por acción de la luz solar y el oxígeno. En el organismo son convertidos por acción de las enzimas microsomaes del hígado.

#### **1.4.5 Toxicidad del órgano-fosforado**

La toxicidad varía de acuerdo al tipo de producto, pero en general los órganos fosforados son de alta toxicidad, aguda (DL50 0-50mg/kg) y moderada toxicidad (DL50 50-500mg/kg)

##### **1.4.5.1 Toxicodinamia**

Vías de absorción: se absorben por todas las vías respiratorias dérmicas y digestivas. La exposición ocupacional es más común por vía dérmica y pulmonar y la ingestión es más común en casos de envenenamiento accidental o por suicidio.

#### **1.4.6 Bio-transformación**

La transformación de órganos fosforados se da a nivel hepático mediante procesos de hidrólisis, conjugación con glutatión y oxidasas. En algunos casos pueden producirse metabolitos más tóxicos.

#### **1.4.7 Eliminación**

La eliminación es por orina y en menor cantidad por heces o aire espirado, su máxima excreción se produce a las 48 horas.

#### **1.4.8 Mecanismos de reacción**

Los órgano-fosforados ejercen su mecanismo de acción a través de la fosforilación de la enzima acetilcolinesterasa en las terminaciones nerviosas, provocando inhibición de la misma.

La enzima acetilcolinesterasa es la responsable de la destrucción y terminación de la actividad biológica del neurotransmisor acetilcolina, al estar inhibida se acumula acetilcolina en el espacio sináptico alterando el funcionamiento normal del impulso nervioso.

La acumulación de acetilcolina se produce en las uniones colinérgicas neuroefectoras (efectos muscarínicos), en las uniones mioneurales del esqueleto y los ganglios autónomos (efectos nicotínicos) así como en el sistema nervioso central. Los órganos fosforados inactivan la actividad de la enzima acetilcolinesterasa, mediante inhibición enzimática competitiva e irreversible. Los compuestos órganos fosforados y carbamatos reaccionan con la enzima de manera similar a la acetilcolina. La parte ácida del plaguicida se incorpora covalentemente en el sitio activo de la enzima, mientras se libera la fracción alcohólica.



Posteriormente una molécula de agua libera la parte ácida del plaguicida, dejando la enzima libre y reactivada.

La colinesterasa verdadera, acetilcolinesterasa, colinesterasa eritrocitaria, específica o de tipo e, se encuentra unida a las membranas de las neuronas, en las sinapsis ganglionares de la estructura neuromuscular del organismo y en los eritrocitos.

La pseudocolinesterasa o colinesterasa inespecífica, también denominada butirilcolinesterasa, colinesterasa plasmática o de tipo s, está presente generalmente en forma soluble en casi todos los tejidos principalmente hígado y plasma, pero en pocas concentraciones en el sistema nervioso central y periférico. Dicha enzima es inhibida por los plaguicidas órganos fosforados y carbamatos, pero sin relación con la manifestación de síntomas clínicos.

En algunos casos los órgano-fosforados inhiben también la esterasa neuropática y esta inhibición junto con un incremento de calcio intracelular por alteración de la enzima calcio-calmodulina-quinasa II, parecen constituir el mecanismo de producción de la neuropatía retardada caracterizada por la desmielinización y degeneración axónica.

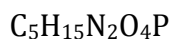
## 1.5 Glufosinato

El glufosinato pertenece al grupo de los órgano fosforados, su nombre químico es 4 - [hidroxi(metil)fosfinoil]-DL-homoalaninato de amonio o DL-homoalanin-4-il(metil)fosfinato de amonio (IUPAC)

a. Algunos nombres comerciales

- Basta 15 SL
- Finale 15 SL
- Basta Técnico
- Finale SL 14
- Finale 13.5 solución acuosa
- Basta 20 S solución acuosa
- Finale Pro 11.33 líquido
- Finale Pro 15 Solución concentrada.
- Herbikill 1.0 Solución acuosa

b. Fórmula química



c. Peso molecular: 198.00 g/mol

d. Tipo de plaguicida

Herbicida, clasificado como órgano-fosforado, de uso agrícola urbano y jardinería.

### **1.5.1 Presentaciones comerciales**

Agrícola: aplicación al follaje como desecante: como solución acuosa en equivalentes gramos de ingrediente activo (I.A./kg o L) de: 150. Para control de malezas: como solución acuosa en equivalente en gramos de ingrediente activo (I.A./kg o L) de: 150.

Para uso exclusivo en plantas formuladoras de plaguicidas agrícolas: como líquido técnico en equivalentes en gramos de ingrediente activo (I.A./kg o L) de: 555. Jardinería: para el combate o control de malezas: como solución acuosa en equivalentes en gramos de ingredientes activo (I.A./kg o L de: 10. Urbano: Para uso exclusivo de aplicadores de plaguicidas para el control de malezas en áreas no cultivadas, jardines, áreas verdes y campos de golf como líquido en equivalentes en gramos de ingrediente activo (I.A./kg o L) de 150. Para uso exclusivo en el control del lirio acuático en cuerpos acuáticos: como solución acuosa en equivalentes en gramos de ingrediente activo (I.A./kg o L) de 200.

### **1.5.2 Hoja de seguridad del glufosinato**

Nombre químico (IUPAC) 4-[hidroxi(metil)fosfinoil]-DL-homoalaninato de amonio o DL-homoalanin-4-il(metil)fosfinato de amonio. No. CAS: 77182-82-2

Sinónimos: 03946 (CA DPR Chem Code); 128850 (US EPA PC Code); 3946 (CA DPR Chem Code); 77182-82-2 (CAS Number); 77182822; 77182822 (CAS Number); Amonio-dl-homoalanin-4-il (metil) fosfinato; Basta; Ácido butanoico, 2-amino-4-(hidroxi-metilfosfinil)-, Sal monoamónica; Sal del ácido butanoico, 2-amino-4-(hidroximetilfosfinil), monoamonio; Glufosinat-ammonium;

Glufosinate ammonium; Glufosinate-ammonium; Glufosinato-amonio;  
Glufozinat-ammonium; HOE 00661; HOE 039866; Ignite 1SC Herbicide;  
Monoamonio 2-amino-4-(hidroximetilfosfinil)butanoato

Nombre comercial, Formulación (%), Presentación:

Para uso Agrícola: Basta Técnico, 46.300, Líquido Técnico; Finale SL 14 /  
Finale, 13.500, Solución Acuosa.

