

## INTRODUCCIÓN

### 1.1 ANTECEDENTES

A través del tiempo los países fueron enfrentando la contaminación atmosférica de acuerdo a las características de los problemas de descargas de efluentes, a la tecnología que disponían y a lo que la naturaleza les proveía como sistemas naturales de tratamiento. Es a partir de la situación descrita, que aparece el concepto de los “biofiltro” o “buffer ecológico ribereño”, principalmente en los países que disponían de humedales, por lo que aprovechando las características de ciertas plantas, que constituyen asociaciones vegetales acuáticas aptas para frenar de manera significativa el arrastre de partículas de suelo suspendidas en el agua de riego y capaces de extraer los contaminantes difusos asociados, lo cual disminuye la carga contaminante disponible en el medio ambiente. De ahí que se toma como base la construcción de los conocimientos para desarrollar los biofiltros. (1)

#### **Contexto Mundial**

Las características de las descargas de aguas residuales entre los países desarrollados, en vías de desarrollo y los países pobres, son diferentes debido a las normativas ambientales existentes y el grado de cumplimiento de las mismas, las inversiones realizadas para montar sistemas de tratamiento de aguas residuales y los costos o tarifas a ser cubiertas por los pobladores para el tratamiento de las aguas residuales.

En los países pobres cerca del 90% de las aguas residuales van directamente a los lagos, ríos y costas, sin depuración previa, mientras que en los países en vías de desarrollo, cerca del 50% de las aguas residuales no son tratadas y en los países en desarrollo solo un 5 % no tiene un tratamiento adecuado. (2)

Según los reportes de artículos científicos de la publicación AQUABIOTEC que es una empresa Alemana especializada en el tratamiento de aguas residuales a través de procesos innovadores, ante los requerimientos de poblaciones dispersas el año 2010, que desarrollo sistemas de biofiltración que emplean como material de soporte polímeros altamente porosos y de baja densidad, lo cual facilita la circulación del agua, amplía la superficie de contacto, disminuye el peso del material y de las paredes del biofiltro, lo que incide en una menor inversión inicial, por cuanto los nuevos materiales derivados de polímeros tienen bajo costo y son fácilmente accesibles en los países de la Comunidad Europea.

### **Contexto Latinoamericano**

El reporte más avanzado que se tiene en Latinoamérica es el estudio realizado por la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI) de Nicaragua, quienes desde 1988 a 2005 que se tiene reporte, cuentan con la cooperación técnica del gobierno de Austria mediante el Proyecto Biomasa anteriormente y en la actualidad con el Proyecto ASTEC, bajo la coordinación y asesoría técnica de la empresa Sucher & Holzer. El objetivo principal de la cooperación técnica austriaca ha sido investigar y desarrollar aplicaciones tecnológicas en las áreas de tratamiento de los desechos líquidos y sólidos, habiendo a la fecha desarrollado biofiltros que emplean una combinación de grava y plantas acuáticas, por lo que luego de los ensayos de laboratorio implementaron una planta piloto para el tratamiento de aguas residuales domésticas en la Villa Bosco Monge de la ciudad de Masaya, con el objetivo de proporcionar una alternativa de tratamiento técnicamente eficiente y de bajo costo. El tipo de sistema de tratamiento construido fue conocido en inglés como “Subsurface Flow Constructed Wetland-System” (SSFW), lo que se podría traducir como sistema de humedal artificial de flujo subterráneo, por lo que, para simplificar, se decidió darle el nombre o término general de biofiltro, mismo que actúo de manera eficiente y es difundido a otras poblaciones de Nicaragua. (3)

También se tiene que a nivel experimental en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Militar Nueva Granada de Colombia, en 1999 desarrollan un proyecto denominado “Biofiltros, una opción para mejorar las características de las aguas residuales provenientes de tratamientos tradicionales”, proyecto que centra su objetivo en proveer de un sistema adicional a los sistemas tradicionales, para reutilizar las estas aguas como una alternativa viable y económica. En este estudio centran su actividad en la determinación del material soporte a emplear y a la granulometría del mismo. (4)

### **Contexto Nacional**

Según la Constitución Política del Estado Plurinacional en el 2008, las personas tienen derecho a un medio ambiente saludable, protegido y equilibrado. El ejercicio de este derecho debe permitir a los individuos y colectividades de las presentes y futuras generaciones, además de otros seres vivos, desarrollarse de manera normal y permanente. (5)

Como establece la Ley del Medio Ambiente 1333, el estado norma y controla el vertido de cualquier sustancia o residuo líquido, sólido y gaseoso que cause o pueda causar la contaminación de las aguas o la degradación de su entorno.

Según el artículo 107 de la ley de medio ambiente, el que vierta o arroje aguas residuales no tratadas, líquidos químicos o bioquímicos, objetos o desechos de cualquier naturaleza, en los cauces de aguas, en las riberas, acuíferos, cuencas, ríos, lagos, lagunas, estanques de aguas, capaces de contaminar o degradar las aguas que excedan los límites a establecerse en la reglamentación, será sancionado con la pena de privación de libertad de uno a cuatro años y con la multa de cien por ciento del daño causado. (6)

El tratamiento del agua cobra gran importancia en la necesidad de preservar el medio ambiente, puesto que si no son tratadas, los contaminantes pueden ser acumulados y transportados en arroyos, ríos, lagos, presas y depósitos subterráneos, afectando directamente la salud del hombre y la vida silvestre. Las fuentes más importantes de contaminación de las aguas superficiales y subterráneas son las aguas residuales industriales y urbanas.

En la mayoría de los sistemas de tratamiento de agua y saneamiento de Bolivia, la calidad de servicios es deficiente. Según la Organización Mundial de la Salud - OMS en el año 2000, solamente el 26% de sistemas urbanos de provisión de agua contaban con desinfección y solamente el 25% de las aguas residuales eran tratadas, problemática que a la fecha no ha mejorado debido a las bajas inversiones que se realiza en el sector. (7)

El 60 por ciento de las aguas servidas generadas en Bolivia no recibe tratamiento alguno. « Tenemos más o menos de 30 hasta 40 por ciento del agua residual total tratada .. », explicó Wolfgang Wagner, experto en plantas de aguas servidas del Centro Internacional para Migraciones (CIM) de la Cooperación Alemana. El técnico realizó un recorrido y análisis de todas las instalaciones del país y dando recomendaciones para la elección de un sistema de plantas apropiadas, para las empresas de saneamiento básico en Bolivia.

Las plantas más grandes en Bolivia se encuentran en los departamentos de Beni, Santa Cruz, La Paz, Cochabamba, Chuquisaca, Tarija y Oruro. De acuerdo con los datos del experto, «con excepción de la instalación que está en Sucre (Chuquisaca), el resto (de las plantas) son lagunas de estabilización. Solamente Sucre es una planta más técnica (con tanques)».

Otro análisis del experto es que si bien en el país hay 15 plantas que tratan las aguas residuales de las ciudades, La Paz, la principal metrópoli del país, no cuenta con una instalación de este tipo. Wagner indicó que la sede de gobierno tiene un sistema de canalización que no garantiza una descontaminación. « Se tiene un poco de limpieza, pero no purificación, hay una dilución, pero sigue contaminada ». (8)

Por otra parte en Bolivia, no se disponen reportes oficiales respecto a ensayos o experiencias desarrolladas para el tratamiento de aguas residuales a través de biofiltros, por lo que solo centraremos a reportar las experiencias previas desarrolladas a nivel del departamento de Tarija.

### **Contexto Local**

El crecimiento demográfico de las ciudades y poblaciones rurales, la amplia actividad productiva e industrial, ha obligado a priorizar el uso de las aguas superficiales para abastecimiento público como agua potable, riego y actividades expansivas de la población. Como lógica consecuencia, la actividad agrícola se ha visto seriamente afectada por el uso las aguas residuales, por ser esta una alternativa de supervivencia y para que no desaparezcan sus cultivos.

La mayoría de los efluentes industriales de las bodegas tiene una demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>) muy alta, pero su concentración de coliformes fecales es más baja que el de los efluentes domésticos, pero se da la situación que se origina en la localización de la bodega, en lugares donde la provisión de servicios básicos es deficiente o no existe, por lo que en algunos casos ambos efluentes son mezclados antes de ser vertidos sobre las aguas superficiales. Este hecho, hace que los efluentes industriales constituyan un problema ecológico y de salud pública, lo cual influye en el deterioro general de la calidad del agua.

El impacto de los vertidos industriales depende no sólo de sus características comunes, como la demanda bioquímica de oxígeno, sino también de su contenido en sustancias orgánicas e inorgánicas específicas. Algunas opciones que no son mutuamente excluyentes para controlar los vertidos industriales son: el control puede tener lugar allí donde se generan al interior de la planta; las aguas residuales pueden tratarse previamente y descargarse sobre las corrientes superficiales de agua cuando se cumplen las normas ambientales.

Respecto a la temática que se toca en el presente trabajo, es importante resaltar que previamente se realizaron tres estudios anteriores; el primero realizado en la gestión 1999 por Jimena Durán “Tratamiento de Aguas con Plantas Acuáticas,” el segundo realizado en la gestión 2002 por Rodrigo Úzqueda “Estudio hidráulico a nivel laboratorio de Humedales de Flujo Sub-Superficial” y el tercer realizado en la gestión 2004 por Estela Sulca “Tratamiento de aguas residuales domiciliarias con totora (THYPA DOMININGESIS) en humedales artificiales de flujo continuo”. Todos los trabajos son desarrollados a nivel experimental, con resultados promisorios que muestran que este tipo de biofiltros se presentan como una alternativa viable para el tratamiento de aguas residuales con alta carga orgánica contaminante.

## **1.2 OBJETIVOS**

### **1.2.1 OBJETIVO GENERAL**

- Ejecutar el tratamiento de las aguas residuales de la bodega del CENAVIT, en un biofiltro a escala de laboratorio, para disminuir la carga contaminante y facilitar su uso para riego.

### **1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Caracterizar y valorar los principales indicadores de la carga contaminante en las aguas residuales de la bodega del CENAVIT que son vertidas a un curso temporal de agua.
- Evaluar la variación y calidad de las aguas residuales de la bodega del CENAVIT durante el período comprendido entre la fermentación, trasiegos y almacenamiento del vino.
- Implementar un biofiltro a escala de laboratorio, para evaluar el rendimiento sobre las aguas residuales de una bodega.
- Monitorear y evaluar el rendimiento del biofiltro sobre las variables de remoción en DBO<sub>5</sub>, sólidos suspendidos y nitrógeno total, sobre la base de saturación del agua residual con oxígeno, para promover un proceso aerobio.
- Realizar las adaptaciones necesarias para promover la remoción de carga orgánica en un proceso aerobio que no afecte el desarrollo microbiano.

### **1.3 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DEL TEMA**

El medio ambiente por muchos años ha sido descuidado y maltratado por la actividad antrópica, tanto a nivel doméstico, empresarial como industrial. El proceso del desarrollo e implementación de las industrias, en su implementación llevo asociado un concepto de favorecer el proceso productivo sin tomar en cuenta el cuidado del medio ambiente, pero en la medida que las industrial y empresas crecían eran mayores los niveles de contaminación por el vertimiento de residuos que no eran tratado adecuadamente, lo que derivó en daños al ambiente y se reflejó en la calidad de vida de las personas. Por ello, fueron las comunidades y las organizaciones de salud las primeras en alertar respecto a los niveles de contaminación y su efecto sobre la salud de las personas.

Al recorrer el Valle Central de Tarija, se observa que existe una importante cantidad de bodegas instaladas en varios lugares y con distintas tecnologías, pero que en común todas ellas tienen el hecho de que no cuentan con sistemas de tratamiento de aguas residuales, por lo que para eliminar las mismas algunas implementaron acuerdo con COSAALT y otras que no están cercanas a los sistemas de recolección de aguas residuales, vierten las aguas residuales crudas directamente a los cursos superficiales de agua. El segundo caso es el más preocupante por cuanto no tienen ni prevén implementar en el corto plazo sistemas de tratamiento de aguas residuales de las bodegas, mientras que el primer caso es una forma disfrazada de contaminación del ambiente, por cuanto COSAALT en su planta de tratamiento que ya fue rebasada en su capacidad, no tiene posibilidad para tratar estas aguas residuales con alto contenido de materia orgánica.

El interés de la presente investigación se basa en plantear una alternativa viable para la implementación de un sistema para el tratamiento de agua residual proveniente de las bodegas y así contribuir a disminuir la presión contaminante sobre los cursos de agua superficial del Valle Central de Tarija.

El CENAVIT al igual que las industrias bodegueras del departamento de Tarija, no tiene un sistema de tratamiento de aguas residuales por lo que sus aguas residuales son vertidas directamente sobre las aguas superficiales que atraviesan la zona, generando importantes niveles de contaminación. Esta situación, ha ocasionado que se evacuen las aguas residuales en cauces receptores, lo que genera contaminación del suelo y de ahí existe la probabilidad de generar focos de contaminación para cultivos y o el desarrollo de vectores, esto se ha convertido en una situación delicada que puede alcanzar dimensiones críticas. Agudizándose el problema, debido al incremento poblacional experimentado en la zona, constituyendo focos de contaminación severos y un deterioro de la imagen de la ciudad.

Es por ello, y al ser el CENAVIT un Centro Experimental para la implementación de nuevas tecnologías en la industria vitivinícola, el mismo que aún no cuenta con un sistema de tratamiento de las aguas residuales, se presenta como un importante centro para que en el mismo se proceda a la capacitación y difusión de esta tecnología y así pueda a través de la experiencia ser asimilado por el resto de las bodegas del departamento de Tarija. Es por ello que se plantea el diseño de un biofiltro para el tratamiento de las aguas residuales de la Bodega del CENAVIT, antes de que sean vertidas a los cauces de agua cercanos, disminuyendo de esa manera la presión contaminante sobre el medio ambiente y dar cumpliendo con lo que exigen las normas ambientales, en cuanto al tratamiento de las aguas residuales antes de ser vertidas fuera de la industria o empresa.

Por otra parte, se concibe el proyecto como un aporte de adaptación de una tecnología que sea amigable con el medio ambiente, sea de bajo costo en su inversión y mantenimiento, a la par de permitir que las aguas que sean tratadas en el sistema planteado puedan ser reutilizadas para los cultivo o en actividades recreativas, de manera que con la implementación de estos sistemas de tratamiento de aguas residuales para bodegas, se disminuyan los niveles de contaminación y exista la posibilidad de reutilizar estas aguas en otras actividades, pero a su vez también las industrias puedan cumplir con la normativa ambiental vigente en nuestro país.

Con la ejecución del presente estudio, se evaluará la calidad del agua residual industrial del CENAVIT y el diseño de un biofiltro como una medida destinada a la reducción de los niveles de contaminación, y así dar cumplimiento a las normas de vertido de aguas residuales.

El desinterés por el cuidado de la calidad del medio ambiente, nos ha llevado a que olvidemos que debemos cuidar y preservar nuestro medio ambiente, no solo en beneficio propio, sino en el de las generaciones futuras, esta actitud nos está haciendo daño a todos. Debido a lo expuesto, nos motivamos para plantear una alternativa a la

problemática presentada, al sugerir una propuesta para reducir los niveles de contaminación y los efectos secundarios que generan en la salud y al medio ambiente.

## **CAPITULO I**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **1. ASPECTOS LEGALES Y NORMATIVOS AMBIENTALES**

##### **1.1 CONSTITUCIÓN POLÍTICA DEL ESTADO PLURINACIONAL**

Son fines y funciones esenciales del Estado, además de los que establece la Constitución en el Art. 9 inc. 6, establece el *“Promover y garantizar el aprovechamiento responsable y planificado de los recursos naturales, e impulsar su industrialización, a través del desarrollo y del fortalecimiento de la base productiva en sus diferentes dimensiones y niveles, así como la conservación del medio ambiente, para el bienestar de las generaciones actuales y futuras”*.

En el artículo 345 de la Constitución Política del Estado nos dice que *“Las políticas de gestión ambiental se basarán en la responsabilidad por ejecución de toda actividad que produzca daños medio ambientales y su sanción civil, penal y administrativa por incumplimiento de las normas de protección del medio ambiente.”* Es decir, que existe responsabilidad por los daños ambientales y las instituciones públicas deben actuar de oficio frente a los atentados contra el medio ambiente.

Del Artículo 347 de la Constitución Política del Estado establece:

El Estado y la sociedad promoverán la mitigación de los efectos nocivos al medio ambiente, y de los pasivos ambientales que afectan al país. Se declara la responsabilidad por los daños ambientales históricos y la imprescriptibilidad de los delitos ambientales.

Quienes realicen actividades de impacto sobre el medio ambiente deberán, en todas las etapas de la producción, evitar, minimizar, mitigar, remediar, reparar y resarcir los

daños que se ocasionen al medio ambiente y a la salud de las personas, y establecerán las medidas de seguridad necesarias para neutralizar los efectos posibles de los pasivos ambientales.

### **1.1.1 LEY DE MEDIO AMBIENTE**

La Ley N° 1333 de Medio Ambiente, fue promulgada el 27 de Abril de 1992 y publicada en la Gaceta Oficial de Bolivia el 15 de Junio de 1992. Su principal objetivo es proteger y conservar el Medio Ambiente de una manera sostenible, de forma que el desarrollo de nuestro país no se vea afectado y la calidad de vida de la población mejore. Esta Ley es de carácter general y no enfatiza en ninguna actividad específica.

De acuerdo al Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica de la Ley N° 1333 de Medio Ambiente y el Reglamento para el lanzamiento de efluentes industriales al alcantarillado sanitario, las industrias deben eliminar sus efluentes cumpliendo con las normas de descarga establecidas en la normatividad Boliviana.