Para uso urbano: Basta 20-S, 18.000, Solución Acuosa; Finale Pro, 11.330,  
Líquido; Finale Pro 15, 14.230, Solución Concentrada Acuosa.

Para uso Jardinería: Herbikill, 1.000, Solución Acuosa

Propiedades físicas y químicas del glufosinato

Polvo cristalino de color blanco a amarillo claro, con olor ligeramente  
picante. Su punto de fusión es a los 215°C. Su densidad específica es de 1.4  
g/mL a 20°C. Su solubilidad en agua es de 1370 g/L ( $\pm 11$ ) a 22°C. Su solubilidad  
(expresada en g/100 mL) en diferentes disolventes orgánicos a 20°C es la  
siguiente: 0.016 en acetona, 0.014 en tolueno, 0.02 en n-hexano, 0.065 en etanol  
y 0.014 en acetato de etilo.



## 1.6. Cromatografía líquida de alta resolución

La cromatografía líquida, también conocida como cromatografía de líquidos, es una técnica de separación y no debe confundirse con una técnica cuantitativa o cualitativa de análisis. Es una de las técnicas analíticas ampliamente utilizada, la cual permite separar físicamente los distintos componentes de una solución por la absorción selectiva de los constituyentes de una mezcla.

En toda cromatografía existe un contacto entre dos fases, una fija que suele llamarse fase estacionaria, y una móvil (fase móvil) que fluye permanente durante el análisis y en este caso es un líquido o mezcla de varios líquidos. La fase estacionaria por su parte puede ser alúmina, sílice o resinas de intercambio iónico que se encuentran disponibles en el mercado.

Los intercambiadores iónicos son matrices sólidas que contienen sitios activos (también llamados grupos ionogénicos) con carga electrostática (positiva o negativa). De esta forma, la muestra queda retenida sobre el soporte sólido por afinidad electrostática.

Dependiendo de la relación carga/tamaño unos constituyentes de la mezcla serán retenidos con mayor fuerza sobre el soporte sólido que otros, lo que provocará su separación.

Las sustancias que permanecen más tiempo libre en la fase móvil, avanzan más rápidamente con el flujo de la misma y las que quedan más unidas a la fase estacionaria o retenidas avanzan menos y por tanto tardarán más en salir o fluir.

Éste es el principio fundamental de la cromatografía. Un ejemplo notable es la cromatografía de intercambio iónico. Las columnas más utilizadas son las de sílice.

Tabla I. Mecanismos de cromatografía líquida

| Método                         | Abreviatura | Mecanismo predominante   |
|--------------------------------|-------------|--|
| Líquido, sólido o de adsorción | LSC         | Adsorción sobre la superficie  |
| Líquido                        | LLC         | Reparto entre fases líquidas, una móvil y la otra estacionaria.                                    |
| Fase enlazada                  | BPC         | Reparto y / o adsorción entre las fases móvil y enlazada.  |
| Pares de iones                 | IPC         | Separación de pares de iones entre las fases móvil y enlazada.                                     |
| Intercambio iónico             | IEC         | Uso de la carga por adsorción sobre un sitio iónico fijo por medio de intercambio de cationes o de |

|                    |    |   |
|--------------------|----|---|
|                    |    | aniones.  |
| Exclusión estérica | EC | Aprovechamiento del tamaño de las moléculas por su difusión dentro de poros de tamaño adecuado. |
| Afinidad           | -- | Uso de la estructura de ligantes inmovilizados para unir bioselectivamente la proteína deseada. |

Fuente: Lloyd R. Zinder, Practical HPLC method development.

### 1.6.1 Selección de un método de cromatografía líquida

El conocimiento de la estructura molecular de los componentes de la muestra puede ser muy útil en la selección de un método de cromatografía líquida. Una guía muy general para la selección de un método se da a continuación.

La cromatografía de adsorción opera mejor en la separación por clases de compuestos o para la separación de compuestos isoméricos. La técnica de cromatografía líquido – líquido es mejor para la separación de homólogos. Los grupos funcionales que son capaces de formar enlaces de hidrógeno fuertes se retienen mucho en cromatografía de adsorción, sin embargo la CLL (Líquido – líquido) proporciona una alternativa para la separación de estos compuestos.



Estas serán las muestras que tienen polaridad media y son solubles en disoluciones orgánicas débilmente polares, en general en CLL se logra emparejando la polaridad de la fase estacionaria con la de la muestra y utilizando una fase móvil con una polaridad marcadamente diferente.

La más utilizada es la de fase enlazada, BPC, reparto y/o adsorción entre las fases móvil y enlazada, y en especial la fase reversa (especialmente la C18) pues permite separar tanto compuestos con cierta polaridad como compuestos iónicos mediante el uso de la técnica de supresión de la ionización o de la cromatografía de par iónico dependiendo del pH de máxima estabilidad de la columna.

Los grupos iónicos y los ionizables sugieren el uso de la cromatografía de intercambio iónico o de pares de iones cuando la muestra es soluble en agua y los pesos moleculares son menores de 2000 daltons. (1 dalton equivale  $1.660540 \times 10^{-27}$  Kg).

Cuando se sabe o se sospecha que el peso molecular excede de 2000 daltons para alguno o todos los componentes de la muestra, entonces es indicado el uso de cromatografía de exclusión (permeación en gel). Este método se basa en la actitud de los sustratos de porosidad controlada para clasificar y separar muestras de mezclas de acuerdo al tamaño y forma molecular.

Un procedimiento cromatográfico adicional depende de la estructura de los solutos, y no como función de grupos funcionales específicos o de la carga y el tamaño.



## 1.7 Validación de métodos analíticos

La validación total de un método analítico requiere la validación de los puntos precisión, linealidad, especificidad, exactitud/recuperación, estabilidad de la solución estándar/muestra y - en casos especiales - límite de detección y límite de cuantificación.

Se puede validar un método para determinar

- a. El contenido del ingrediente activo: en el técnico o en la formulación.
- b. Las contaminaciones significativas: contaminaciones con concentración mayor a 0.1 % respecto a la concentración del activo dentro del técnico.
- c. Las contaminaciones relevantes: contaminaciones con impacto toxicológico o ambiental. Las concentraciones en que se tiene que determinar la contaminación están definidas por reglamentos locales, leyes y riesgos de la sustancia.

### **1.7.1 Validación de métodos analíticos por cromatografía líquida de alta resolución (HPLC)**

Se validan los puntos siguientes en el orden dado en este documento de un método analítico (no vale la pena validar la precisión de un método si no hay especificidad y después se detecta una interferencia)

- Especificidad

Se tiene que determinar que no hay interferencias en la determinación de la sustancia deseada. Se analiza una formulación de un blanco y observa el cromatograma en el intervalo de elución de la sustancia a determinar. No debería de haber interferencias mayores de 0.3 % (por ejemplo: el análisis de un blanco formulado sin ingrediente activo mostró que muy probablemente no hay interferencia en la determinación del activo). Se imprime una corrida de un blanco, de un estándar y de una formulación para documentar la validación.

- Linealidad

La linealidad del método se determina de 5 mediciones con una concentración por lo menos  $\pm 20$  % alrededor del contenido normal. Se documenta el rango de trabajo (por ejemplo 1 mg hasta 15 mg / 100 mL), la ecuación de la regresión lineal (por ejemplo: área = mg activo  $\times$  f + n, f = factor, n = intersección con eje y), y el coeficiente de la correlación  $r^2$ .

- Exactitud / Recuperación

Se determina la exactitud agregando a un blanco una cantidad determinada del activo con análisis sucesivo (por ejemplo: agregando a seis soluciones independientes de una formulación del blanco una cantidad definida el ingrediente activo).

- Precisión

La precisión se determina como desviación estándar relativa (unidad: %) o como coeficiente de variación (CV) de por lo menos 5 determinaciones independientes.

Una muestra, se pesa 5 veces la muestra, se inyecta cada pesada 2 veces tomando el promedio de las inyecciones) y determinando la desviación estándar o el CV de los 5 valores.

- Estabilidad

Se compara las soluciones del estándar de la muestra después de 48 horas de la preparación con soluciones preparadas recientemente. La estabilidad de 48 horas es la estabilidad deseada mínima.



## **1.8. Metodología**

### **1.8.1 Recursos humanos necesarios**

- Persona recolectora de muestra de lodos
- Persona para adicionar el organofosforado
- Persona para realizar análisis de demanda química de oxígeno
- Persona para realizar el análisis de concentración de muestras, por medio de cromatografía líquida de alta resolución
- Persona para la interpretación de resultados.

NOTA: La misma persona puede realizar todos los procedimientos.

### **1.8.2 Recursos físicos necesarios**

Se requiere de un laboratorio físico-químico, con espacio para realizar las pruebas, colocarlas, observarlas y que cuente con el equipo, instrumentación que cumpla con las normas de seguridad de un laboratorio.

Además, se requiere también de una planta de tratamiento de aguas residuales para obtener las muestras de lodos activados.



### 1.8.3 Materiales, equipo y método

- Probetas de 25, 50, 100 y 1000mL
- Beakers de 250, 500 y 1000mL
- Pipetas de 5,10,25 y 75mL
- Papel mayordomo
- Papel filtro
- Balones aforados de 25, 50, 100, 500 y 1000mL
- Agua destilada
- Aire
- Fase móvil (según el método)
- Estándar de glufosinato, certificado
- Reactivos, sales y solventes para ejecutar los análisis
- 2 Compresores 5Watts por 50Hz
- Cromatógrafo líquido HPLC
- Equipo de filtración
- Equipo de seguridad, bata, lentes y guantes.
- Equipo de refrigeración.
- Erlenmeyer de 125 y 500mL
- 1 Bureta 50 mL
- Estufa con agitación magnética
- Magnetos
- Embudos
- Cronómetro
- Kit para medir el oxígeno disuelto
- pH-metro
- Jeringa de vidrio 10mL
- Filtros de disco 0.45um

- Viales de 1.5mL
- Refrigeradora

#### **1.8.4 Toma de muestras**

Para alcanzar los objetivos propuestos, se deberá llevar a cabo el siguiente proceso.

Procedencia del lodo: se utilizarán lodos provenientes de una planta de tratamiento de aguas residuales, de una industria de agroquímicos. Estudios previos demostraron que este lodo se encontraba estabilizado.

Para la cuantificación de glufosinato en lodos activados y la determinación de la demanda química de oxígeno, se tomarán las muestras, mediante el método denominado “muestreo de muestras propiedad de Bayer Cropscience”, en una planta de tratamiento de aguas residuales a escala de laboratorio, para luego realizar la cuantificación de la muestra por medio de análisis instrumental y la determinación de la demanda química de oxígeno.

El proceso de cuantificación de una muestra por medio de análisis instrumental, se llevará a cabo con el método validado “Determinación de la concentración de glufosinato en diferentes matrices”, propiedad de Bayer Cropscience identificado “Agrevo GMBH Frankfurt Main Method number: AL037/86-3”.

Para la determinación de demanda química de oxígeno, se utilizará el método “Determinación de DQO en una planta de tratamiento de aguas residuales”, propiedad de Bayer Cropscience.