Tal como lo establece la Ley 1333, en lo que toca al Capítulo I en su Artículo 30°, el Ministerio de Medio Ambiente y Agua (MMAA) y el Gobernador del Departamento, a través de la unidad de Medio Ambiente de la Gobernación, quienes con el personal de los laboratorios autorizados, son las unidades que deberán efectuar semestralmente el monitoreo de los cuerpos receptores y de las descargas de aguas residuales crudas o tratadas, tomando muestras de acuerdo con lo estipulado en el Reglamento de Prevención y Control Ambiental, en lo que toca al caudal y tiempo de vertido de máxima producción. Acciones que no son cumplidas a cabalidad por la autoridad competente ni por los representantes de las industrias, al parecer por la escasa disponibilidad de recursos humanos, económicos y de equipamiento.

Por otra parte, en el Capítulo II de la Ley 1333, se establece que todas las descargas de aguas residuales crudas o tratadas procedentes de usos domésticos, industriales, agrícolas, ganaderos o cualquier otra actividad que contamine el agua, deben ser tratadas previamente a su descarga hasta satisfacer la calidad establecida antes de llegar al cuerpo receptor.

Así, dentro Reglamento de Contaminación Hídrica, el tratamiento de las aguas residuales crudas que deben ser vertidas fuera de los ambientes de la actividad de servicios o de una industria, esto imprescindible cuando la calidad bacteriológica de las mismas, rebasa los límites establecidos en la norma ambiental y se constituyen en un riesgo para la salud humana y la contaminación ambiental.

En caso de que las condiciones físicas y/o químicas de un cuerpo de agua se alteren en forma tal que amenacen la vida humana o las condiciones del medio ambiente, de acuerdo a lo establecido en la norma ambiental, el Gobernador deberá informar al MMAA, a objeto de que éste, conjuntamente las autoridades de Defensa Civil, disponga con carácter de urgencia las medidas correspondientes de corrección o mitigación.

Bajo las consideraciones expuestas, todas las empresas, industria o actividades de servicio instaladas en el país, deben dar cumplimiento a la normativa ambiental, no solo por la exigencia propia de la Ley, sino también, porque al proteger al medio ambiente, se preserva la calidad de vida de las personas.

### **1.1.2 REGLAMENTO DE CONTAMINACIÓN HÍDRICA**

“Define el sistema de control de la contaminación hídrica y los límites permisibles de los potenciales elementos contaminantes, así como las condiciones físico químicas que debe cumplir un efluente para ser vertido en uno de los cuatro tipos de cuerpos receptores definidos”.

De acuerdo al reglamento en materia de contaminación hídrica de la Ley N° 1333 de Medio Ambiente y el reglamento para el lanzamiento de efluentes al alcantarillado sanitario, se establece que las descargas vertidas, cualquiera sea su caudal o condiciones de lanzamiento, no debe exceder en ningún caso los valores máximos especificados en la Tabla I-1 sobre valores máximos de parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos admitidos para las descargas de efluentes industriales y domésticos.

**TABLA I - 1**  
**VALORES MÁXIMOS ADMISIBLES DE PARAMETROS EN CUERPOS**  
**RECEPTORES**

Parámetro	Unidad	Cancerígenos	CLASE “A”	CLASE “B”	CLASE“C”	CLASE “D”
Ph		NO	6 a 8	6 a 9	6 a 9	6 a 9
Temperatura	°C	NO	+/- 3°C de C. receptor	+/- 3°C de C. receptor	+/- 3°C de C. receptor	+/- 3°C de C. receptor
Sólidos disueltos totales	mg/l	NO	1000	1000	15000	15000
Aceites y grasas	mg/l	NO	ausente	Ausente	0.3	1
DBO <sub>5</sub>	mg/l	NO	< 2	< 5	< 20	< 30
DQO	mg/l	NO	< 5	< 10	< 40	< 60
colifecales NMP	N/100ml	NO	< 50 y <5 en 80% muestras	< 1000 y < 200 en 80% muestras	< 5000 y < 1000 en 80% muestras	< 50000 y < 5000 en 80% muestras
Parásitos	N/l	NO	< 1	< 1	< 1	< 1
Color mg.Pt/l	mg/l	NO	< 10	< 50	< 100	< 200
Oxígeno disuelto	mg/l	NO	>80% sat.	>70% sat.	>60% sat.	>50% sat.
Turbidez	UNT	NO	< 10	< 50	< 100 <200***	< 200 - 10000***
Solidos sedimentables	mg/l - mg/l	NO	< 10 ml/l	< 30 mg/l – 0.1ml/l	< 50 mg/l – < 1ml/l	100 - < 1ml/l

Fuente: Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica, 2007.

### **1.1.3 GESTIÓN AMBIENTAL**

La Gestión Ambiental es el conjunto de decisiones y acciones planificadas para una región o territorio, orientadas a la conservación, protección del ambiente y el uso sostenible de los ecosistemas y recursos. La gestión ambiental contempla las acciones que se deben realizar, cuándo y cómo llevarlas a cabo, así como la selección de opciones y prioridades. El objetivo de la Gestión Ambiental es lograr la máxima racionalidad, coherencia, solvencia y equidad en el proceso de toma de decisiones relativas a la defensa del medio ambiente y la conservación de la biodiversidad, en el marco de un desarrollo sostenible. (9)

También se entiende a la Gestión Ambiental, como el conjunto de acciones orientadas al uso, conservación y aprovechamiento ordenado de los recursos naturales y del medio ambiente en general. La Gestión Ambiental entendida dentro del ámbito de la gestión empresarial, es un factor decisivo que influye en la imagen corporativa de una empresa o industria, así como en la calidad del producto, el costo de comercialización y la competitividad. “Los programas de Gestión Ambiental, más rigurosos y ambiciosos, están incidiendo positivamente en la renovación tecnológica, con ventajas indudables para los factores costo-beneficio ya que, en realidad, son programas de apoyo y racionalización de recursos.

## **1.2 CENTRO NACIONAL VITIVINICOLA TARIJA - CENAVIT**

### **1.2.1 UBICACIÓN GEOGRAFICA DEL CENAVIT**

Está planteado implementar la planta de tratamiento de aguas residuales dentro de las instalaciones del CENAVIT, que se encuentra ubicada en el Valle de la Concepción en la provincia de Uriondo.

**FIGURA 1-1**  
**UBICACIÓN GEOGRAFICA DEL LUGAR**



**Ubicación:** 21°41'24.63"S, longitud 64°39'27.62"O

### **1.2.2 DESCRIPCIÓN DE LA UNIDAD PRODUCTIVA CENAVIT**

Tarija es el principal productor de uva en Bolivia ubicada al sur del país, con una temperatura promedio de 18 °C, una precipitación anual de 400 mm<sup>3</sup> y una altura de 1700 a 2000 metros sobre el nivel del mar, convierte a este valle en un sitio ideal para el cultivo de la uva y la fabricación de vinos y singanis.

El Centro Nacional Vitivinícola se encuentra ubicado en el Valle de la Concepción a 27 Km. de la ciudad de Tarija, en la provincia Aviléz, del Departamento de Tarija. El 4 de julio de 1996 se inauguró el actual Centro Nacional Vitivinícola (CENAVIT) que se encuentra próximo al Valle de la Concepción, en la localidad de Pampa Colorada, el mismo que luego de un largo proceso de transformación, cuenta con instalaciones equipadas para el desarrollo de los objetivos y metas trazadas.

EL CENAVIT es una institución sin fines de lucro, orientada a la investigación vitivinícola, que regula actividad vitivinícola, depende de la Gobernación del Departamento de Tarija, dispone de los ambientes necesarios para cumplir con sus

objetivos y metas planteadas. Brinda asesoramiento y asistencia técnica a pequeños, medianos y grandes productores, para convertir la región en un polo de desarrollo.

Los campos de acción del CENAVIT de acuerdo al plan estratégico de la cadena de uvas, vinos y singanis son:

**Investigación:** En caracterización de uvas, vinos y singanis de altura y en producción de plantines resistentes a enfermedades.

**Servicios:** En la elaboración de vino para pequeños productores, venta de plantines y en el control de calidad de uvas, vinos, singanis y destilados en general.

**Capacitación:** En producción de plantines, manejo integrado de la vid producción de vinos y singanis artesanales. (10)

### 1.2.3 EL PROCESO DEL VINO EN BODEGA

Para tener un conocimiento de las aguas residuales de bodegas, es importante conocer el proceso de producción de los vinos, tal como es la del vino tinto, por cuanto en este proceso se realiza la fermentación maloláctica, este proceso se inicia en el cultivo y cosecha de la vid (vendimia), la molienda de las uvas y la separación de los tallos para su maceración (fermentación primaria o alcohólica), el prensado del material sólido separado o vino prensa, la fermentación maloláctica del mosto fermentado, su clarificado, estabilizado y filtrado (en algunos casos) y, por último, el embotellado final y su crianza en botellas (vino joven) o en barricas de madera para madurar. En el caso del vino blanco, los orujos son retirados después del prensado y antes de la fermentación. Se realiza una clarificación del mosto antes de introducirlo en cubas de acero inoxidable; excepcionalmente ocurre una segunda fermentación. La estabilización por frío después de la fermentación, clarificación y filtración, es otra particularidad de este proceso.

**FIGURA 1-2**  
**DIAGRAMA DEL PROCESO DE VINIFICACIÓN**

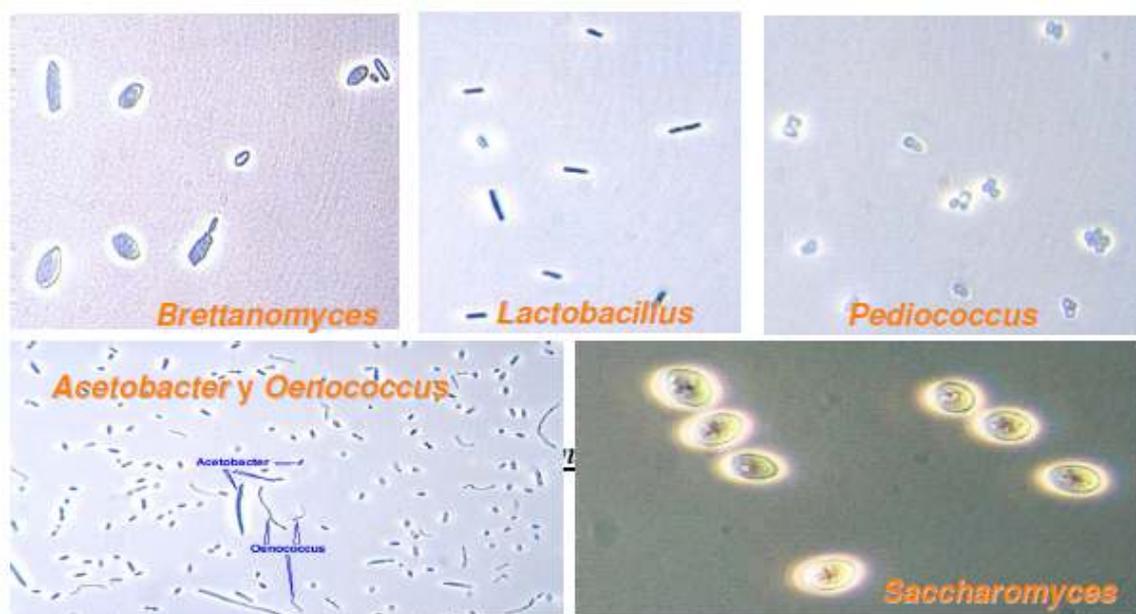


Fuente: Elaboración del vino, 2010.

### 1.2.3 MICROBIOLOGIA DEL VINO:

La microbiología del vino es muy compleja debido a que no es posible trabajar en situación de esterilidad en la bodega, sino que se realiza en un medio ambiente constituido por una gran biodiversidad microbológica llevando a cabo las dos fermentaciones principales del vino. Además, existen respuestas fisiológicas y metabólicas que cambian por parte de los microorganismos dependiendo de las condiciones tecnológicas de la vinificación que son determinadas por los enólogos, condicionando los resultados finales de la fermentación. Aquí podemos ver varios microorganismos que intervienen en el proceso de vinificación (11):

**FIGURA 1-3**  
**MICROORGANISMOS DEL VINO**



Fuente: Universidad de la Rioja., 2012.

**Los principales gérmenes encontrados en la producción del vino y sus géneros son:**

- **Los mohos**, presentes sobre los racimos y en las cavas. Ellos no son jamás útiles y pueden provocar malos sabores. (12)

**FIGURA 1-4**  
**MICROFOTOGRAFÍA DE MOHOS**



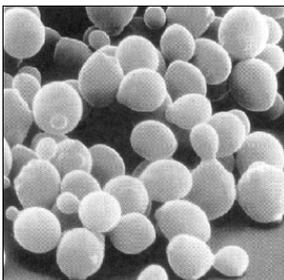
Fuente: Jean-Pierre VALADE, (2005)

Las películas de mohos pueden aparecer como consecuencia del crecimiento sobre la maquinaria de embotellado que se limpia deficientemente, y sobre los pozos o lías que quedan en las botellas retornables que se utilizan para el vino.

- **Las levaduras**, son responsables de la fermentación alcohólica, y también de alteraciones, fermentación en botellas.

Durante la Fermentación Alcohólica se pueden producir olores desagradables  $H_2S$ , acidez acética, fenoles volátiles, carbamatos de etilo. Los defectos provocados por una mala fermentación alcohólica, que pueden ser derivados directamente de un metabolismo secundario por parte de las levaduras en general o por la presencia de microorganismos oportunistas como los mohos. (12)

**FIGURA 1-5**  
**FOTOGRAFÍA CON EL MICROSCOPIO ELECTRÓNICO DE LEVADURAS**  
**FERMENTATIVAS DEL GENERO SACCHAROMYCES.**



Fuente: Universidad de la Rioja., 2012.

Durante el almacenamiento se puede generar una especie de velos sobre la superficie y refermentación en botellas.

**Alteraciones por levaduras no Saccharomyces:**

Las levaduras conocidas con el nombre de levaduras apiculadas o levaduras oxidadas de primera fase y las levaduras capaces de formar velo cuando la fermentación ha sido finalizada, pueden causar defectos y desequilibrios en boca de forma importante. Estas levaduras pertenecientes al género, de acuerdo al Departamento de Agricultura y Alimentación de la Universidad de la Rioja, son las siguientes:

**Hansenula:** levaduras con células alargadas con forma de maza y esporas en forma de sombrero. Estas levaduras producen mucho acetato de etilo.

**Zygosacchomyces:** levaduras con células ovoides alargadas muy grandes con esporas. Producen alta acidez volátil con su presencia.

**Pichia Fermentans:** levaduras cuyas células son alargadas y muy pequeñas. Producen ácido acético y acetaldehído, atacando al mismo tiempo la acidez del vino.

Brettanomyces: levaduras con células alargadas grandes con forma ojiva. Producen fenoles volátiles muy desagradables aromáticamente hablando.

**FIGURA 1-6**  
**LEVADURA DEL GENERO BRETTANOMYCES**



Fuente: Jean-Pierre VALADE, (2005)

Las levaduras del género Brettanomyces, dan origen a alteraciones de tipo aromáticas y gustos animales.

Levaduras de alteración frecuente en la producción de fenoles volátiles, contribuye a la complejidad aromatical. Después de una cierta concentración el vino se torna desagradable para la mayoría de la gente.

Las Levaduras son los organismos alterados con mayor frecuencia en los vinos. Las especies dominantes de levaduras alterantes tienden a diferir antes y después del embotellado del vino. (12)

- **Las bacterias lácticas**, agentes de la fermentación maloláctica, causan enfermedades (picadura láctica, grasa).

**FIGURA 1-7**  
**MICROFOTOGRAFÍA BACTERIAS LACTICAS**



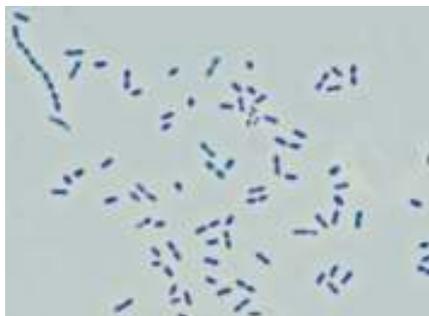
Fuente: Jean-Pierre VALADE, (2005)

Bacterias ácido lácticas son las más importantes en la alteración del vino, y las más implicadas o con más frecuencia son *Lactobacillus* y *Leuconostoc*, que crecen produciendo agüamiento, malos sabores, turbidez en algunos casos.

La enfermedad del picado láctico se produce cuando las condiciones son favorables para el desarrollo de bacterias (fermentaciones ralentizadas o paradas) y cuando todavía hay azúcar en el mosto-vino en fermentación. Se transforman los azúcares de seis átomos de carbono en etanol, carbónico, lactato de etilo y ácido acético.

- **Las bacterias acéticas**, tiene efectos nefastos, responsables de la picadura acética. A la vez la picadura acética conlleva a la producción de acidez acética.

**FIGURA 1-8**  
**MICROFOTOGRAFÍA BACTERIAS ACETICAS,**



Fuente: Jean-Pierre VALADE, (2005)

Bacterias ácido acéticas estas están relacionadas con la alteración de los vinos y especialmente el acetobacter pasteurianus. Ya que producen el avinagrado, coloración parduzca, sabor agridulce y turbidez. El exceso de ácido acético, cuyo umbral de detección son 0,7 – 0,8 g/l para el ácido acético, producen un sabor agrio y acerado por parte del ácido acético y un olor a picado del tipo éster. La alta concentración de este compuesto acentúa la acidez excesiva y el exceso de tanino. (12)

Este problema puede verse disfrazado por el grado alcohólico y la presencia de azúcares residuales y la baja acidez. La terminología empleada para hacer referencia a este problema es un vino acetoso, acre, agrio, acerado, alterado, picante, con punta de acidez volátil, avinagrado, picado. (12)

### **1.2.5. REACCIONES EN PROCESOS BIOLÓGICOS**

Las reacciones biológicas se clasifican en reacciones de procesos anaerobios y procesos aerobios:

#### **1.2.5.1 REACCIONES EN PROCESOS ANAEROBIOS**

Existe una organización sinérgica entre las diferentes bacterias implicadas en la metanogénesis. La reacción general podría resumirse como:



Entre las bacterias que forman parte de los procesos anaerobios se pueden encontrar anaerobias estrictas o facultativas, tanto Gram negativas (*Bacteroides*), como Gram positivas (*Clostridium*, *Bifidobacterium*, *Lactobacillus*, *Streptococcus*).

Existen 4 grupos o categorías de bacterias que participan en los pasos de conversión de la materia hasta moléculas sencillas como metano o dióxido de carbono y que van cooperando de forma sinérgica:

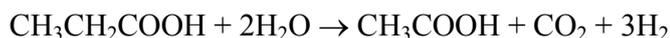
**Grupo 1: Bacterias Hidrolíticas:** Son un grupo de bacterias (*Clostridium*, *Proteus*, *Bacteroides*, *Bacillus*, *Vibrio*, *Acetovibrio*, *Staphylococcus*) que rompen los enlaces complejos de las proteínas, celulosa, lignina o lípidos en monómeros o moléculas como aminoácidos, glucosa, ácidos grasos y glicerol. Estos monómeros pasarán al siguiente grupo de bacterias.

**Grupo 2: Bacterias Fermentativas Acidogénicas:** (*Clostridium*, *Lactobacillus*, *Escherichia*, *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Desulfovibrio*, *Sarcina*). Convierten azúcares, aminoácidos y lípidos en ácidos orgánicos (propiónico, láctico, butírico o succínico), alcoholes y cetonas (etanol, metanol, acetona), acetato, CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>.



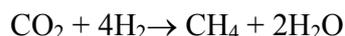
**Grupo 3: Bacterias Acetogénicas:** Son bacterias sintróficas (literalmente “*que comen juntas*”), es decir, solo se desarrollan como productoras de H<sub>2</sub> junto a otras bacterias consumidoras de esta molécula. *Syntrophobacterwolunii*, especializada en la oxidación de propionato, y *Syntrophomonaswolfei*, que oxida ácidos grasos que tienen de 4 a 8 átomos de carbono, convierten el propiónico, butírico y algunos

alcoholes en ácido acético, hidrógeno y dióxido de carbono, el cual se utiliza en la metanogénesis.



**Grupo 4: Bacterias Metanógenas:** Existen tanto bacterias Gram positivas como negativas. Estos microorganismos crecen muy despacio, con tiempo de generación que van desde los 3 días a 35°C hasta los 50 días a 10°C. Estas bacterias se dividen en 2 subgrupos:

Metanógenos hidrogenotróficos (bacterias quimiolitótrofas que utilizan hidrógeno):



Metanógenas acetotróficas: Acético  $\rightarrow$   $\text{CH}_4 + \text{CO}_2$ .

Sólo dos géneros, *Methanosarcina* (cocos grandes e irregulares en paquetes, Gram positivos) y *Methanothrix* (bacilos alargados, Gram negativos) tienen especies acetotróficas, aunque las primeras pueden utilizar también  $\text{CO}_2 + \text{H}_2$  como sustrato. Todas las bacterias metanogénicas se incluyen en el dominio *Archaea*. (13)

### 1.2.5.2 REACCIONES EN PROCESOS BIOLÓGICOS AEROBIOS

La oxidación biológica es el mecanismo mediante el cual los microorganismos degradan la materia orgánica contaminante del agua residual. De esta forma, estos microorganismos se alimentan de dicha materia orgánica en presencia de oxígeno y nutrientes, de acuerdo con la siguiente reacción:

Mat. orgánica + MO aerobios +  $\text{O}_2 \Rightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 + \text{NO}_3^- + \text{SO}_4^{2-} + \text{Nuevos MO} + \text{Energía}$

MO = Microorganismos

El origen del Nitrógeno N, en las aguas residuales puede ser muy diverso, predominando el que proviene de la mineralización de la materia orgánica a amoníaco o amonio según se indica en la siguiente secuencia:

Proteína → Aminoácidos → Amonio

$\text{NH}_4^+ \rightarrow \text{NH}_3 + \text{H}^+$  (a pH básico, la reacción se desplaza a la derecha).

También, a través de la enzima ureasa, la urea puede degradarse en amoníaco y dióxido de carbono:

$\text{O}=\text{C}-(\text{NH}_2)_2 + \text{H}_2\text{O} (+ \text{ureasa}) \rightarrow 2\text{NH}_3 + \text{CO}_2$ .

Como se ha indicado anteriormente, estas fuentes de nitrógeno presentes en el agua residual deben ser eliminadas antes de verter los efluentes a los cauces finales. En las Estaciones depuradoras de agua residual se pueden utilizar unos procesos biológicos antagonicos para evitar la eutrofización: nitrificación y desnitrificación bacteriana:

Nitrificación: Consiste en la conversión del amonio a nitrato mediante la acción microbiana. Este proceso es llevado a cabo por las bacterias nitrificantes, quimiolitótrofas aerobias estrictas, Gram negativas capaces de oxidar el amoníaco. El proceso tiene lugar en dos fases: Por una parte, las bacterias pertenecientes al género Nitrosomonas básicamente (bacilos con sistemas de membrana periféricos) oxidan el amoníaco a nitrito. Posteriormente, éste es oxidado a nitrato por las bacterias oxidadoras de nitrito del género Nitrobacter (bacilos cortos que se reproducen por gemación y con sistemas de membranas organizados como una capa polar). El proceso final se realiza en 3 etapas: dos para la oxidación a nitrito mediante un paso intermedio de hidroxilamina y una para nitrato:

Bacterias nitrosificantes (Nitrosomonas):

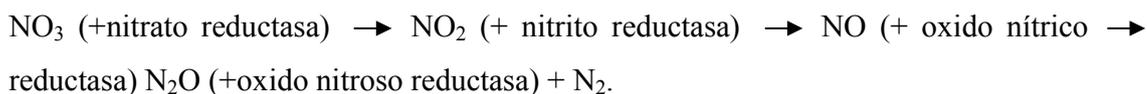


Bacterias nitrificantes (Nitrobacter):

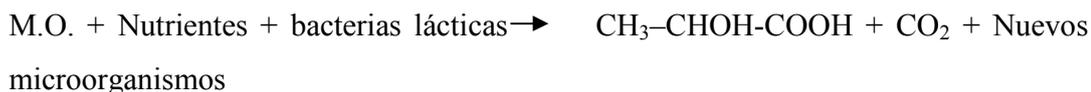
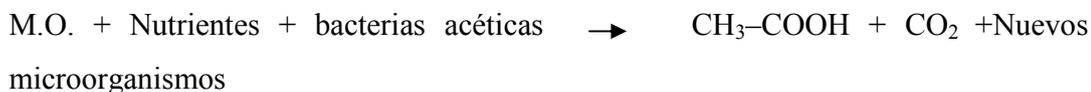


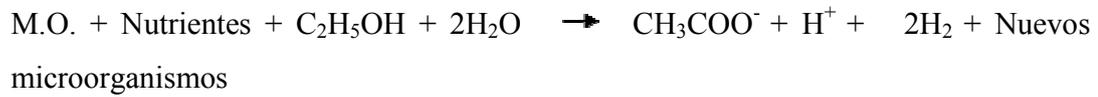
Desnitrificación: Proceso mediante el cual los  $\text{NO}_3$  y  $\text{NO}_2$  producidos en el primer proceso son reducidos a las formas gaseosas  $\text{N}_2$  u óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ). Este último puede constituirse como un fuerte contaminante del aire. La mayor parte de las bacterias que utilizan el  $\text{NO}_3$  como aceptor de electrones son heterótrofas anaerobias facultativas o anaerobias aerotolerantes pertenecientes a una gran variedad de géneros tanto Gram negativos (*Pseudomonas*, *Spirillum*, *Rhizobium*, *Cytophaga*, *Thiobacillus* o *Alcaligenes*) como Gram positivos (*Bacillus*, *Propionibacterium* o *Corynebacterium*). (14)

La secuencia que conlleva la desnitrificación es la siguiente:



Reacciones Anabólicas:

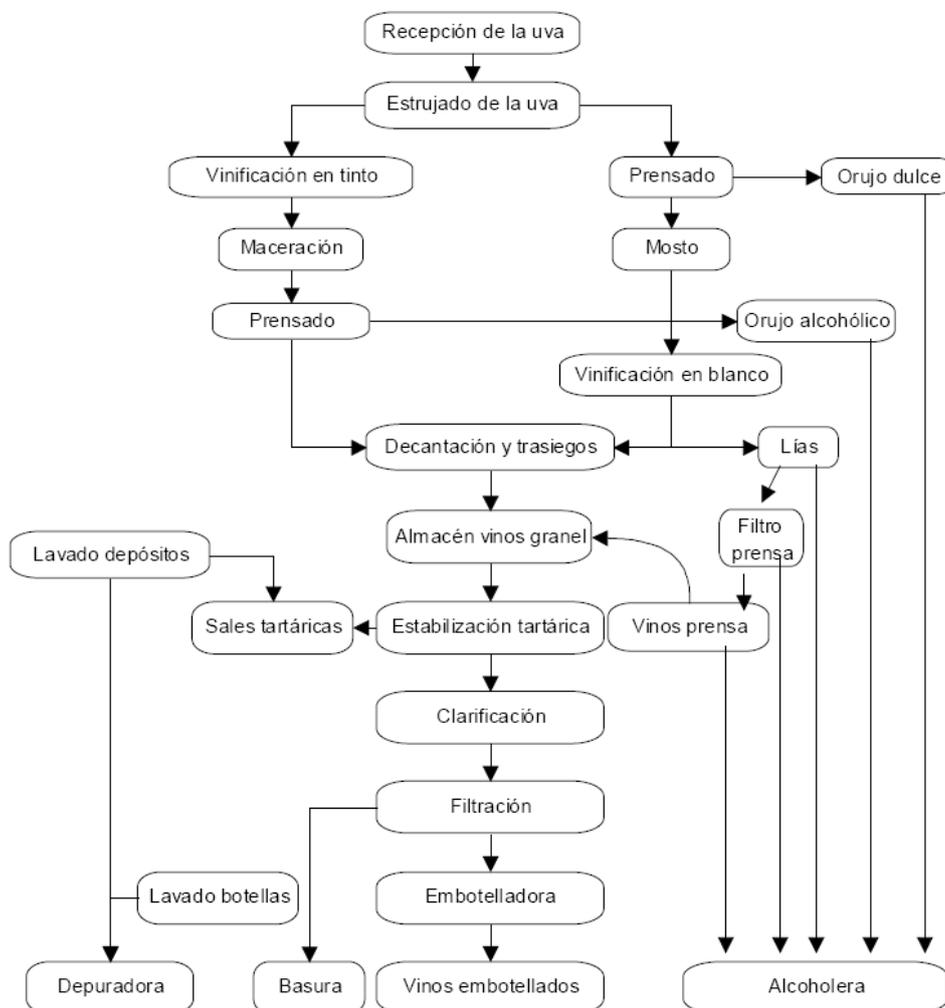




### **1.2.6 PROCESOS ENOTÉCNICOS Y GENERACIÓN DE RESIDUOS EN BODEGAS DE ELABORACIÓN Y EMBOTELLADO.**

En la figura I-9 se muestra un diagrama de flujo que sintetiza de alguna manera, los procesos enotécnicos que se realizan en una bodega para la elaboración y embotellado de un vino. Además se representan los subproductos obtenidos en este proceso y el destino que éstos tienen para su aprovechamiento posterior.

**FIGURA 1-9**  
**FLUJO DE MATERIALES Y DE ACTIVIDADES EN UNA BODEGA**



Fuente: Prodanov y Cobo, 2004

La primera operación es la recepción de la uva para su descarga en las tolvas. Una vez realizada, se procede a la limpieza generando unas aguas de lavado que contienen residuos de mosto, partes de la uva, tierra e incluso pequeñas cantidades de grasa y aceites del vehículo. Esta fuente de contaminación se produce durante la vendimia y a lo largo de toda la jornada.

Posteriormente, la uva es sometida a un estrujado y despalillado. En el caso de la vinificación en blanco, la separación del mosto se realiza inmediatamente después del estrujado mediante prensado, obteniéndose mosto y orujo dulce, en la vinificación en tinto, la masa de vendimia macera y fermenta en presencia de las partes sólidas de la uva durante varios días.

Finalmente el mosto parcial o totalmente fermentado se separa por prensado del orujo. Ambos tipos de orujo (dulce y alcohólico) se entregan a las alcoholeras para su posterior destilación.

Durante estos procesos se producen cantidades apreciables de aguas de lavado de los equipos de escurrido y prensado. Estas aguas contienen residuos de mosto, pequeños fragmentos de las partes sólidas de la uva (pepitas, hollejos, trozos de raspón), alcohol, detergentes y desinfectantes. Este aporte de contaminantes se produce durante la época de vendimia y después de cada fase de trabajo.

Una vez terminada la fermentación alcohólica, se produce en los vinos una decantación natural de sólidos en suspensión (lías) que son separadas del vino por sucesivos trasiegos. Las lías se entregan a las alcoholeras para su destilación. Por lo tanto, durante la época de vinificaciones se generan altas cantidades de aguas de lavado de los depósitos de fermentación que contienen restos de vino, lías, desinfectantes y detergentes.

Después del trasiego, el vino queda almacenado en depósitos para su posterior estabilización antes del embotellado. Estos procesos son la estabilización tartárica, clarificación y filtración. Estas actividades van a generar durante todo el año una gran cantidad de aguas de lavado procedente de los depósitos de almacenaje e isoterma, de los equipos de filtración y enfriado, y de las conducciones. Estas aguas residuales contienen restos de vino, lías, tartratos, restos de clarificantes orgánicos (dependiendo de la tecnología empleada, pueden contener: gelatina, caseína, caseinato potásico, albúmina de huevo, clara de huevo, albúmina de sangre y carbonos activos) e

inorgánicos (bentonita, PVPP, gel de silicio, tierras), así como restos de todos los productos utilizados para la limpieza y desinfección.

En los procesos de estabilización del vino se obtienen una serie de subproductos y residuos que debemos gestionar. Uno de estos subproductos, se produce durante la estabilización tartárica, ya que queda un precipitado muy rico en sales tartáricas que se entrega a las empresas productoras de ácido tartárico, muy utilizado en las bodegas para corregir la acidez de los mostos. (15)

El proceso de clarificación se realiza con clarificantes de naturaleza proteica o tánica y una decantación natural o forzada (centrifugación), al final del proceso aparece una cantidad adicional de lías que se entregan a las destiladoras para su posterior destilación. Los residuos generados en el proceso de filtración, sobre todo tierras de diatomeas, no son utilizados como subproductos por ninguna otra industria y por lo tanto la bodega debe gestionarlos. En general, las tierras diatomeas son vertidas junto a las aguas de lavado a la red de saneamiento, aunque se puede utilizar una filtración tangencial para evitar estos residuos. Como aprovechamiento de este producto filtrante, su incorporación durante el compostaje del orujo lavado y las pastas de lías de las alcoholeras.

La crianza del vino en barricas y el embotellado además de generar contaminación por vertidos líquidos con restos de vino, lías y productos de limpieza, produce una contaminación térmica por aporte a la red de saneamiento municipal de agua caliente. Estos vertidos se realizan durante todo el año y provienen del lavado de barricas, maquinaria de embotellado, lavadora de botellas, equipos de microfiltración, etc. (15)

Un estudio realizado por Hidalgo (2003) cuantifica la influencia de cada proceso enológico en la contaminación de las aguas de lavado en la elaboración de un vino blanco. Así, durante el prensado se aporta sólo un 8,8 % del total, en el desfogado

del mosto un 21,4%, en el primer trasiego 61,1%, en el segundo 3,8%, siendo el resto la contaminación que se aporta por los operaciones de embotellado del vino. (16)

**CUADRO I-1.**  
**RESIDUOS QUE SON GENERADOS DE ACUERDO AL PROCESO DE**  
**VINIFICACION**

<b>PROCESO</b>	<b>RESIDUO</b>
Recepción de la uva	Lavado que contienen residuos de mosto
Estrujado y despalillado	Mosto y orujo dulce
Prensado	Orujo dulce
Durante la época de vendimia y después de cada fase de trabajo	Residuos de mosto, pequeños fragmentos de las partes sólidas de la uva, alcohol, detergentes y desinfectantes
Fermentación alcohólica	Restos de vino, lías, desinfectantes y detergentes
Estabilización tartárica, clarificación y filtración	Restos de vino, lías, tartratos, restos de clarificantes orgánicos e inorgánicos.

Fuente: Dr. J. Oliva., 2011.

### **1.3 AGUAS RESIDUALES**

“Las aguas residuales pueden definirse como las aguas que provienen del sistema de abastecimiento de agua de una población, después de haber sido modificadas por diversos usos en actividades domésticas, industriales y comunitarias.” (17).

Según su origen, las aguas residuales resultan de la combinación de líquidos y residuos sólidos transportados por el agua como sólidos suspendidos. La contaminación que va asociada a las aguas residuales, actúa sobre el medio ambiente acuático alterando el delicado equilibrio de los diversos ecosistemas integrado por

organismos que interactúan con componentes asociados a los residuos, originando un intercambio cíclico de materiales.

La contaminación del agua por la incorporación de materias extrañas como microorganismos, productos químicos, residuos industriales y de otros tipos, o aguas residuales. Estas materias deterioran la calidad del agua y la hacen inútil para los usos pretendidos.