### **1.8.5 Procedimiento de cuantificación**

VARIABLES A CONSIDERAR:

1. TR= Tiempo de Residencia (planta de tratamiento)
2. tr= tiempo de retención (cromatografía líquida HPLC)
3. O<sub>2</sub>= Oxígeno disuelto
4. pH= Potencial de hidrogeno
5. % v/v=Porcentaje en volumen de lodos activados
6. [ ]= Concentración de Glufosinato

### **1.8.6 Procedimiento general**

- Se arma equipo
- Se agrega el porcentaje volumen/volumen deseado de lodos activados al bioreactor.
- Se verifica el oxígeno disuelto en el bioreactor que sea de 1-1mg/L.
- Se determina el pH inicial.
- Se agrega el porcentaje volumen/volumen deseado de glufosinato en el bioreactor.
- Se deja reaccionar a diferentes tiempos.
- Se determina el pH final

- Se toma una muestra del bioreactor, al cual se le determina la concentración de glufosinato.

Este proceso se repite, hasta donde la concentración de glufosinato ya no sea apta para su degradación en los lodos activados, esto va a ayudar a determinar la eficiencia de la planta de tratamiento piloto de aguas residuales a escala de laboratorio, en donde sus lodos activados ya no son funcionales en determinada concentración de glufosinato.

Toda la metodología está basada en el método validado propiedad de Bayer Cropscience identificado "Agrevo GMBH Frankfurt Main Method number: AL037/86-3".



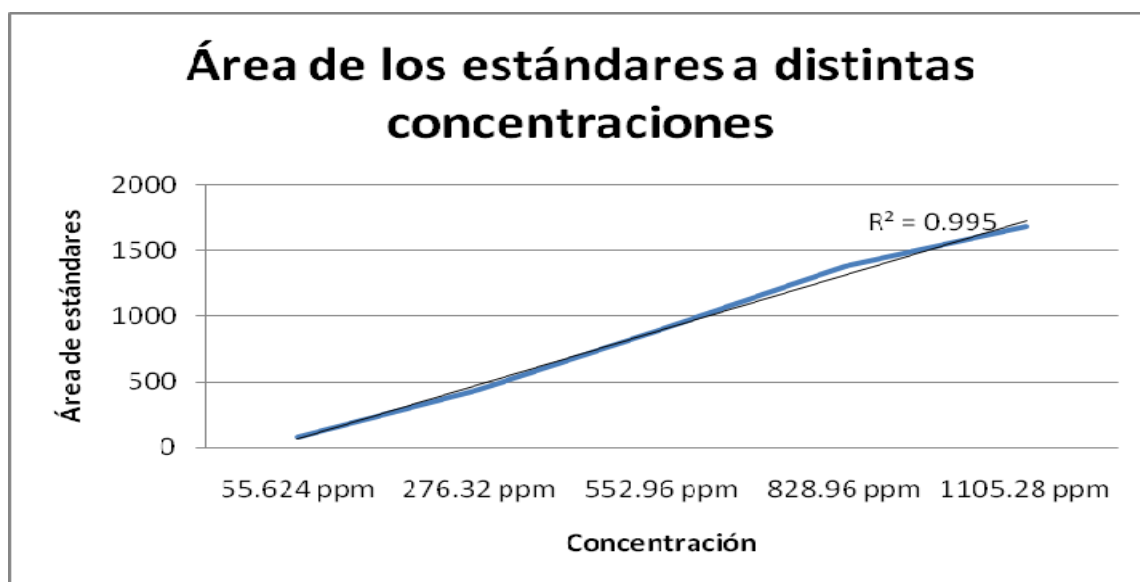
## 2. RESULTADOS

Tabla II. Datos de las áreas cromatográficas de las lecturas de los estándares.

|             | Concentración |           |           |           |           |
|-------------|---------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Lectura     | 1105.28ppm    | 828.96ppm | 552.96ppm | 276.32ppm | 55.624ppm |
| 1           | 1671.52       | 1381.71   | 885.74    | 437.14    | 83.83     |
| 2           | 1690.71       | 1375.23   | 907.59    | 438.54    | 79.82     |
| Media       | 1681.115      | 1378.47   | 896.665   | 437.84    | 81.825    |
| Co varianza | 0.807165      | 0.332401  | 1.723083  | 0.226098  | 3.46532   |

Fuente: HPLC series 1100, Hewlet Packard

Figura 2: Áreas cromatográficas de estándares.



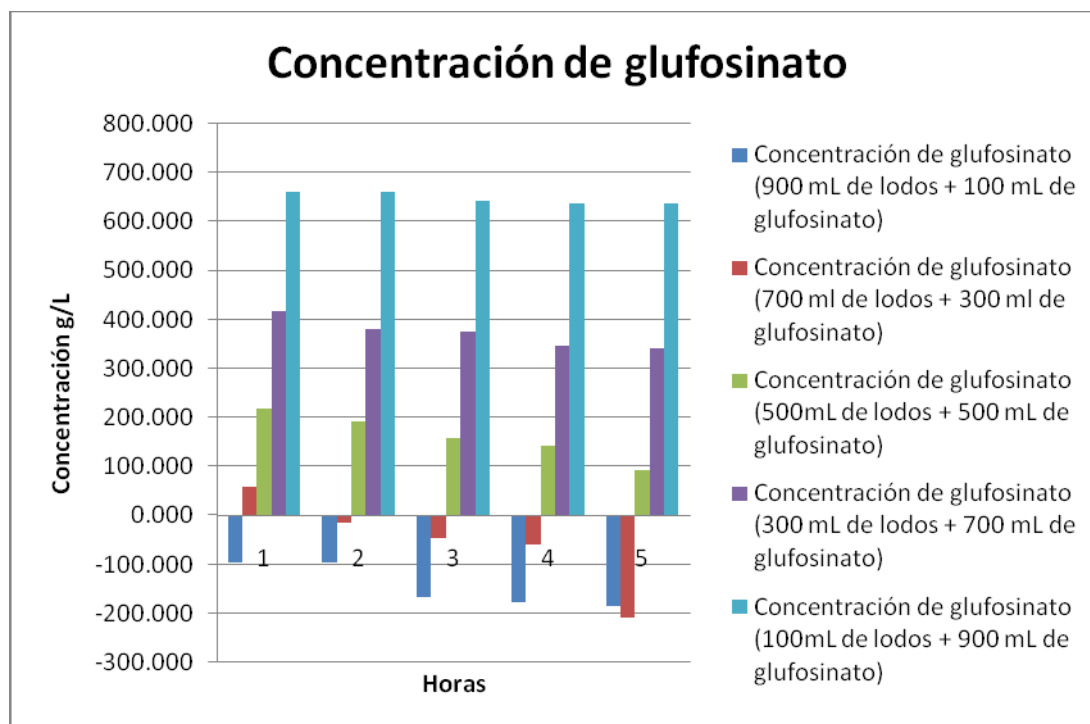
Fuente: HPLC series 1100, Hewlet Packard