Las aguas residuales, contaminadas, son las que han perdido su calidad como resultado de su uso en diversas actividades. Se trata de aguas con un diverso contenido en elementos contaminantes, que a su vez van a contaminar aquellos sistemas en los que son evacuadas.

Del total vertido por los focos de contaminación con aguas residuales, sólo una parte será recogida en redes de saneamiento, mientras que el resto será evacuado a sistemas naturales directamente. (17)

### **1.3.1 AGUA RESIDUAL DOMICILIARIA (ARD)**

Son aquellas aguas utilizadas con fines higiénicos: sanitarios, cocinas, lavanderías, etc., consisten básicamente en residuos generados por las actividades humanas que llegan a las redes de alcantarillado por medio de las descargas de las instalaciones hidráulicas de la edificación y también residuos originados en establecimiento comerciales, público y similares. (18)

### **1.3.2 AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL (ARI)**

Son residuos líquidos generados en los procesos industriales. Poseen características específicas, dependiendo del tipo de industria. Las aguas residuales industriales son aquellas que proceden de cualquier actividad o negocio en cuyo proceso de

producción, transformación o manipulación se utilice el agua. Son enormemente variables en cuanto a caudal y composición, difiriendo las características de los vertidos no sólo de una industria a otro, sino también dentro de un mismo tipo de industria. (18)

### **1.3.3 AGUA RESIDUAL DE BODEGA (ARB)**

Las industrias no emiten vertidos de forma continua, si no únicamente en determinadas horas del día o incluso únicamente en determinadas épocas de año, lo cual depende de la metodología de trabajo, tecnología, período de producción, etc. La industria vitivinícola genera líquidos residuales en mayor porcentaje desde la época de la vendimia que es desde el mes de marzo hasta abril donde tienen mayor caudal y los demás meses el caudal es variable y depende de las operaciones que se estén realizando.

Es importante la recuperación de subproductos del agua residual de proceso; se originan en la utilización del agua como medio de transporte, lavado, y que puede contaminarse con los productos de fabricación o incluso los demás líquidos residuales.

El vertido o efluente de una bodega es continuo o discontinuo y, por lo general, está relacionado con una serie de operaciones semanales, mensuales, que se realizan en la elaboración del vino o singanis.

A las operaciones ya citadas en el apartado anterior (limpieza de botellas, máquina embotelladora, tolvas, despalilladoras, prensas, barricas, depósitos, suelos y la refrigeración de depósitos), Dentro de las cargas contaminantes de una bodega podemos encontrar; los siguientes vertidos:

- Pérdidas de vino, aguas sanitarias y aguas del laboratorio.

- Limpieza de botellas: agua caliente con sosa, producto cáustico que resulta tóxico para la vida acuática.
- Limpieza de tolvas, despalladora y prensa: generan residuos sólidos como los raspones, heces y lías que pasan al vertido en pequeña proporción, causando aportes de materia orgánica y de sólidos en suspensión que originan altos consumos de oxígeno y la mortandad de peces y algas.
- Limpieza de lagares, depósitos y barricas: altos contenidos en sales (tartratos y bitartratos), sólidos en suspensión que producen altos consumos de oxígeno y turbidez, dificultan la respiración de las formas vivas en los ríos y cauces.
- Estufado de barricas: Estudios realizados en bodegas establecen entre 15 y 25 °C la temperatura del agua vertida. El máximo permitido es de 40 ° C (temperatura más alta que la del cauce). Al llegar a éste se produce una disminución del oxígeno disuelto, varían los microorganismos, que tiene repercusiones en el ciclo vital de los animales superiores.
- Refrigeración de depósitos: refrigeración de tanques en circuito abierto o cerrado, genera una corriente con una temperatura muy distinta como hemos visto en el punto anterior altera el ciclo vital de los peces y plantas.
- Limpieza de filtros: parte del material filtrante pasa a formar parte del vertido, produce erosión en las branquias de los peces, favorece la fermentación anaeróbica al disminuir el oxígeno y forma espumas que dificulta la reoxigenación del río.
- Aguas domésticas: proceden de los comedores, cocinas, oficinas y sanitarios, son similares a las aguas residuales domésticas, incluyen aceites, detergentes y materia orgánica. Los detergentes forman espumas, crean contaminación visual e impiden la aireación del agua. (19)

Establecer el vertido tipo de una bodega es difícil, cada región vinícola ha intentado cuantificar los suyos. A la hora de analizar los vertidos encontramos unos rangos de contaminación muy amplios que dependen del tipo de tecnología y proceso aplicado.

Cuanto más cuidadosos seamos en la vinificación más bajarán los valores de los parámetros contaminantes y nos acercaremos más al cumplimiento legal.

En lo referente al consumo de agua por litro de vino producido existen diferencias significativas entre diversos autores. Tal como se muestra en la siguiente tabla I-2 (19):

**TABLA I-2.**  
**RELACION DE PRODUCCION VINO/AGUA RESIDUAL**

<b>AUTOR</b>	<b>PAÍS</b>	<b>RELACIÓN DE PRODUCCIÓN VINO /AGUA RES.</b>
Prodanov y Cobo (2004)	España	1 : 1
Caetano y Di Berardino, (1998)	Portugal	1 : 1,5
Galy y Menier, (1998)	Francia	1 : 0,13-0,50 l
Pizarro y Soca (2003)	La Rioja	1 : 2-5 l

Fuente: Dr. J. Oliva., 2011.

Así, Prodanov y Cobo (2004) indican que la producción de 1 litro de vino en España genera aproximadamente 1 l de agua vertida (Esandi y Abad, 1997), para Portugal oscila en torno a 1,5 l (Caetano y Di Berardino, 1998) y para Francia de 0,13 a 0,50 l (Galy y Menier, 1998). Mientras que Pizarro y Soca (2003), cifran el consumo de agua por litro de vino producido en 2-5 l para las bodegas de la Rioja y 1 litro para las francesas. En general, el consumo depende de la etapa, así durante la vinificación se requiere de 1-3 l de agua por kg de uva, en la crianza de 1-2,5 l de agua por litro de vino y en el almacenamiento y embotellado entre 0,5-1,5 litros. El reparto del consumo anual de agua en una bodega se estima entre el 40-50% del total durante la vendimia y trasiegos, del 25-35% para tratamientos y crianza, y del 15 al 25% en la estabilización y embotellado.

## **1.4 TIPOS DE CONTAMINACIÓN DE AGUAS RESIDUALES DE BODEGA**

Se clasifican según el factor ecológico que altere, aunque suelen afectar a más de un factor.

### **1.4.1 CONTAMINACIÓN FÍSICA**

Las sustancias que modifican factores físicos, pueden no ser tóxicas en sí mismas, pero modifican las características físicas del agua y afectan a la biota acuática, entre estos parámetros podemos citar los siguientes (20):

#### **1.4.1.1 TEMPERATURA**

El aumento de temperatura disminuye la solubilidad de gases (oxígeno) y aumenta, en general, la de las sales. Aumenta la velocidad de las reacciones del metabolismo, acelerando la putrefacción. La temperatura óptima del agua para beber está entre 10 y 14°C.

La temperatura es un parámetro muy importante por su efecto en la vida acuática, en las reacciones químicas, velocidades de reacción y en la aplicabilidad del agua a usos útiles, como el caso de las aguas provenientes de las plantas industriales, relativamente calientes después de ser usadas en intercambiadores.

Refrigeración de depósitos, refrigeración de tanques en circuito abierto o cerrado. Una corriente con una temperatura muy distinta como hemos visto en el punto anterior altera el ciclo vital de los peces y los anfibios. (20)

**Importancia Sanitaria.** La temperatura tiene un efecto importante en las características físicas, químicas y biológicas de los cuerpos de agua, de aquí que su determinación sea muy importante. Por ejemplo, para poder calcular los valores de saturación de oxígeno disuelto y correlacionarlo con otros factores como es el caso de la actividad biológica, es necesario tener lecturas exactas de temperatura; por otra parte, el conocimiento exacto de los valores de temperatura son, necesarios para correlacionarlos con otro parámetro como la conductividad. Se ha comprobado que a mayor temperatura mayor será la DBO.

En estudios limnológicos de ríos, lagos etc., es necesario conocer las temperaturas de las aguas a diferentes profundidades, pues la temperatura es un factor fundamental en el crecimiento y distribución de los organismos vivos presentes en el cuerpo de agua.

#### **1.4.1.2 COLOR**

El color es fuente de la descomposición natural de material orgánico, está presente en el agua residual industrial tanto como domestica.

La coloración del agua es rojiza se debe a los taninos y antocianos que se encuentran en el hollejo de la uva que dan la coloración intensa al vino.

El color el cual determina cualitativamente el tiempo de las aguas residuales, es por ello que si el agua es reciente esta suele ser gris; sin embargo como quiera los compuestos orgánicos son descompuestos por las bacterias, él oxígeno disuelto en el agua residual se reduce a cero y el color cambia a negro. (20)

#### **1.4.1.3 OLOR**

Compuestos químicos presentes en el agua residual como los fenoles, cloro, materias orgánicas en descomposición o esencias liberadas por diferentes algas u hongos

pueden dar olores y sabores muy fuertes al agua, aunque estén en muy pequeñas concentraciones. Las sales o los minerales dan sabores salados o metálicos, en ocasiones sin ningún olor. El olor puede ser definido como el conjunto de sensaciones percibidas por el olfato al captar ciertas sustancias volátiles. (20)

#### **1.4.1.4 MATERIA SÓLIDA**

La materia sólida presente en un agua suele agruparse en tres categorías; materias decantables, materias en suspensión y residuos. La materia decantable se determina dejando en reposo un litro de agua en un cono o probeta graduada. El resultado se expresa como mililitros de materia decantada por litro de agua. (20)

La determinación de las materias en suspensión en el agua puede realizarse por filtración o por centrifugación. La filtración se realiza a vacío sobre un filtro. El filtro con el residuo es nuevamente secado y pesado. La diferencia entre este peso y el que teníamos antes del filtro solo, proporciona el valor de los sólidos.

##### **- Sólidos sedimentables**

Sólidos son los materiales suspendidos o disueltos en aguas residuales. Sólidos sedimentables es la expresión aplicada al material que se desprende (precipita) de la suspensión en un periodo determinado.

Sólidos sedimentables son aquellos sólidos que sedimentan cuando el agua se deja en reposo durante 1 hora. Se determinan volumétricamente mediante el uso del cono Imhoff.

Los sólidos que se encuentran en el agua residual de Bodega son los restos de lías, tartratos, restos de clarificantes orgánicos (gelatina, caseína, caseinato potásico,

albúmina de huevo, clara de huevo, albúmina de sangre y carbonos activos) e inorgánicos (bentonita, gel de silicio, tierras).

#### - **Sólidos suspendidos**

El término sólido suspendido se refiere a los sólidos no filtrables. Los sólidos pueden afectar negativamente a la calidad del agua o a su suministro de varias maneras. Los análisis de sólidos son importantes en el control de procesos de tratamiento biológico y físico de las aguas residuales y para evaluar el cumplimiento de las limitaciones que regulan su vertido.

Partículas como arcillas, limo y otras, aunque no lleguen a estar disueltas, son arrastradas por el agua de dos maneras: en suspensión estable (disoluciones coloidales); o en suspensión que sólo dura mientras el movimiento del agua las arrastra. Las partículas suspendidas coloidalmente sólo precipitan después de haber sufrido coagulación o floculación (reunión de varias partículas).

Los sólidos suspendidos están representados por el residuo que permanece, de la diferencia de los sólidos totales y disueltos a una temperatura de 105°C hasta pesada constante. (20)

En la etapa de la fermentación alcohólica, se produce en los vinos una decantación natural de sólidos en suspensión (lías) que son separadas del vino por sucesivos trasiegos posteriormente quedando restos de ellos en el agua residual.

**Significado Sanitario.** Aguas de alto contenido de sólidos pueden ser laxantes pierden cualidades organolépticas y pueden ocasionar otras molestias en personas no acostumbradas a su ingestión. Un agua destinada al uso doméstico no debe contener más de 500 mg/l de sólidos totales, fijándose un límite de 1000 mg/l.

La evaluación de los sólidos suspendidos es uno de los parámetros para valorar la concentración de las aguas residuales domésticas y para determinar la eficiencia de las unidades de tratamiento. Se espera que la sedimentación ocurra a través de la floculación biológica y química; de aquí que la medida de sólidos suspendidos se considere tan significativamente como la DBO.

#### **1.4.1.6 CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA**

Se define como la conductancia de una columna de agua comprendida entre dos electrodos metálicos paralelos. La medida se realiza en un conductímetro, basa en el principio de puente de Wheatstone. Se genera una diferencia de potencial de corriente alterna entre los dos electrodos, para evitar las electrólisis en la disolución, aunque algunos dispositivos emplean normalmente corriente continúa. (20)

También se define la conductividad como una expresión numérica de la capacidad que tiene una solución para conducir la corriente eléctrica. Dicha capacidad depende de la presencia de iones, su concentración total, su movilidad, valencia, concentración relativa y además de la temperatura.

El agua pura tiene una conductividad eléctrica muy baja. El agua natural tiene iones en disolución y su conductividad es mayor y proporcional a la cantidad y características de esos electrolitos. Por esto se usan los valores de conductividad como índice aproximado de concentración de solutos. Como la temperatura modifica la conductividad las medidas se deben hacer a 20°C.

La conductividad del agua está en relación directa con los sólidos disueltos. El estudio de este índice muestra niveles de conductividad similares a los vertidos de las industrias agroalimentarias, salvo en vertidos directos del lavado de botellas, donde la sosa (NaOH) lo aumenta muchísimo. Vertidos con una conductividad muy alta hacen que no puedan ser empleados para el riego.

**Importancia sanitaria.** El dato de conductividad nos da una medida de la pureza de un agua. Por ejemplo, un agua pura tendrá una conductividad de 10 mhos/cm y un agua ultra pura tendrá una conductividad de 0,1 mhos/cm, también nos permite conocer el posible efecto que tendrá un agua sobre el suelo y el cultivo. Es también un indicador del agotamiento de las resinas de intercambio iónico y da un parámetro para la caracterización del agua.

## **1.4.2 CONTAMINACIÓN QUÍMICA**

Algunos efluentes cambian la concentración de los componentes químicos naturales del agua causando niveles anormales de los mismos. Otros, generalmente de tipo industrial, introducen sustancias extrañas al medio ambiente acuático, muchos de los cuales pueden actuar deteriorando los organismos acuáticos y de la calidad del agua en general. En este sentido es en el que puede hablarse propiamente de contaminación.

Contaminantes Químicos, estos componen tanto productos químicos orgánicos como inorgánicos. El aspecto fundamental de la contaminación de productos orgánicos es la disminución del oxígeno como resultante de la utilización del existente en el proceso de degradación biológica, llevando con ello a un desajuste y a serias perturbaciones en el medio ambiente. En el caso de compuestos inorgánicos el resultado más importante es su posible efecto tóxico, más que una disminución de oxígeno. Sin embargo, hay casos en los cuales los compuestos inorgánicos presentan una demanda de oxígeno, contribuyendo a la disminución del mismo. (Jaime Miranda., 2011)

### **1.4.2.1 NITRÓGENO TOTAL**

Varios compuestos de nitrógeno son nutrientes esenciales. Su presencia en las aguas en exceso es causa de eutrofización. El nitrógeno se presenta en muy diferentes formas químicas en las aguas naturales y contaminadas. En los análisis habituales se

suele determinar el NTK (nitrógeno total Kjeldahl) que incluye el nitrógeno orgánico y el amoniacal. El contenido en nitratos y nitritos se da por separado. (20)

#### **1.4.2.2 FÓSFORO TOTAL**

El fósforo, como el nitrógenos, es nutriente esencial para la vida. Su exceso en el agua provoca eutrofización.

El fósforo total incluye distintos compuestos como diversos ortofosfatos, polifosfatos y fósforo orgánico. La determinación se hace convirtiendo todos ellos en ortofosfatos que son los que se determinan por análisis químico. El fósforo se encuentra en aguas naturales y residuales casi exclusivamente como fosfatos, los cuales se clasifican en ortofosfatos, fosfatos condensados (piro-, meta-, y otros polifosfatos) y fosfatos orgánicos. El análisis de fósforo envuelve dos pasos generales: (a) conversión de la forma de fósforo de interés a ortofosfato disuelto, y (b) determinación colorimétrica del ortofosfato disuelto, cantidades pequeñas se añaden algunas veces durante el tratamiento, en el lavado de ropa u otras limpiezas, los fertilizantes agregados a la tierra aportan con fósforo al agua. El fósforo es esencial para el crecimiento de los organismos y puede ser el nutriente limitador del crecimiento de los microorganismos de un cuerpo de agua. (20)

#### **1.4.2.3 pH**

Las medidas de pH se realizan con un electrodo de vidrio, el cual genera un potencial que varía linealmente con el pH de la solución en la que está inmerso. El electrodo consiste en una célula con un potencial controlado por la actividad del protón a cada lado de una membrana de vidrio muy fina.

EL pH es la concentración del ión hidrógeno indica las condiciones de acidez o alcalinidad presentes en una solución. Es un parámetro de calidad de gran

importancia tanto en el caso de las aguas naturales como residuales. El pH mide el carácter ácido o básico de un efluente. En el lavado y reciclado de botellas el pH resultante es elevado (alcalino), debido al aporte de NaOH. Un vertido básico produce la clorosis férrica e impide que las vides asimilen el hierro. El pH del resto de los procesos es ácido. Hay que tener en cuenta que el vino es un producto ácido. (20)

**Importancia sanitaria.** La determinación de la concentración de iones hidrógeno a través de la determinación del pH es una práctica muy importante. Para en un sistema de abastecimiento de agua el pH influye en los procesos de la coagulación química, en el proceso de desinfección de las aguas y en el control de la corrosión. Mientras que en los procesos de tratamiento biológico de las aguas residuales el pH influye en el crecimiento de los microorganismos responsables del proceso, de aquí que este deba mantenerse dentro de ciertos límites. Por otra parte, la alteración del pH en un ecosistema acuático puede cambiar la flora y la fauna presente en éste, pudiendo ser la causa de la muerte de los peces, entre otros daños.