Tabla III. Datos de las concentraciones obtenidas de glufosinato en g/L.

| COMPONENTES |             | Hora/Concentraciones |        |         |         |         |
|-------------|-------------|----------------------|--------|---------|---------|---------|
| Lodo        | Glufosinato | 1                    | 2      | 3       | 4       | 5       |
| 900         | 100         | -95.722              | -96.77 | -167.67 | -178.13 | -185.47 |
| 700         | 300         | 59.729               | -14.16 | -45.98  | -57.84  | -207.43 |
| 500         | 500         | 219.846              | 191.68 | 158.82  | 143.15  | 93.09   |
| 300         | 700         | 416.338              | 379.85 | 374.77  | 347.64  | 342.18  |
| 100         | 900         | 662.396              | 661.12 | 642.74  | 638.65  | 637.87  |

Fuente: HPLC series 1100, Hewlet Packard

Figura 3: Datos de las concentraciones obtenidas de glufosinato en g/L.



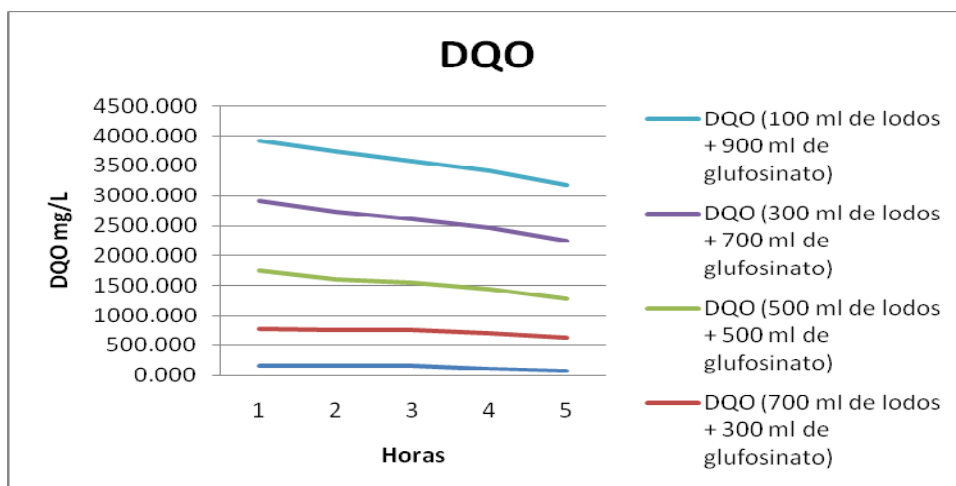
Fuente: HPLC series 1100, Hewlet Packard

Tabla IV. Datos de DQO obtenidos en mg/L.

| COMPONENTES |             | Hora/DQO |        |          |          |          |          |
|-------------|-------------|----------|--------|----------|----------|----------|----------|
| Lodo        | Glufosinato | Inicial  | 1      | 2        | 3        | 4        | 5        |
| 900         | 100         | 187.48   | 177.36 | 179.150  | 155.984  | 153.410  | 151.866  |
| 700         | 300         | 683.0    | 675.47 | 669.240  | 617.760  | 603.346  | 597.168  |
| 500         | 500         | 1145.8   | 1100.3 | 988.416  | 967.824  | 844.272  | 803.088  |
| 300         | 700         | 1193.0   | 1189.0 | 1184.040 | 1173.744 | 1132.560 | 1050.192 |
| 100         | 900         | 1568.8   | 1546.2 | 1482.624 | 1009.008 | 1003.860 | 988.416  |

Fuente: Cálculos obtenidos según apéndice b.

Figura 4: Resultados de DQO.



Fuente: HPLC series 1100, Hewlet Packard

Para todos los análisis se utilizó un tiempo de residencia en un rango de 1 a 5 horas, el tiempo de retención tomado fue de 0.9 a 1.1 minutos, el oxígeno disuelto 1mg/L, el porcentaje de volumen de lodos activados se muestra en cada tabla.





### 3. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El objetivo primordial del trabajo se basa en mejorar la eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales mediante la cuantificación de la cantidad presente de glufosinato en la parte de sus lodos activados. Como se puede ver en los resultados en cantidades de dosificaciones pequeñas como lo es 100mL/L de glufosinato en 900mL/L de lodos, la concentración final del glufosinato se pierde en la primera hora, razón por la cual para estas concentraciones los valores son negativos.

También se puede observar en los resultados que la eficiencia de las bacterias para la degradación del glufosinato es bastante efectiva en lapsos de tiempo cortos a concentraciones bajas, ya que para la concentración de 700mL/L de lodos con 300mL/L de glufosinato, se observa que para la primera hora aún se encuentra glufosinato, sin embargo, para la segunda hora, el valor es negativo lo que refleja que no es detectable la concentración del glufosinato.

A una concentración inicial de 100 mL/L de lodos en 900 mL/L de glufosinato, la concentración encontrada de glufosinato es alta, aunque está en los límites permisibles, y dobla la concentración con respecto a la dosificación de 300mL/L de lodos en 700 mL/L de glufosinato.

Para cumplir con el objetivo de validar el método de cromatografía líquida para el glufosinato, se deben validar cada uno de los parámetros que conlleva una validación siendo estos:

Selectividad y especificidad: para glufosinato el método es totalmente específico y selectivo pudiendo determinar el pico característico sin ningún problema en las repeticiones que se realizaron.

Linealidad: un método es validado con respecto a la curva de calibración. Un método exacto en su totalidad deberá presentar un coeficiente de variación de uno. El criterio de aceptación para un método validado es cuando el coeficiente de variación es lo más cercano a uno, no menor de 0.99 y el error estándar menor de dos. Por lo cual el método es lineal, y quedó validado para una correlación de 0.995.

Precisión: la precisión del método se ve afectada por las concentraciones tomadas. Se toma un criterio de aceptación con un valor para el coeficiente de variación no mayor del 3%, de acuerdo a los resultados el método es preciso.

Exactitud: uno de los parámetros de mayor interés en la validación de métodos para la industria agroquímica es la exactitud. El rango de aceptación es para un coeficiente de variación menor al 2.5%. Los resultados cumplen con estos requerimientos por lo se cumple con el parámetro de exactitud.

La cuantificación forma parte de la validación, es la que comprueba la efectividad, y es quien indica si realmente el método funciona para los fines propuestos. Para este producto se utilizaron los parámetros propios de la empresa donde se realizó, siendo el parámetro de concentración no mayor a 1000 g/L en la primera hora. Los resultados obtenidos se encuentran en este rango, por lo que se acepta como método de cuantificación. El objetivo de cuantificación de la presencia de glufosinato en una planta de tratamientos en la parte de sus lodos activados en condiciones controladas, se cumplió.

Sin embargo, la selectividad y especificidad del método para el glufosinato en lodos fue baja ya que los lodos en gran parte están conformados por agua, la cual es detectada por medio de los picos característicos, a la misma absorbancia del glufosinato no siendo tan selectivo y específico, por lo que se utiliza la corrección correspondiente a concentraciones pequeñas; las concentraciones de glufosinato se tomaron en ppm.

Se puede observar que el coeficiente de variación entre muestras varía considerablemente; esta variación se debe a distintos factores externos como lo son: los distintos lodos, la planta de tratamiento no es homogénea en todos sus lodos, la cantidad de lodos tomadas al inicio no fue suficiente y la interferencia del agua.

Para determinar la capacidad en una planta de tratamiento de aguas residuales en la parte de sus lodos activados por medio de la demanda química de oxígeno, se parte del parámetro que la planta se desequilibra en un DQO máximo de 2000mg/L. Valor que no se alcanzó, por lo que la planta puede

funcionar a las concentraciones que se agregaron, sin embargo los valores de DQO son altos con respecto a las adiciones del glufosinato. También en este parámetro se puede determinar que la planta es eficiente en la degradación del glufosinato ya que como puede observarse la DQO disminuye en función del tiempo, y a pocas concentraciones los valores de DQO son realmente aceptables.

#### Alcances y límites

Debido a políticas internas de la empresa donde se realizará el estudio se omiten algunos datos de interés como lo son, la certificación de estándar, estudios previos del glufosinato, concentraciones comerciales de los mismos, siendo una limitante para el trabajo.

## CONCLUSIONES

1. Sí es posible cuantificar por medio de cromatografía líquida de alta resolución, el glufosinato que puede ser tratado en una planta de tratamiento de aguas residuales, en la parte de sus lodos activados, para mejorar su eficiencia.
2. La planta de tratamiento de aguas residuales es eficiente para concentraciones pequeñas, y puede degradar eficientemente el glufosinato.
3. La eficiencia de la planta de tratamiento mejora con concentraciones de glufosinato no mayores a 700mL/L, en un lapso de cinco horas.
4. Las concentraciones menores de 300mL de glufosinato son degradadas por las bacterias de las plantas de tratamiento, por lo que su cuantificación no es posible.
5. El método de cuantificación del glufosinato por medio de cromatografía líquida de alta resolución queda validado. Todos los procedimientos de validación quedan documentados.

6. Los lodos activados están formados por un gran porcentaje de agua que es detectado con su pico característico, a la misma absorbancia del glufosinato, por lo que debe hacerse la corrección correspondiente en la metodología HPLC.
  
7. El análisis cuantitativo por cromatografía líquida de alta resolución, queda aceptado para el análisis de glufosinato en lodos activados. Las condiciones, mantenimiento y calibración del equipo son críticas para los resultados de las lecturas. Las lecturas variarán con factores como la humedad, temperatura y estabilidad de la muestra.
  
8. La eficiencia de la planta determinada con la demanda química de oxígeno, fue congruente con los resultados de las concentraciones de glufosinato, por lo que se confirma que el máximo permitido no debiese ser mayor a 700mL/L de glufosinato.

## RECOMENDACIONES

1. Mantener un control para que el ingreso de glufosinato a los lodos activados no sea mayor a 700mL/L, y así mejorar la eficiencia de la planta en períodos cortos de tiempo.
2. Realizar en un futuro un estudio microbiológico con el objeto de caracterización de los microorganismos presentes en los lodos, para una subsecuente determinación del microorganismo específico que degrada el glufosinato.
3. Evaluar la eficiencia del uso de bacterias comerciales, para aumentar la eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales, para la eliminación del glufosinato en menor tiempo.