El pH tiene una relación directa con los parámetros acidez y alcalinidad lo que hace necesario que se conozcan los aspectos prácticos y teóricos del pH, ya que los términos alcalinidad y acidez indican la reserva total o capacidad amortiguadora de una muestra, mientras que el valor del pH representa la actividad instantánea del ion hidrógeno.

#### **1.4.2.4 DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGENO DBO<sub>5</sub>**

Se define la DBO<sub>5</sub> como la cantidad de oxígeno necesaria para que un determinado microorganismo pueda oxidar la materia orgánica presente en el agua. Se aplica para determinar el grado de contaminación de las aguas, o de descontaminación de las aguas residuales. Cuanto mayor sea la contaminación, mayor será la demanda bioquímica de oxígeno.

DBO<sub>5</sub> es la cantidad de oxígeno disuelto requerido por los microorganismos para la oxidación aerobia de la materia orgánica biodegradable presente en el agua. Se mide a los cinco días. Su valor da idea de la calidad del agua desde el punto de vista de la materia orgánica presente y permite prever cuanto oxígeno será necesario para la depuración de esas aguas e ir comprobando cual está siendo la eficacia del tratamiento depurador en una planta. Demanda Bioquímica de Oxígeno es el parámetro utilizado para caracterizar la calidad de un agua, que mide la cantidad de oxígeno necesaria para la degradación biológica de las materias orgánicas que contiene. Es un indicador del grado de contaminación orgánica del agua”. (21).

La elevada carga contaminante básicamente orgánica, es consecuencia de la materia seca del mosto o del vino, o bien de microorganismos. Se trata fundamentalmente de materia colorante, taninos, proteínas, ácidos orgánicos, glúcidos y micoorganismos vivos o muertos (levaduras, bacterias lácticas y acéticas, hongos). A título meramente indicativo se pueden dar los siguientes parámetros de demanda bioquímica de oxígeno (22):

**CUADRO I- 2**  
**PARAMETROS DE DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO**

<b>ESTADO DEL AGUA</b>	<b>DBO<sub>5</sub>; mg/l</b>	<b>CORRESPONDE A NORMA BOLIVIANA</b>
Pura - Potable	0 - 20	CLASE A
Levemente Contaminada	20 - 100	CLASE B
Medianamente Contaminada	100 - 500	CLASE C
Muy Contaminada	500 - 3000	CLASE D
Extremadamente Contaminada	3000 - 15000	

Fuente: Calderón, 2010

**Importancia sanitaria de la DBO<sub>5</sub>.** Mientras mayor sea la cantidad de materia orgánica biodegradable vertida a un cuerpo de agua, mayor será la necesidad de oxígeno para su descomposición y estabilización y por tanto se producirá una disminución en el oxígeno disuelto creándose condiciones que van en detrimento de la vida acuática y de los usos que se le puedan dar a esta agua.

La disminución del oxígeno disuelto en las corrientes de agua puede ser la causa de la extinción de peces y de otras formas de vida acuática, un valor alto de la DBO puede significar un incremento de la microflora presente en el cuerpo de agua, lo que puede interferir en el equilibrio de la vida acuática, se generan cantidades excesivas de algas, además de producir olores y sabores desagradables y taponamiento en los filtros de arena empleados en las plantas de tratamiento.

#### **1.4.2.5 DEMANDA QUÍMICA DE OXIGENO (DQO)**

Es el parámetro utilizado para caracterizar la contaminación orgánica del agua que se mide a partir de la cantidad de oxígeno disuelto necesario para la degradación química de los contaminantes orgánicos que contiene”. Se entiende como “degradación química” la reacción de un oxidante químico, bien dicromato potásico, bien permanganato potásico, que consume materia orgánica. (23)

La demanda química del oxígeno, es la cantidad de oxígeno que se necesita para oxidar los materiales contenidos en el agua con un oxidante químico (normalmente Dicromato potásico en medio ácido). Se determina en tres horas y, en la mayoría de los casos, guarda una buena relación con la DBO por lo que es de gran utilidad al no necesitar los cinco días de la DBO. Sin embargo la DQO no diferencia entre materia biodegradable y el resto y no suministra información sobre la velocidad de degradación en condiciones naturales. (24).

La demanda química de oxígeno (DQO) es una prueba en la que se determina la cantidad de oxígeno equivalente necesario para oxidar a la materia orgánica presente en las aguas residuales por medio de un agente oxidante fuerte, bajo ciertas condiciones de acidez, temperatura y tiempo, transformando la materia orgánica en dióxido de carbono y agua. En la prueba de la demanda química de oxígeno (DQO), con excepción de ciertos aromáticos como el benceno, todos los compuestos presentes se oxidan en la reacción y, además, como es una reacción de oxidación-reducción, ciertas sustancias reducidas como los sulfuros, hierro ferroso y los sulfitos también se oxidarán y se incluirán en el resultado de la prueba de DQO.

Una de las principales limitaciones de la prueba de DQO es la de oxidar la materia orgánica del desecho sin importar su degradabilidad biológica. Por ejemplo, la glucosa es ( $C_6 H_{12} O_6$ ) biológicamente oxidable, mientras que la lignina ( $C_{10}O_{13}H_3$ ), producto proveniente de la madera y de las plantas leñosas, es relativamente inerte; sin embargo, ambos compuestos son oxidados completamente en la reacción. Una segunda limitación es la de no proporcionar la velocidad de estabilización del desecho tal como ocurriría en la naturaleza, por medio de la oxidación por microorganismos. (24)

**Importancia sanitaria.** Solo en los desechos donde la materia orgánica es oxidada en las reacciones de la DBO y la DQO y conociendo el grado de estabilización del desecho, puede establecerse una relación confiable DBO/DQO. Bajo estas condiciones se puede tomar el resultado de la DQO para determinar las diluciones en la prueba de la DBO. Este criterio se emplea en las plantas de tratamiento de aguas negras para controlar las pérdidas en las tuberías de desechos y para el control de las diferentes etapas del proceso.

Si en la muestra del desecho domina material que puede ser químicamente oxidado, el valor de la DQO será mayor que el de la DBO; esto puede darse en los desechos de las industrias textiles y del papel. En las aguas naturales, la DBO disminuye más

rápido la DQO, lo que significa que en la naturaleza la oxidación enzimática destruye rápidamente los compuestos biológicos existentes (Esto sucede en las plantas de tratamientos por procesos biológicos). Una vez que los microorganismos mueren, su masa celular o detritus, tiene una DBO baja pues está formada por compuestos en una etapa avanzada de estabilización, pero el valor de su DQO es alto, ya que los compuestos no son biológicamente oxidables.

#### 1.4.2.6 OXÍGENO DISUELTO (OD)

Las aguas superficiales limpias suelen estar saturadas de oxígeno, lo que es fundamental para la vida. Si el nivel de oxígeno disuelto es bajo indica contaminación con materia orgánica, septicización, mala calidad del agua e incapacidad para mantener determinada.

El oxígeno es un gas poco soluble en el agua y esencial para todo ser vivo, su solubilidad depende de la presión parcial de vapor saturado y de la temperatura a la que se encuentra el agua. La concentración de saturación del oxígeno disuelto en un agua natural depende de la temperatura, presión atmosférica y de la salinidad o el contenido de sólidos disueltos.

**Importancia Sanitaria.** Los niveles de oxígeno disuelto pueden usarse como un indicador de la contaminación de las aguas. Las aguas con concentraciones de oxígeno disuelto bajas se asocian, en general, con aguas de baja calidad, mientras que las altas concentraciones de oxígeno estarán asociadas con agua de buena calidad. Se considera que una concentración de 4 mg/l debe ser la mínima concentración para prevenir que el agua pierda su calidad, siendo éste además el valor mínimo recomendado para la vida de los peces.

El oxígeno disuelto es el factor que determina el tipo de transformación biológica que tiene lugar al producirse un vertimiento de aguas residuales en un cuerpo de agua

receptor, ya que determina el tipo de microorganismo que se desarrolla, aerobio o anaerobio, previene o reduce el inicio de la putrefacción y la producción de cantidades objetables de sulfuros, mercaptanos y otros compuestos que generan malos olores, puesto que los microorganismos aerobios usan el oxígeno disuelto para la oxidación de la materia orgánica e inorgánica, produciendo sustancias finales inofensivas, tales como el  $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2\text{O}$ . La solubilidad del oxígeno atmosférico en agua dulce es de 14.6 mg/l a  $0^\circ\text{C}$  y de 7 mg/l a  $36^\circ\text{C}$ .

El OD se utiliza para el control de la contaminación en aguas naturales, las cuales deben tener condiciones favorables para el crecimiento y reproducción de la población de peces y organismos acuáticos, suministrando niveles de oxígeno suficientes y permanentes. Los cambios biológicos producidos en un residuo líquido se conocen por la concentración de oxígeno disuelto.

### **1.4.3 COMPONENTES BIOLÓGICOS EN LAS AGUAS RESIDUALES**

Son los efectos de la descarga de material biogénico, que cambia la disponibilidad de nutrientes del agua, y por tanto, el balance de especies que pueden subsistir. El aumento de materia orgánica origina el crecimiento de especies heterótrofas en el ecosistema, que a su vez provoca cambios en las cadenas alimentarias. Un aumento en la concentración de nutrientes provoca el desarrollo de organismos productores, lo que también modifica el equilibrio del ecosistema.

Contaminantes Biológicos, estos son los responsables de las transmisiones de las enfermedades como el cólera y la fiebre tifoidea. Los contaminantes de las aguas residuales son normalmente una mezcla compleja de compuestos orgánicos e inorgánicos. Normalmente no es ni práctico ni posible obtener un análisis completo de la mayoría de las aguas servidas.

Es por esto que las aguas residuales dependiendo de la cantidad de estos componentes se clasifican en fuerte, medio y débil. Debido a que la concentración como la composición va variando con el transcurso de tiempo, con los datos siguientes solo se pretende dar una orientación para la clasificación de las aguas servidas. (25)

#### **1.4.3.1 COLIFORMES: TOTALES (CT) Y FECALES (CF).**

La calidad bacteriológica de las aguas es un aspecto fundamental a la hora de evaluar el posible uso de la misma. Los organismos patógenos, causantes de enfermedades y transmitidos por el agua son bastante difíciles de determinar, pues los mismos se encuentran en concentraciones relativamente bajas en las aguas, de aquí que se decidiera utilizar a organismos indicadores de contaminación fecal, como una vía para conocer la calidad sanitaria de un agua.

Los indicadores bacteriológicos de contaminación son organismos de un grupo específico, los que por su sola presencia denotan que ha ocurrido contaminación. Muchas veces estos indicadores sugieren la procedencia de tal contaminación, por ejemplo de aguas residuales domésticas e industriales y aguas residuales agrícola-ganaderas.

Los indicadores bacteriológicos se usan para demostrar la contaminación del agua por organismos originarios de los desechos de animales de sangre caliente incluyendo al hombre, animales domésticos y silvestres y las aves. Dichos organismos pueden ser patógenos para el hombre. (26)

**Importancia sanitaria.** Existen microorganismos patógenos que pueden transmitirse a huéspedes nuevos por vías indirectas. Los que abandonan el cuerpo con las excreciones pueden llegar a los alimentos o al agua, incluso multiplicarse y tiene asegurado el paso a las vías digestivas de otro huésped. Como la boca es la única puerta de entrada de estos organismos, el hecho desagradable, pero inevitable, es que

una causa de enfermedad intestinal es la consecuencia directa de algún error de tipo sanitario o de higiene personal.

Los desperdicios intestinales de animales de sangre caliente generalmente incluyen una gran variedad de géneros y especies de bacterias. Entre ellos están el grupo de coliformes, con especies de los géneros *Streptococcus*, *Lactobacillus*, *Staphylococcus*, *Proteus*, *Pseudomonas*, ciertas bacterias esporuladas y otras. En suma, muchas clases de bacterias patógenas y otros microorganismos pueden presentarse en los desechos, variando de acuerdo al área geográfica, estado de salud de la comunidad, naturaleza y grado del tratamiento de los desechos, la purificación natural del agua y otros factores.

A continuación se enumeran algunos ejemplos de bacterias, virus y protozoarios que causan enfermedades.

- a) Bacterias. Este grupo puede incluir bacterias de los géneros *Salmonella* sp, *Shigella* sp, *Leptospira* sp, *Brucella* sp, *Mycobacterium* sp, *Vibrio cholerae*.
- b) Virus. Pueden encontrarse una gran variedad incluyendo el de la hepatitis infecciosa, poliovirus Coxsackie, y otros que producen diarreas y enfermedades respiratorias de etiología desconocida.
- c) Protozoarios. Entre éstos podemos encontrar a *Balantidium coli* y *Entamoeba histolytica*, que produce disentería.

Rutinariamente no se realiza el análisis de los microorganismos patógenos, sino el de los indicadores bacteriológicos. Estos análisis indican la presencia y el número de bacterias en los desechos y que ha ocurrido una contaminación de origen intestinal. Por lo tanto, la evidencia de la contaminación del agua por desechos intestinales provenientes de animales de sangre caliente, indica que esta agua puede ser nociva para la salud.

- **Grupo Coliformes Totales.** Incluye a todas las bacterias aerobias y anaerobias facultativas, gram negativas, no esporuladas, de forma de bacilo corto, que fermenta la lactosa con producción de gas en períodos de 24 a 48 horas a 35° C.

En este grupo se encuentran las siguientes:

- a) *Escherichia coli*, *Escherichia aurescens*, *Escherichia freundli*, *Escherichia intermedia*.
- b) *Enterobacter aerogenes*, *Enterobacter cloacae*.
- c) Las que están bioquímicamente entre los géneros *Escherichia* y *enterobacter*.

- **Grupo Coliformes Fecales.** Son bacilos, gram negativos, no esporulados, que fermentan la lactosa con producción de acidez y gas a temperaturas de 35° C  $\pm$  0.5 °C y 44.5°C en periodos de 24 a 48 horas.

**Importancia Sanitaria.** Los coliformes fecales y *E. coli* son bacterias cuya presencia indica que el agua podría estar contaminada con heces fecales humanas o de animales. Los microbios que provocan enfermedades (patógenos) y que están presentes en las heces, causan diarrea, retortijones, náuseas, cefaleas u otros síntomas. Estos patógenos podrían representar un riesgo de salud muy importante para bebés, niños pequeños y personas con sistemas inmunológicos gravemente comprometidos.  
(26)

## 1.5 CLASIFICACIÓN DE LOS CONTAMINANTES

### 1.5.1 CONTAMINANTES ORGÁNICOS DE LAS BODEGAS

Son compuestos cuya estructura química está formada fundamentalmente por carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno. Son los contaminantes mayoritarios en vertidos urbanos y los generados en la industria agroalimentaria.

Los compuestos orgánicos que pueden aparecer en las aguas residuales son:

- Proteínas: proceden fundamentalmente de excretas humanas o de desechos de productos alimentarios. Son biodegradables, bastante inestables y responsables de malos olores.
- Carbohidratos: incluimos en este grupo azúcares, almidones y fibras celulósicas. Proceden, al igual que las proteínas, de excretas y desperdicios.
- Aceites y grasas: altamente estables, inmiscibles con el agua, proceden de desperdicios alimentarios en su mayoría, a excepción de los aceites minerales que proceden de otras actividades.
- Otros: incluyen varios tipos de compuestos, como los tensioactivos, fenoles, organoclorados y organofosforados, etc. Su origen es muy variable y presentan elevada toxicidad.

Las operaciones de limpieza y desinfección son operaciones clave en las bodegas por razones de seguridad alimentaria y por la propia calidad del producto, eliminando el riesgo de proliferación de bacterias indeseables, contaminación química y contaminaciones cruzadas.

Limpieza y desinfección de depósitos en industrias vinícolas. El tipo de sustancias que ensucian los equipos de una bodega consisten fundamentalmente en restos de zumo de uva, restos de vino y películas adheridas a las paredes de los depósitos. En particular:

- Residuos minerales: básicamente el bitartrato potásico que precipita durante la fermentación del vino cuando se produce su refrigeración.
- Residuo orgánico: residuo seco procedente de restos de mosto, vino o film biológico generado. Se pueden encontrar compuestos colorantes, taninos, proteínas, ácidos orgánicos, azúcares y microorganismos (levaduras, bacterias lácteas y acéticas, hongos).

### 1.5.2 COMPONENTES INORGÁNICOS

Son de origen mineral y de naturaleza variada: sales, óxidos, ácidos y bases inorgánicas, metales, etc. Aparecen en cualquier tipo de agua residual, aunque son más abundantes en los vertidos generados por la industria. Los componentes inorgánicos de las aguas residuales están en función del material contaminante así como de la propia naturaleza de la fuente contaminante.

Dentro de estas operaciones, la limpieza de tanques y otros equipos cerrados es, en bodega, una de las operaciones más frecuentes debido a la gran cantidad de trasiegos que se hace del vino durante su elaboración hasta el embotellado final. Diversos productos químicos son utilizados para estas operaciones (ácidos, productos alcalinos y desinfectantes). Estas operaciones exigen altos consumos de agua para el enjuague de los equipos y asegurar que no quedan restos en las superficies que puedan pasar al vino. Las aguas de limpiezas son vertidas contaminadas con restos de producto y los propios agentes químicos utilizados para la limpieza. Así, razones ambientales y de seguridad alimentaria exigen el desarrollo de nuevos sistemas de limpieza y desinfección de equipos que, además de eficientes desde el punto de vista higiénico, sean medio ambientalmente más respetuosos. En este sentido el ozono, puede resultar una herramienta útil en las bodegas dadas sus propiedades oxidantes y capacidad antimicrobiana de amplio espectro con potenciales ventajas medio ambientales.

Las operaciones de limpieza constituyen el principal origen del impacto ambiental de la industria de elaboración de vino, por el alto consumo y, sobre todo, por la consiguiente generación de aguas residuales. Las aguas residuales de limpieza y desinfección contienen materia orgánica, sólidos en suspensión, nitratos, amonio y fosfatos procedentes de los restos de producto y películas eliminadas de los equipos y superficies. También se añade una alta conductividad y valores extremos de pH, e incluso toxicidad a causa de los agentes de limpieza y desinfección usados. Además, en el caso de productos clorados, estos pueden reaccionar con la materia orgánica

dando lugar a compuestos órgano-clorados que pueden ser cancerígenos. Así, razones tanto medio ambientales como de salud impulsan la búsqueda de nuevas técnicas de limpieza y desinfección alternativas a los métodos actuales que presenten un menor impacto.

En bodega, los sistemas de limpieza en el sitio pueden utilizarse para la limpieza de barriles, tanques de todo tipo (almacenaje, fermentación, estabilización), conductos, centrífugas, filtros, intercambiadores de calor, etc. Sin embargo, en muchas bodegas, la limpieza de depósitos es la operación de limpieza más significativa y frecuente y en algunas, durante largos espacios de tiempo, la única operación. Esto se debe a la gran cantidad de trasiegos que hay que realizar en los sucesivos pasos para la elaboración del vino: clarificación por gravedad, fermentación, estabilización en frío, filtrado, etc. Así, la limpieza de depósitos se convierte en el punto más significativo, cuando no el único, de generación de aguas residuales en las bodegas. (27)

**CUADRO I – 3**  
**CONTAMINANTES IMPORTANTES DE INTERÉS EN EL TRATAMIENTO**  
**DE LAS AGUAS RESIDUALES**

Contaminantes	Motivo de su importancia
Sólidos suspendidos	Los sólidos suspendidos pueden llevar al desarrollo de depósitos de lodo y condiciones anaerobias, cuando los residuos no tratados son lanzados en el ambiente acuático.
Materia orgánica biodegradable	Compuesta principalmente por proteínas, carbohidratos y grasas; por lo general se mide en términos de DBO y DQO. Si es descargada sin tratamiento al medio ambiente, su estabilización biológica puede llevar al consumo de la fuente de oxígeno natural y al desarrollo de condiciones sépticas.
Microorganismo patógenos	Los organismos patógenos existentes en las aguas residuales pueden transmitir enfermedades.
Nutrientes	Tanto el nitrógeno como el fósforo, junto al carbono, son nutrientes esenciales. Para el crecimiento. Cuando son lanzados en el ambiente acuático, pueden llevar al crecimiento de vida acuática indeseable. Cuando son lanzados en cantidades excesivas en el suelo, pueden contaminar también el agua subterránea.
Contaminantes importantes	Compuestos orgánicos e inorgánicos seleccionados en función de su conocimiento o sospecha de carcinogenicidad, mutagenicidad, teratogenicidad o elevada toxicidad. Muchos de esos compuestos se encuentran en las aguas residuales.
Materia orgánica refractaria	Esta materia orgánica tiende a resistir los métodos convencionales de tratamiento de aguas residuales. Ejemplos típicos incluyen detergentes, fenoles y pesticidas agrícolas.
Metales pesados	Los metales pesados son normalmente adicionados a los residuos de actividades comerciales e industriales, debiendo ser removidos si se va a usar nuevamente el agua residual.
Sólidos inorgánicos disueltos	Componentes inorgánicos, como calcio, sodio, y sulfato, son adicionados a los sistemas domésticos de abastecimiento de agua, debiendo ser removidos si se va a usar nuevamente el agua residual.

Fuente: Sergio Rolim Mendonca., 2001.

### 1.6 SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Una reducción del consumo de este recurso conduce a una reducción de generación de efluentes. Minimizar la generación de aguas residuales, ya sea urbanas y/o industriales, disminuye la posibilidad de contaminación de los cursos de agua, de las zonas de recarga de acuíferos, y de cualquier otro curso donde se vuelquen los

efluentes. Esto es importante ya que de algún modo estos sumideros son luego fuente de suministro.

El análisis de aguas permite optimizar el consumo del agua, busca una integración de su uso entre las distintas operaciones que componen un proceso productivo. Permite calcular el reúso de las aguas industriales, la minimización de efluentes, y el diseño de un sistema de tratamiento de efluentes distribuido.

Existen tratamientos convencionales y emergentes, atendiendo al hecho de las nuevas aplicaciones que, como consecuencia de la tendencia de nuestra sociedad hacia una economía basada en la sostenibilidad, tienen procedimientos cuyos límites técnicos y económicos están perfectamente definidos. (28).

### **1.6.1 TECNOLOGÍAS APROPIADAS PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES**

El concepto de tecnología apropiada en los sistemas de agua residuales, abarca dimensiones técnicas, institucionales, sociales y económicas. Desde un punto de vista técnico e institucional, la selección de tecnologías no apropiadas, ha sido identificada como una de las principales causas de fallas en el sistema. El ambiente de las aguas servidas es hostil para el equipo electrónico, eléctrico y mecánico. Su mantenimiento es un proceso sin fin, y requiere de apoyo (repuestos, laboratorios, técnicos capacitados, asistencia técnica especializada, y presupuestos adecuados). Aun en los países desarrollados, son los sistemas más sencillos, elegidos y diseñados con vista al mantenimiento, los que brindan un servicio más confiable. En los países en desarrollo, donde es posible que falten algunos ingredientes para un programa exitoso de mantenimiento, ésta debe ser la primera consideración al elegir tecnologías para las plantas de tratamiento.

En ciudades pequeñas, por la cantidad y calidad de las aguas residuales, las opciones técnicas suelen ser más sencillas, pero las consideraciones institucionales se combinan con las sociales y siguen siendo extremadamente importantes. Las instituciones locales deben ser capaces de manejar los programas o sistemas de saneamiento; la participación comunitaria puede ser un elemento clave en su éxito. Son importantes las acostumbradas preferencias sociales y prácticas; algunas pueden ser modificadas mediante programas educativos, pero otras pueden estar arraigadas en los valores culturales y no estar sujetas al cambio.

La economía forma parte de la decisión de dos maneras. No es sorprendente que las tecnologías más sencillas, seleccionadas por su facilidad de operación y mantenimiento, suelen ser las menos costosas para construir y operar. Sin embargo, aun cuando no lo sean, como puede ser el caso cuando gran cantidad de tierra debe ser adquirida para los estanques de estabilización, un sistema menos costoso que fracasa, finalmente sería más costoso que otro más caro que opera de manera confiable. (29)

## **1.7 OPCIONES TECNOLÓGICAS**

### **1.7.1 TIPOS DE TRATAMIENTO**

De manera general para el tratamiento de aguas residuales industriales en tratamientos Naturales y Biológicos, y los Fisicoquímicos se pueden distinguir hasta cuatro etapas que comprenden

- ✓ Tratamiento preliminar, destinado a la eliminación de residuos fácilmente separables y en algunos casos un proceso de pre-aireación.
- ✓ Tratamiento primario que comprende procesos de sedimentación y tamizado.

- ✓ Tratamiento secundario que comprende procesos biológicos aerobios y anaerobios y físico-químicos (floculación) para reducir la mayor parte de la DBO<sub>5</sub>.
- ✓ Tratamiento terciario o avanzado que está dirigido a la reducción final de la DBO<sub>5</sub>, metales pesados y/o contaminantes químicos específicos y la eliminación de patógenos y parásitos.

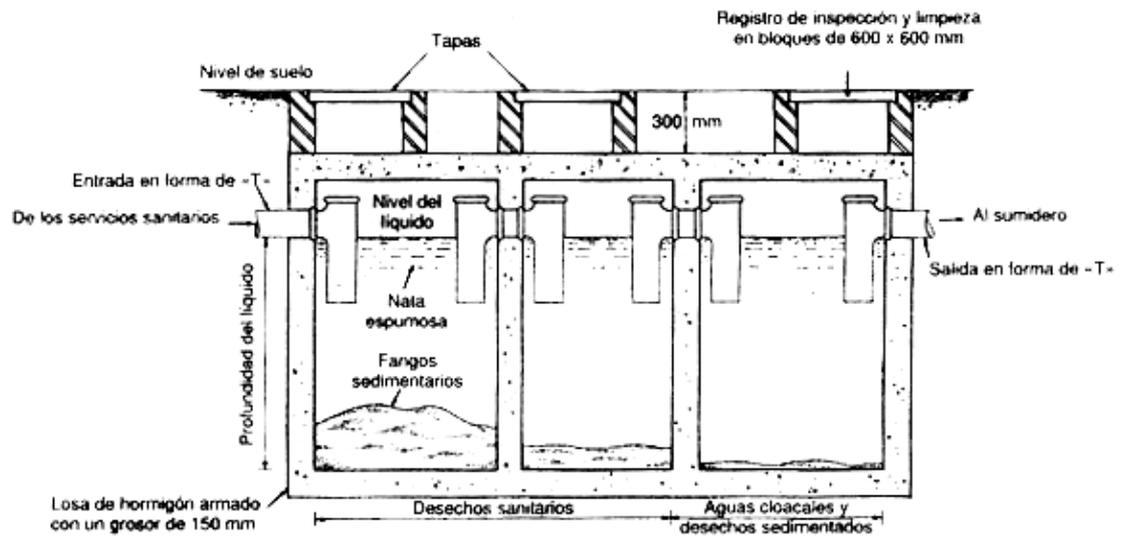
### **1.7.1.1 TIPOS DE TRATAMIENTOS DE AGUAS RESIDUALES**

#### **1.7.1.1.1 LA CÁMARA SÉPTICA**

Es común encontrar una gama muy amplia de formas de disponer el agua con el nombre genérico de fosa séptica, sin embargo no todas cumplen con el objetivo de liberar los acuíferos de contaminación, debido que suelen confundirse con pozos negros o de absorción, en los que las aguas son infiltradas al suelo sin un verdadero tratamiento. También suelen llamarse de este modo a tanques de sedimentación y almacenamiento que son vaciados periódicamente, para trasladarlos a un sitio donde se puedan arrojar con impunidad. (30)

El modelo de cámara séptica más funcional es el tanque de tres cámaras con una secuencia de tratamiento que consiste en primer lugar en una cámara de sedimentación que en algunos casos también cumple la función de trampa de grasas, de allí el agua pasa a una cámara con condiciones anaerobias donde se reduce la carga orgánica disuelta. La tercera cámara cumple las funciones de sedimentador secundario para clarificar el agua antes de ser dispuesta en un campo de oxidación. El problema básico de las fosas sépticas es que suelen acumular lodos hasta el punto de saturación, lo cual se incrementa si la fase anaerobia no funciona correctamente. El efluente debe necesariamente ser tratado en un campo de oxidación antes de infiltrar al suelo y los lodos extraídos necesitan tratamiento adicional.

**FIGURA 1-10**  
**CAMARA SEPTICA**

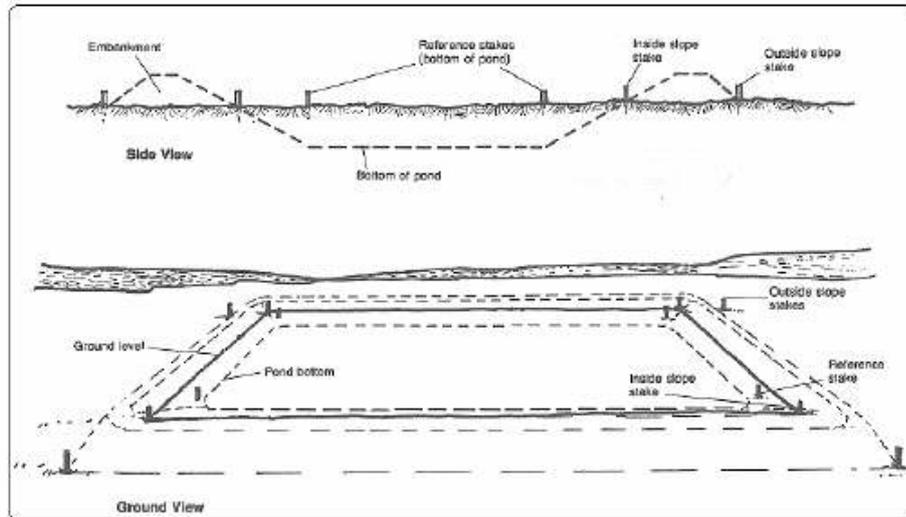


Fuente: <http://www.fao.org>

#### 1.7.1.1.2 LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN

Las lagunas de estabilización de aguas residuales, constituye una forma muy difundida para el tratamiento, debido a su bajo costo de inversión (excepto por lo que se refiere al requerimiento del terreno), a los bajos costos de operación, y su habilidad para asimilar cargas orgánicas o hidráulicas fluctuantes, pero su gran debilidad es la gran extensión de terreno que requiere. (31)

**FIGURA 1-11**  
**LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN**



Fuente: Tratamiento de Aguas Residuales en Pequeñas Comunidades., (OPS/CEPIS/05.164)

Las lagunas de estabilización se pueden clasificar:

✓ **Lagunas Aerobias**

Reciben aguas residuales que han sido sometidos a un tratamiento y que contienen relativamente pocos sólidos en suspensión. En ellas se produce la degradación de la materia orgánica mediante la actividad de bacterias aerobias que consumen oxígeno producido fotosintéticamente por las algas.

Son lagunas poco profundas de 1 a 1.5m de profundidad y suelen tener tiempo de residencia elevada, 20-30 días. Las lagunas aerobias se pueden clasificar, según el método de aireación sea natural o mecánico, en aerobias y aireadas. (31)

- a. Lagunas aerobias: la aireación es natural, siendo el oxígeno suministrado por intercambio a través de la interfase aire-agua y fundamentalmente por la actividad fotosintética de las algas.
- b. Lagunas aireadas: en ellas la cantidad de oxígeno suministrada por medios naturales es insuficiente para llevar a cabo la oxidación de la materia orgánica, necesitándose un suministro adicional de oxígeno por medios mecánicos.

El grupo específico de algas, animales o especies bacterianas presentes en cualquier zona de una laguna aerobia depende de factores tales como la carga orgánica, el grado de mezcla de la laguna, el pH, los nutrientes, la luz solar y la temperatura. (31)

✓ **Lagunas Anaerobias.**

El tratamiento se lleva a cabo por la acción de bacterias anaerobias. Como consecuencia de la elevada carga orgánica y el corto periodo de retención del agua residual, el contenido de oxígeno disuelto se mantiene muy bajo o nulo durante todo el año. El objetivo perseguido es retener la mayor parte posible de los sólidos en suspensión, que pasan a incorporarse a la capa de fangos acumulados en el fondo y eliminar parte de la carga orgánica. La estabilización en estas lagunas tiene lugar mediante las etapas siguientes.

- **Hidrólisis:** En la etapa de la hidrólisis los compuestos orgánicos complejos e insolubles se transforman en otros compuestos más sencillos y solubles en agua.
- **Formación de ácidos:** los compuestos orgánicos sencillos generados en la etapa anterior son utilizados por las bacterias generadoras de ácidos. Produciéndose su conversión en ácidos orgánicos volátiles.

- **Formación de metano:** una vez que se han formado los ácidos orgánicos, una nueva categoría de bacterias actúa y los utiliza para convertirlos finalmente en metano y dióxido de carbono.

Las lagunas anaerobias suelen tener profundidad entre 2 y 5 m, el parámetro más utilizado para el diseño de lagunas anaerobias es la carga volumétrica que por su alto valor lleva a que sean habituales tiempos de retención con valores comprendidos entre 2-5 días (31).

#### ✓ **Lagunas Facultativas.**

Son aquellas que poseen una zona aerobia y una anaerobia, siendo respectivamente en superficie y fondo. La finalidad de estas lagunas es la estabilización de la materia orgánica en un medio oxigenado proporcionando principalmente por las algas presentes (32).

En este tipo de lagunas se puede encontrar cualquier tipo de microorganismos, desde anaerobios estrictos, en el fango del fondo, hasta aerobios estrictos en la zona inmediatamente adyacente a la superficie. Además de las bacterias y protozoarios, en las lagunas facultativas es esencial la presencia de algas, que son los principales suministradoras de oxígeno disuelto.

El objetivo de las lagunas facultativas es obtener un efluente de la mayor calidad posible, en el que se haya alcanzado una elevada estabilización de la materia orgánica, y una reducción en el contenido en nutrientes y bacterias Coliformes.

La profundidad de las lagunas facultativas suele estar comprendida entre 1 y 2 m para facilitar así un ambiente oxigenado en la mayor parte del perfil vertical.

Las bacterias y algas actúan en forma simbiótica, con el resultado global de la degradación de la materia orgánica. Las bacterias utilizan el oxígeno suministrado por las algas para metabolizar en forma aeróbica los compuestos orgánicos. En este proceso se liberan nutrientes solubles (nitratos, fosfatos) y dióxido de carbono en grandes cantidades, estos son utilizados por las algas en su crecimiento. De esta forma, la actividad de ambas es mutuamente beneficiosa (32).