## BIBLIOGRAFÍA

1. APHA-AWWA-WPCF. **Standard Methods For The Examination Of Water an Waster** 20th. Edition 1998.
2. Bruno, Alfredo, Paulette, Mario. **Curso Téorico-Práctico de Uso y Manejo de Plaguicidas**. Proyecto SUMA 2004.
3. Burger, M. **Plaguicidas en Medio Ambiente**- Criterios de Riesgo 1989.
4. CEPIS-OPS-OMS. **La problemática de las sustancias químicas y la salud ambiental**. Memorias del simposio regional realizado en Río de Janeiro, Brasil. Programa de salud ambiental Serie RC. No. 27-1988.
5. Centro Panamericano de Ecología Humana y Salud –OPS-OMS. **Plaguicidas, La Prevención de Riesgos en su Uso**. Segunda edición 1986.
6. Convenio INIA – LATU. **Residualidad de plaguicidas**. 1995-1996.
7. Lloyd R. Zinder, Joseph J. Krilland and Joseph L. Glach ***Practical HPLC method development*** ISBN 0-471-00703. John Wiley and Sons Inc.
8. Skoog, Douglas, Holler, James West. **Fundamentos de química analítica**. Editorial Riverté, S.A. 2002.

9. Perry, Robert H. **Manual del ingeniero Químico**. Sexta edición México. Mc Graw Hill. 1992.
10. Master, Susan. **Ingeniería y ciencia ambiental**. México. Mc Graw Hill, 2005.

## APÉNDICE

### a. Datos obtenidos

Tabla V. Datos de las áreas cromatográficas de las lecturas de los estándares.

|         | Concentración |           |           |           |           |
|---------|---------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Lectura | 1105.28ppm    | 828.96ppm | 552.96ppm | 276.32ppm | 55.624ppm |
| 1       | 1671.52       | 1381.71   | 885.74    | 437.14    | 83.83     |
| 2       | 1690.71       | 1375.23   | 907.59    | 438.54    | 79.82     |
| Media   | 1681.115      | 1378.47   | 896.665   | 437.84    | 81.825    |

Fuente: HPLC series 1100, Hewlet Packard

Tabla VI. Datos de las áreas cromatográficas de las lecturas de los lodos activados en ausencia del glufosinato.

| Nombre         | Áreas    |
|----------------|----------|
| Blanco lodos M | 13987.2  |
| Blanco lodos N | 13395.7  |
| Blanco lodos Ñ | 13717.1  |
| Blanco lodos O | 14389.9  |
| Blanco lodos P | 13504.3  |
| Media          | 13798.84 |

Fuente: HPLC series 1100, Hewlet Packard

Tabla VII. Datos de las áreas cromatográficas de las lecturas de la muestra M constituida por 900mL lodos + 100mL técnico glufosinato a 1105.28ppm.

|                     | Hora     |          |          |          |          |
|---------------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Nombre              | 1        | 2        | 3        | 4        | 5        |
| MA1                 | 15608.1  | 16390    | 16390    | 16366.2  | 16436.7  |
| MA2                 | 15586.3  | 16271    | 16271    | 16426.6  | 16578.8  |
| MA3                 | 14571    | 16388    | 16388    | 16734    | 16846.1  |
| Media               | 15255.13 | 16349.67 | 16349.67 | 16508.93 | 16620.53 |
| Desviación estándar | 592.5771 | 68.13467 | 68.13467 | 197.2392 | 207.8662 |
| Varianza            | 351147.6 | 4642.333 | 4642.333 | 38903.29 | 43208.34 |
| Covarianza          | 3.884444 | 0.416734 | 0.416734 | 1.194742 | 1.250659 |

Fuente: HPLC series 1100, Hewlet Packard

Tabla VIII. Datos de las áreas cromatográficas de las lecturas de la muestra N  
constituida por 700 mL lodos + 300mL técnico Glufosinato a  
1105.28 ppm.

| Nombre                 | Hora       |            |            |            |            |
|------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|
|                        | 1          | 2          | 3          | 4          | 5          |
| MA1                    | 12852.4    | 14036.1    | 14501.7    | 14697      | 16961      |
| MA2                    | 12832.7    | 13996.3    | 14482.8    | 14672.4    | 16855.3    |
| MA3                    | 12985.3    | 14010.5    | 14510.8    | 14667.1    | 17047.5    |
| Media                  | 12890.13   | 14014.30   | 14498.43   | 14678.83   | 16954.60   |
| Desviación<br>estándar | 83.003273  | 20.1702752 | 14.2829735 | 15.9544142 | 96.2597008 |
| Varianza               | 6889.54333 | 406.84     | 204.003333 | 254.543333 | 9265.93    |
| Covarianza             | 0.64392874 | 0.14392638 | 0.09851391 | 0.10868993 | 0.56774976 |

Fuente: HPLC series 1100, Hewlet Packard

Tabla IX. Datos de las áreas cromatográficas de las lecturas de la muestra Ñ  
constituída por 500 mL lodos + 500mL técnico glufosinato a  
1105.28 ppm.

| Nombre                 | Hora       |            |            |            |            |
|------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|
|                        | 1          | 2          | 3          | 4          | 5          |
| MA1                    | 10422.7    | 10864.4    | 11364.4    | 11864.4    | 12364.2    |
| MA2                    | 10418.6    | 10908.2    | 11408.2    | 11482.2    | 12408.2    |
| MA3                    | 10521.2    | 10875.2    | 11375.2    | 11516.2    | 12375.2    |
| Media                  | 10454.17   | 10882.60   | 11382.6    | 11620.93   | 12382.53   |
| Desviación<br>estándar | 58.0887539 | 22.8184136 | 22.8184136 | 211.532535 | 22.898326  |
| Varianza               | 3374.30333 | 520.68     | 520.68     | 44746.0133 | 524.333333 |
| Covarianza             | 0.55565169 | 0.20967796 | 0.2004675  | 1.82027148 | 0.1849244  |

Fuente: HPLC series 1100, Hewlet Packard

Tabla X. Datos de las áreas cromatográficas de las lecturas de la muestra 0  
constituída por 300 mL lodos + 700mL técnico glufosinato a 1105.28  
ppm

|                        | Hora       |            |            |            |            |
|------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Nombre                 | 1          | 2          | 3          | 4          | 5          |
| MA1                    | 7327.58    | 7976.77    | 8075       | 8594.21    | 8586.46    |
| MA2                    | 7545.25    | 8016.62    | 8118.24    | 8622.62    | 8581.76    |
| MA3                    | 7521.56    | 8066.33    | 8098.23    | 8312.78    | 8611.02    |
| Media                  | 7464.80    | 8019.91    | 8097.16    | 8509.87    | 8593.08    |
| Desviación<br>estándar | 119.422001 | 44.8703692 | 21.639973  | 171.275022 | 15.7132174 |
| Varianza               | 14261.6142 | 2013.35003 | 468.288433 | 29335.1331 | 246.9052   |
| Covarianza             | 1.59980246 | 0.55948742 | 0.26725397 | 2.0126632  | 0.18285897 |

Fuente: HPLC series 1100, Hewlet Packard



Tabla XI. Datos de las áreas cromatográficas de las lecturas de la muestra P constituida por 100 mL lodos + 900mL técnico glufosinato a 1105.28 ppm.

|                     | Hora       |            |            |            |            |
|---------------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Nombre              | 1          | 2          | 3          | 4          | 5          |
| MA1                 | 3296       | 3728.24    | 4023.89    | 4085.36    | 4055.71    |
| MA2                 | 3933       | 3752.57    | 4012.75    | 4080.02    | 4087.96    |
| MA3                 | 3935       | 3741.25    | 4024.64    | 4082.6     | 4139.66    |
| Media               | 3721.33    | 3740.69    | 4020.43    | 4082.66    | 4094.44    |
| Desviación estándar | 368.350829 | 12.1747786 | 6.65875614 | 2.67050557 | 42.3488587 |
| Varianza            | 135682.333 | 148.225233 | 44.3390333 | 7.1316     | 1793.42583 |
| Covarianza          | 9.89835621 | 0.32546908 | 0.16562312 | 0.06541092 | 1.03430076 |

Fuente: HPLC series 1100, Hewlet Packard

Tabla XII. Datos de las áreas cromatográficas totales de las lecturas de las muestras.

| COMPONENTES |             | Hora     |          |          |          |          |
|-------------|-------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Lodo        | Glufosinato | 1        | 2        | 3        | 4        | 5        |
| 900         | 100         | 15255.13 | 15271.00 | 16349.67 | 16508.93 | 16620.53 |
| 700         | 300         | 12890.13 | 14014.30 | 14498.43 | 14678.83 | 16954.60 |
| 500         | 500         | 10454.17 | 10882.60 | 11382.6  | 11620.93 | 12382.53 |
| 300         | 700         | 7464.80  | 8019.91  | 8097.16  | 8509.87  | 8593.08  |
| 100         | 900         | 3721.33  | 3740.69  | 4020.43  | 4082.66  | 4094.44  |

Fuente: HPLC series 1100, Hewlet Packard

Tabla XIII. Datos de las áreas cromatográficas de glufosinato (área blanco de lodos – área de muestra)

| COMPONENTES |             | Hora     |          |         |         |         |
|-------------|-------------|----------|----------|---------|---------|---------|
| Lodo        | Glufosinato | 1        | 2        | 3       | 4       | 5       |
| 900         | 100         | -1456.29 | -1472.16 | 2550.83 | 2710.09 | 2821.69 |
| 700         | 300         | 908.71   | -215.46  | -699.59 | -879.99 | 3155.76 |
| 500         | 500         | 3344.67  | 2916.24  | 2416.24 | 2177.91 | 1416.31 |
| 300         | 700         | 6334.04  | 5778.93  | 5701.68 | 5288.97 | 5205.76 |
| 100         | 900         | 10077.51 | 10058.15 | 9778.41 | 9716.18 | 9704.40 |

Fuente: HPLC series 1100, Hewlet Packard

## B. Cálculo del DQO

Valoración de la solución de hierro (II).

Cálculo del factor.

$$f_{Fe} = (A * N_{Cr}) / (B * N_{Fe})$$

Siendo

$f_{Fe}$  = factor de la solución de hierro II.

A = volumen empleado de solución de bicromato potásico (10 mL).

$N_{Cr}$  = Normalidad de la solución de bicromato potásico (0.1 N).

B = Volumen consumido de solución de hierro II (mL).

$N_{Fe}$  = Normalidad de la solución de hierro II (0.025N)

Simplificando  $f_{Fe} = 40/B$

Gasto de solución de hierro(B): 38.85mL

$$F_{Fe} = 1.0296$$

Valoración del blanco (b)

$$b (\%) = 100 * (1 - 0.025 * C * f_{Fe})$$

Siendo C = volumen de solución de hierro II consumida en la titración del valor en blanco (mL).

$$C = 35.7 \text{ mL}$$

$$b = 8.10 \%$$

Cálculo del valor de DQO

$$DQO \text{ (mg/L)} = ((C - D) * N_{Fe} * f_{Fe} * (O/2) * 1.000) / E$$

C= volumen de solución de hierro II consumida en la titración del valor en blanco (mL).

D = volumen de solución de Fe (II) consumida en la titración de la muestra (mL).

E = volumen de la muestra utilizado (20mL).

(O/2) = peso equivalente del oxígeno = 8

DQO (mg/l) = (C-D) \*  $f_{Fe}$  \* 10

TABLA XIV. Datos obtenidos de la titulación para cálculo de DQO.

|      | mL utilizados |         |       |       |       |       |       |
|------|---------------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|
| LODO | GLUFOSINATO   | INICIAL | 1     | 2     | 3     | 4     | 5     |
| 900  | 100           | 18.300  | 20.55 | 20.80 | 20.95 | 25.50 | 28.95 |
| 700  | 300           | 29.200  | 29.70 | 29.84 | 29.90 | 29.98 | 30.30 |
| 500  | 500           | 26.100  | 26.30 | 27.50 | 27.90 | 28.50 | 29.40 |
| 300  | 700           | 24.200  | 24.30 | 24.70 | 25.50 | 25.70 | 26.30 |
| 100  | 900           | 21.300  | 25.90 | 25.95 | 26.10 | 26.45 | 26.50 |

Fuente: Datos obtenidos por medio de titulación.