En una laguna facultativa existen tres zonas:

1. Una zona superficial en la que existen bacterias aerobias y algas en una relación simbiótica, como se ha descrito anteriormente.
2. Una zona inferior anaerobia en la que se descomponen activamente los sólidos acumulados por acción de las bacterias anaerobias.
3. Una zona intermedia, que es parcialmente aerobia y anaerobia, en la que la descomposición de los residuos orgánicos la llevan a cabo las bacterias facultativas. Los sólidos de gran tamaño se sedimentan para formar una capa de fango anaerobio. Los materiales orgánicos sólidos y coloidales se oxidan por la acción de las bacterias aerobias y facultativas empleando el oxígeno generado por las algas presentes cerca de la superficie. El dióxido de carbono, que se produce en el proceso de oxidación orgánica, sirve como fuente de carbono por las algas. La descomposición anaerobia de los sólidos de la capa de fango implica la producción de compuestos orgánicos disueltos y de gases tales como el  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$  y el  $\text{CH}_4$ , que o bien se oxidan por las bacterias aerobias, o se liberan a la atmósfera. (32).

#### **1.7.1.1.3 ESTANQUES DE LODOS ACTIVOS**

Este tratamiento se realiza mediante difusión de aire por medios mecánicos en el interior de tanques. Durante el tratamiento los microorganismos forman flóculos que, posteriormente, se dejan sedimentar en un tanque, denominado tanque de

clarificación. El sistema básico comprende, un tanque de aireación y un tanque de clarificación por los que se hace pasar los lodos varias veces.

Los dos objetivos principales del sistema de lodos activados son 1° la oxidación de la materia biodegradable en el tanque de aireación y 2° la floculación que permite la separación de la biomasa nueva del efluente tratado. Este sistema permite una remoción de hasta un 90% de la carga orgánica pero tiene algunas desventajas: en primer lugar requiere de instalaciones costosas y la instalación de equipos electromecánicos que consumen un alto costo energético. Por otra parte produce un mayor volumen de lodos que requieren de un tratamiento posterior por medio de reactores anaeróbicos y/o su disposición en rellenos sanitarios bien instalados. (33)

**FIGURA 1-12**  
**ESTANQUES DE LODOS ACTIVOS**



Fuente: Planta Larapinta - Selar – Chile, Junio del 2006

#### **1.7.1.1.4 REACTORES ANAEROBIOS DE FLUJO ASCENDENTE EN MANTO DE LODO**

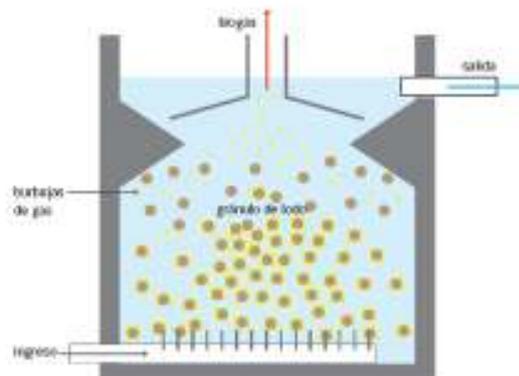
El reactor anaeróbico de flujo ascendente con manto de lodos (UASB) es un proceso de tanque simple. Las aguas residuales entran en el reactor por el fondo, y fluyen hacia arriba. Una capa de lodo suspendida filtra las aguas residuales, tratándolas al ir atravesándola.

La capa de lodos está formada por gránulos que son pequeñas agrupaciones de microbios de 0.5 a 2 mm de diámetro, microorganismos que por su propio peso se resisten a ser arrastrados por el flujo ascendente. Los microorganismos en la capa de lodos degradan los compuestos orgánicos. Como resultado se liberan gases, (metano y bióxido de carbono). Las burbujas ascendentes mezclan los lodos sin necesidad de piezas mecánicas. Las paredes inclinadas vuelcan el material que alcanza la superficie del tanque. El efluente clarificado es extraído de la parte superior del tanque en un área por encima de las paredes inclinadas.

Después de varias semanas de uso, se forman gránulos más grandes de lodos que, a su vez, actúan como filtros de partículas más pequeñas al ir subiendo el efluente por la capa de lodos. Dado el régimen ascendente, los organismos que forman los gránulos son acumulados, mientras que los demás son arrastrados por el flujo.

El gas que asciende hacia la superficie es colectado en un domo y puede ser usado como fuente de energía (biogás). Se debe mantener una velocidad ascendente de las partículas en suspensión 0.6 a 0.9 m/h para mantener la capa de lodos en suspensión.

**FIGURA 1-13**  
**REACTOR ANAEROBICO DE FLUJO ASCENDENTE CON MANTO DE LODO**



Fuente: Compendio de Sistemas y Tecnologías de Saneamiento, 2011.

#### **1.7.1.1.5 TRATAMIENTO ANAEROBIO**

Un reactor anaeróbico es una tecnología de tratamiento anaeróbico que produce un lodo digerido para ser usado como corrector de terrenos y biogás que puede ser usado para energía. El biogás es una mezcla de metano, dióxido de carbono y otras trazas de gases que pueden fácilmente generar electricidad, luz y calor. (34)

Un reactor anaeróbico es una cámara que facilita la degradación anaeróbica de las aguas negras, lodos y/o desechos biodegradables. También facilita la separación y recolección del biogás que es producido. Se pueden construir por encima o por debajo del suelo. Se pueden construir tanques prefabricados o cámaras de ladrillo dependiendo del espacio, de los recursos y del volumen de desechos generado.

El tiempo de retención hidráulica (TRH) en el reactor debe ser como mínimo 15 días en climas cálidos y 25 días en climas templados. Se debe considerar un TRH de 60 días para entradas altamente patógenas. Normalmente los reactores anaeróbicos no son calentados, pero para asegurar la destrucción de los patógenos se deben calentar

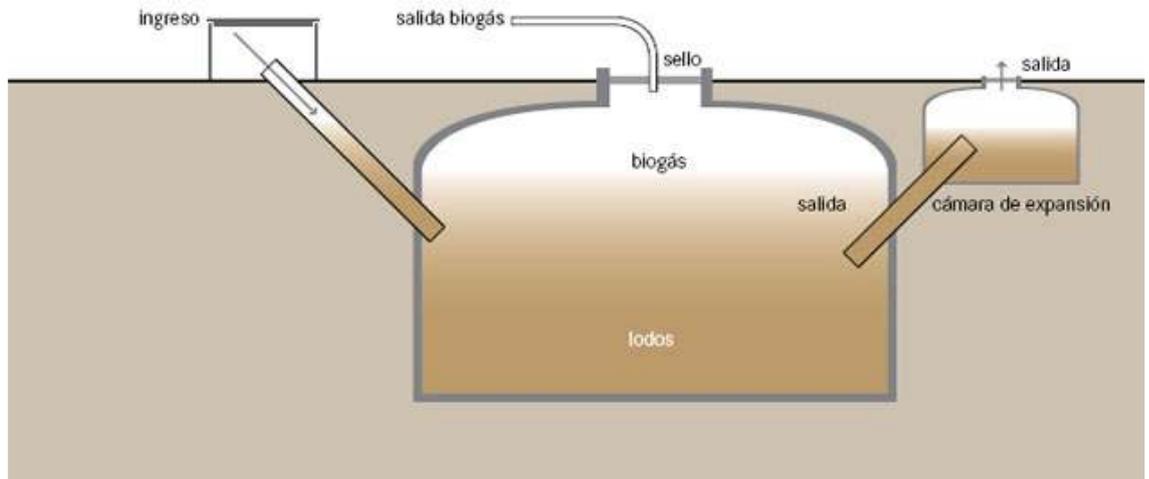
p.ej. una temperatura sostenida de 50°C, aunque en la práctica, esto sólo se encuentra en los países más industrializados. (34)

Cuando los productos entran en la cámara de digestión, se forman los gases por fermentación. El gas se forma en el lodo, pero se recolecta en la parte superior del reactor, mezclando los lodos al ir ascendiendo.

Los reactores anaerobios se pueden construir con un domo fijo o con domo flotante. El volumen del reactor es constante en el reactor de domo fijo. Al generarse el gas, se ejerce presión y se desplazan los lodos hacia una cámara de expansión. Cuando se saca el gas, los lodos fluyen de regreso a la cámara de digestión. La presión generada puede ser usada para transportar el biogás por la tubería. En un reactor de domo flotante, el domo asciende y desciende con la producción y retiro del gas.

El lodo producido es rico en materiales orgánicos y nutrientes, pero casi inodoro y parcialmente desinfectado; la destrucción completa de patógenos requeriría condiciones termofílicas. A menudo se usa un reactor de biogás como una alternativa para la fosa séptica convencional, ya que ofrece un nivel similar de tratamiento, pero con el beneficio adicional del biogás. Dependiendo del diseño y de las entradas, el reactor debe ser vaciado una vez cada 6 meses a 10 años. (34)

**FIGURA 1-14**  
**REACTORES ANAEROBIO**



Fuente: Compendio de Sistemas y Tecnologías de Saneamiento, 2011.

### **1.7.2 SISTEMAS DE TRATAMIENTO NATURAL Y BIOLÓGICO:**

Los principales objetivos del tratamiento biológico son tres:

- 1° Reducir el contenido en materia orgánica de las aguas residuales.
- 2° Posibilitar el reúso inmediato de las aguas tratadas.
- 3° Eliminar los patógenos y parásitos.

Estos objetivos se logran por medio de procesos aeróbicos y anaeróbicos, en los cuales la materia orgánica es metabolizada por diferentes cepas bacterianas.

#### **1.7.2.1 HUMEDALES O SISTEMAS DE PLANTAS ACUÁTICAS**

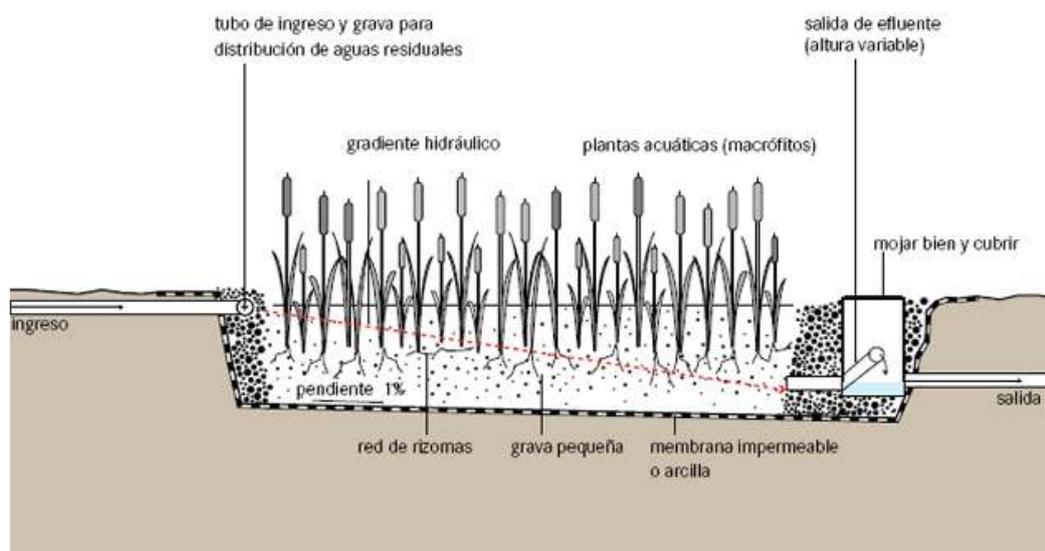
La alternativa de pantanos construidos puede ser una alternativa de tratamiento y desecho de aguas residuales avanzado con el menor costo. Las plantas acuáticas

tienen por función soportar componentes del ambiente acuático que mejora la capacidad y/o confiabilidad del tratamiento de aguas residuales.

Este sistema consiste en la reproducción controlada, de las condiciones existentes en los sistemas lagunares someros o de aguas lenticas los cuales, en la naturaleza, efectúan la purificación del agua. Esta purificación involucra una mezcla de procesos bacterianos aerobios-anaerobios que suceden en el entorno de las raíces de las plantas hidrófilas, las cuales a la vez que aportan oxígeno consumen los elementos aportados por el metabolismo bacteriano y lo transforman en follaje.

Este sistema es el más amigable desde el punto de vista ambiental ya que no requiere instalaciones complejas, tiene un costo de mantenimiento muy bajo y se integra al paisaje natural propiciando incluso refugio a la vida silvestre. (35).

**FIGURA 1-15**  
**HUMEDALES ARTIFICIALES**



Fuente: Compendio de Sistemas y Tecnologías de Saneamiento

### **1.7.2.2 SISTEMAS PARA EL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES CON PLANTAS ACUÁTICAS**

Varios autores coinciden en señalar que en los sistemas naturales con plantas acuáticas, los contaminantes de las aguas residuales se eliminan por la combinación de procesos físicos, químicos y biológicos que ocurren al interactuar el agua, las plantas, el suelo, los microorganismos y la atmósfera. (36)

La mayoría de los sistemas naturales están formados por uno o más tanques de baja profundidad en los cuales crecen una o más plantas acuáticas. Desde el punto de vista biológico, los sistemas naturales pueden considerarse más versátiles que los sistemas convencionales, ya que las plantas tienen una función fundamental pues se considera que sobre los tallos y las raíces de las plantas se desarrollan microorganismos, los cuales son los principales responsables de la depuración de las aguas residuales.

Se definen a los sistemas naturales con plantas acuáticas como “Áreas construidas por el hombre para el tratamiento de las aguas residuales usando de forma óptima los procesos que ocurren en la naturaleza”.

Las plantas, además de brindar superficies para el crecimiento de microorganismos, proporcionan un ambiente adecuado para que estos transformen los contaminantes y reduzcan sus concentraciones. Las plantas trasladan el oxígeno desde las hojas y tallos hasta las raíces, creándose de esta manera una rizósfera oxidada. Los siguientes aspectos han motivado el presente interés por esta tecnología (36):

- Proporciona un tratamiento secundario y/o terciario produciendo un agua reutilizable
- Proporciona un tratamiento de amplio espectro, removiendo de las aguas, nutrientes, metales pesados y otros tipos de contaminantes químicos.
- El sistema es capaz de remover microorganismos patógenos.

- Los costos capitales y de operación anual son significativamente menores a los costos por métodos convencionales de tratamiento.
- La biomasa cosechada puede ser utilizada de diferentes maneras; como alimento animal, acondicionador de suelos, fertilizantes, producción de metano, etc.

### **1.8 TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN UN BIOFILTRO**

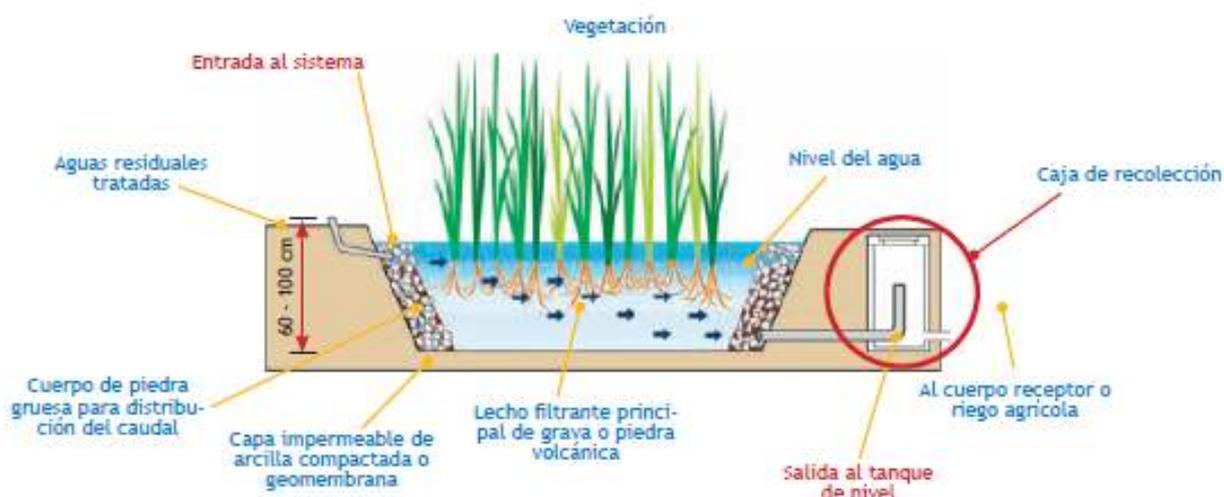
Un biofiltro es un equipo en el que se realiza la filtración y biodegradación de la materia orgánica que contienen las aguas residuales en una sola etapa de tratamiento, es una alternativa más barata y de mayor validez para el tratamiento de aguas residuales domésticas e industriales para los países en desarrollo. El biofiltro es más eficiente que otras alternativas técnicas permitiendo así el uso inmediato de las aguas tratadas en la producción agrícola de hortalizas, frutas, granos básicos y pasto para ganado.

El biofiltro se caracteriza por ser una imitación de un ambiente acuático natural, lo cual significa que sostiene la vida de los organismos inmersos en él, fundamentalmente aguas nutrientes y un aporte químico para el metabolismo aeróbico y anaeróbico. Finalmente es un ambiente sostenedor y promotor de la vida microbiana, ya que se mantienen principalmente gracias a la presencia de dos ciclos naturales mayores, el del agua como fuente de abastecimiento y el del carbono como nutriente, así mismo se añaden como indispensable los ciclos de nitrógeno, fósforo, azufre y de otros elementos.

Estos sistemas se caracterizan porque el agua residual es depurada al pasar a través de un sistema poroso sobre el cual crecen microorganismos, los cuales unidos a las plantas emergentes que suministran el oxígeno a dichos microorganismos, conforman un ecosistema muy eficiente para eliminar materia orgánica, metales pesados, patógenos y nutrientes. Estas plantas se caracterizan por resistir temperaturas muy

bajas por lo que estos sistemas se están desarrollando en muchos países en los que las plantas flotantes no pueden crecer. (36)

**FIGURA 1-16**  
**SISTEMA POR BIOFILTRACION CON PLANTAS EMERGENTES**



Fuente: Programa de Agua y Saneamiento (WSP) – Banco Mundial (2006).

El biofiltro con plantas acuáticas emergentes es un sistema que combina la acción de un sustrato determinado (grava principalmente) con la de plantas acuáticas emergentes. El sustrato retiene los sólidos en suspensión, a la vez que facilita una gran superficie de fijación para las bacterias que descomponen la materia orgánica; y por su parte, las plantas acuáticas absorben los nutrientes (nitrógeno y fósforo) y aportan oxígeno a través de sus raíces, lo que favorece la descomposición bacteriana. Las plantas acuáticas facilitan la integración paisajística de los sistemas y recrean ecosistemas complejos donde intervienen otros elementos como insectos, anfibios y aves, regulando el sistema. Las plantas acuáticas además, ofrecen la posibilidad de obtener productos valorizables con diversos fines. Entre los posibles aprovechamientos están los usos ornamentales, alimento para ganado, producción de compost, producción de forrajeras, obtención de fibras para trabajos artesanales, etc. Dentro de las principales ventajas del sistema está el que es económico, porque los costos de construcción y mantenimiento son menores que en los sistemas físico-

químicos, no utiliza reactivos químicos ni sustancias tóxicas dañinas, posee altos porcentajes de remoción de parámetros contaminantes. Su vida útil es cercana a los 30 años, no hay generación de lodos inestables, no genera olores molestos. Además, el biofiltro puede ser considerado como el único sistema de tratamiento de aguas servidas que pueden ser inmediatamente reutilizados para el riego.

Ante los importantes niveles de contaminación que generan las industrias se hace necesario encontrar una respuesta técnica y económicamente viable para enfrentar el problema generado por las aguas residuales, ya que los métodos convencionales son muy costosos.

Basándose en experiencias en otros países, que tratan aguas residuales en humedales artificiales, se ha desarrollado un nuevo concepto de tratamiento llamado biofiltro, con el fin de aportar en primer lugar, una solución al problema de las aguas residuales; en segundo, una terminología adecuada a la ingeniería sanitaria.

El tratamiento primario se realiza por medio de un tanque de pre-sedimentación de material disuelto, el cual proporciona un tiempo necesario de sedimentación. Los sólidos retenidos son extraídos una vez por año y depositados en un área de secado de lodos para su uso posterior como mejorador de suelos. La siguiente etapa de tratamiento, las aguas pre-tratadas son vertidas uniformemente en piscinas de aireación y en canales de distribución del agua. (37).

### **1.8.1 BIOFILTROS: TIPOS Y COMPONENTES PRINCIPALES**

Las bodegas e industrias alcoholeras generan aguas residuales con un alto contenido en materia orgánica, aunque con la modernización y optimización de los procesos y las instalaciones productivas la tendencia es llegar a importantes reducciones de los volúmenes y los niveles de contaminación. Un procedimiento de depuración es retener estas aguas en tanques abiertos de evaporación. Sin embargo, en la actualidad,

está descartado ya que causa malos olores, puede contaminar las aguas subterráneas, existe un gran peligro de desborde en el caso de lluvias intensas.

Por lo tanto en los últimos años, se han estudiado nuevas tecnologías para la depuración de estos vertidos con una alta carga orgánica. Entre estos procedimientos, los métodos de depuración biológicos aerobios y anaerobios.

La digestión anaerobia se caracteriza sus principales inconvenientes son que las aguas residuales son oscuras y con malos olores lo que perjudica la posibilidad de reuso, a lo que se suma el alto costo de inversión, que de acuerdo a los reportes sólo lo hace rentable para bodegas con más de 50.000 Hl de vino anuales.

El tratamiento de aguas residuales provenientes de las industrias y en el caso que nos ocupa, el que proviene de las bodegas, en la actualidad están siendo tratadas a través de tecnologías favorables y amigables con el medio ambiente, de fácil acceso desde el punto de vista económico y tecnológico y la posibilidad de reusar las aguas en otras actividades que son de importancia para cada una de las regiones, pues la disponibilidad de agua y su costo es cada vez un factor importante para el desarrollo de actividades económicas. Para plantear una alternativa a la problemática de las bodegas en el departamento de Tarija, se ha elegido el estudio de una tecnología que pudiera adaptarse a las condiciones económicas y sociales de la región, por ello se plantea el tratamiento de las aguas residuales a través de un biofiltro.

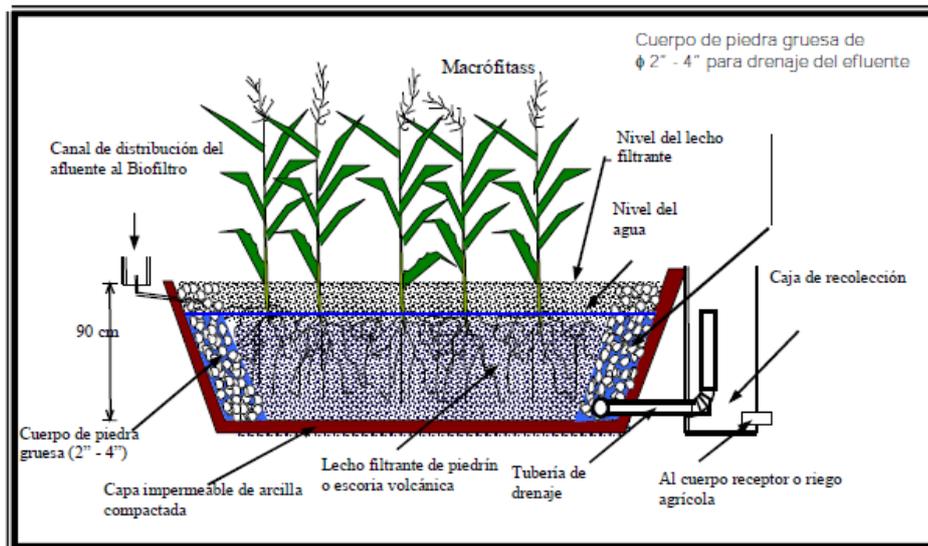
Los biofiltros se clasifican en biofiltro de flujo horizontal y de flujo vertical, en dependencia de la forma en que las aguas residuales pre-tratadas atraviesen el lecho filtrante. (38)

### **1.8.1.1 DESCRIPCIÓN DEL BIOFILTRO DE FLUJO HORIZONTAL**

En principio, varios de los sistemas acuáticos que empleaban plantas acuáticas y medio filtrante para depurar aguas residuales, fueron llamados biofiltros, por cuanto estos sistemas con macrófitas emergentes contenían un lecho de relleno de un medio poroso en el cual las plantas macrófitas se sembraban en la superficie del lecho filtrante y las aguas residuales atravesaban de forma horizontal o vertical el lecho filtrante. Las bacterias, las cuales son responsables de la degradación de la materia orgánica, utilizan la superficie del lecho filtrante para la formación de una película bacteriana y de esta manera existe en el filtro una población bastante estable que no puede ser arrastrada hacia la salida. Pero en la medida que se desarrollaron más estudios, la clasificación fue cada vez más diferenciada, por lo que a estos se los denominó medios acuáticos y a los que contenían principalmente grava como lecho de relleno, se los denominó Biofiltros.

De acuerdo a lo establecido en los estudios realizados por la Universidad Nacional de Ingeniería de Nicaragua en la ejecución del proyecto ASTEC, describen al biofiltro de flujo horizontal (BFH), que consiste en tanques rectangulares con profundidades que oscilan entre 60 y 100 cm, rellenas con grava o piedra volcánica y sembradas con plantas macrófitas. El esquema siguiente muestra los principales componentes de un biofiltro de flujo horizontal:

**FIGURA 1-17**  
**BIOFILTRO DE FLUJO HORIZONTAL**



Fuente: Proyecto ASTEC, 2005.

En este tipo de biofiltro, las aguas residuales fluyen lentamente desde la zona de distribución en la entrada de la pila, en una trayectoria horizontal a través del lecho filtrante, hasta que llegan a la zona de recolección del efluente. Durante este recorrido que dura normalmente varios días, el agua residual está en contacto con zonas aeróbicas y anaeróbicas, de las cuales las zonas aeróbicas están ubicadas alrededor de las raíces de las macrófitas, mientras que las zonas anaeróbicas están ubicadas en las áreas lejanas a las raíces. (38)

Durante el paso del agua residual a través de las diferentes zonas del lecho filtrante, el agua residual es depurada por la degradación microbiológica proporcionada por la biocapa que se forma en la superficie del material del lecho filtrante y por procesos fisico-químicos.

Para mantener la eficiencia del sistema durante muchos años y evitar la obstrucción de los poros del lecho filtrante se necesita normalmente un pre-tratamiento eficiente,

que incluye la separación de material grueso, nata flotante y sólidos sedimentables y suspendidos.

### **Características Principales del Biofiltro de Flujo Horizontal**

- ✓ La cantidad de oxígeno transportado por medio de las hojas y tallos hacia las raíces de las macrófitas, es un factor limitante para la descomposición aeróbica en la rizósfera, dándose la nitrificación sólo a niveles bajos.
- ✓ Las raíces de las macrófitas crecen vertical y horizontalmente, abriendo así una vía o ruta hidráulica a través de la cual fluye el agua.
- ✓ Alto tiempo de retención, normalmente en el rango de 3-7 días.
- ✓ Poca posibilidad de cortocircuitos en el régimen hidráulico, por la homogeneidad del lecho filtrante.

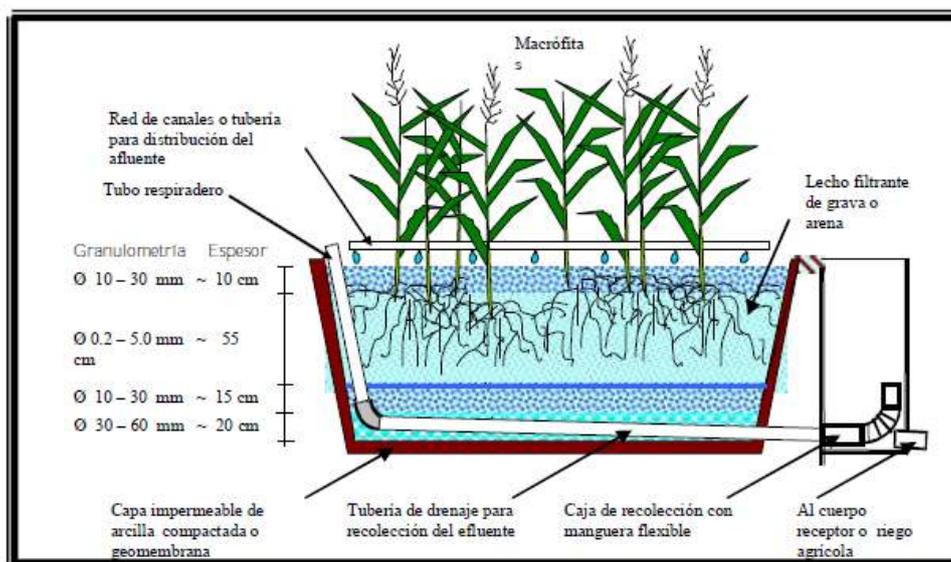
#### **1.8.1.2 DESCRIPCIÓN DEL BIOFILTRO DE FLUJO VERTICAL**

Un biofiltro de flujo vertical (BFV) consiste en pilas de aproximadamente 1 m de profundidad, rellenas con grava o piedra volcánica dispuestas en capas de diferente espesor y granulometría. Las aguas pre-tratadas se distribuyen uniformemente de forma continua, sobre toda la superficie del lecho filtrante y luego percolan hacia la zona de recolección. La alimentación debe ser lo suficientemente grande para permitir que toda el agua haya percolado y los espacios vacíos del lecho hayan sido ocupados por aire, de forma que con la próxima descarga el aire atrapado junto con una rápida dosificación conduzcan a una buena transferencia de oxígeno. (38)

Las plantas macrófitas sembradas en la superficie también suministran oxígeno, pero su principal función es mantener la conductividad hidráulica en el lecho. Este tipo de biofiltro se utiliza fundamentalmente para lograr una buena nitrificación. El siguiente

esquema muestra la conformación y los componentes principales de un biofiltro de flujo vertical:

**FIGURA 1-18**  
**BIOFILTRO DE FLUJO VERTICAL**



Fuente: Proyecto ASTEC, 2005.

Usualmente, los sistemas de flujo vertical son aplicados como tratamiento biológico de una etapa secundaria o terciaria. El sistema de flujo vertical puede también ser aplicado como una etapa de tratamiento terciario con el fin de remover nutrientes (mayormente nitrógeno) existentes en el efluente de una planta de tratamiento biológico convencional, como por ejemplo un sistema de lodos activados.

El sistema de recolección del efluente en un Biofiltro de flujo vertical consiste generalmente de una red de tubos perforados de drenaje. Dependiendo del espesor del cuerpo saturado de agua en el sistema, el proceso de nitrificación dentro del lecho filtrante se realiza a diferentes niveles.

Este sistema efectúa una excelente remoción de nitrógeno en base a los procesos de nitrificación y desnitrificación. La eficiente nitrificación, la cual se demanda hoy en

día por la legislación del agua en la mayoría de los países industrializados del mundo, se efectúa en este tipo de sistema con suficiente permeabilidad hidráulica, un material filtrante apropiado y una carga intermitente. (38)

### **Características Principales del Biofiltro de Flujo Vertical**

- ✓ El agua residual a tratar es dosificada y distribuida en toda la superficie del lecho filtrante.
- ✓ Idealmente, el líquido debe inundar temporalmente la superficie y luego percolar gradualmente a través del lecho de forma descendente.
- ✓ La frecuencia de la alimentación está en dependencia del tiempo que necesita una dosificación de agua para percolarse a través del lecho hacia el sistema de drenaje, dejando la mayoría de los poros rellenos con aire.
- ✓ Bajo tiempo de retención.
- ✓ Se necesita solamente entre 30 y 50 % del área requerida para la construcción de sistemas con flujo horizontal.
- ✓ La biodegradación en el sistema no está limitada por el oxígeno, por lo cual es capaz desnitrificar a altos niveles.
- ✓ Dependiendo del cuerpo que se deja saturado de agua, se puede influir el mecanismo de desnitrificación dentro del lecho filtrante.
- ✓ No presenta una eficiencia tan alta como el biofiltro de flujo horizontal en cuanto a remoción de sólidos suspendidos y gérmenes patógenos.
- ✓ Se necesita un tanque de almacenamiento para las aguas pre-tratadas y un mecanismo especial para lograr una dosificación intermitente y uniforme en toda el área del lecho filtrante, o la aplicación de un sistema rotativo para la alimentación de varias unidades. (38).

### 1.8.2 VENTAJAS DE UN BIOFILTRO

- **Costo:** Bajos costos de inversión y elevados niveles de eficiencia de operación comparados con sistemas convencionales.
- **Área:** No se requieren grandes obras civiles ni aumento de volumen para plantas existentes.
- **Durabilidad:** El material del biofiltro es de larga duración y puede superar los 20 años aún bajo condiciones extremas.
- **Estabilidad en el proceso:** Carga o flujos excedentes no afectan la población microbiana en el biofiltro, evitando que esta sea arrastrada en el efluente o el sistema se desestabilice.
- **Altos índices de eficiencia:** Se ha comprobado científicamente que el sistema de biofiltro posee grados altos de eficiencia en reducir una serie de parámetros, como son: los sólidos suspendidos totales y volátiles, DBO<sub>5</sub> y coliformes fecales, tal como se muestra en el siguiente cuadro:

**CUADRO I - 4**  
**EFICIENCIA DE UN BIOFILTRO**

<b>Parámetros estudiados</b>	<b>% de Remoción</b>
Sólidos Suspendidos	54.99
Oxígeno Disuelto	36.03
Demanda Bioquímica de Oxígeno	75.00
Coliformes Totales	99.99
Coliformes Fecales	99.99

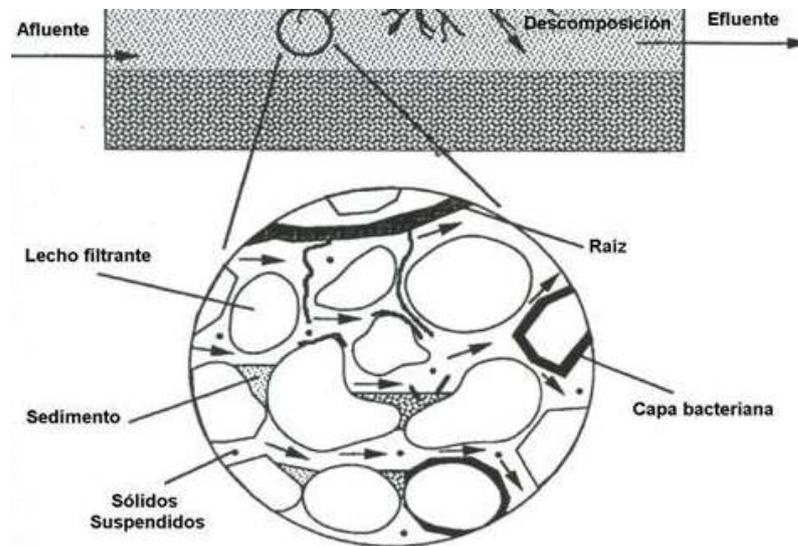
Fuente: Sullca. M E (2004)

- **Bajos costos de operación, mantención y limpieza.** El biofiltro sólo requiere de la construcción de las obras civiles e instalación del relleno. Los costos operacionales son mínimos (energía para funcionamientos de bombas) y su mantención es muy simple.
- **Sistema modulares ampliables.** El sistema funciona por unidad de superficie, sistema modular, por lo que se puede ir ampliando de acuerdo a las necesidades.
- **Sistema ecológico, que reutiliza el agua tratada.** El sistema de biofiltro dinámico y aeróbico permite reutilizar el agua tratada para regadío, lo cual, en un escenario donde el agua sea escasa, puede ser un importante ahorro para los usuarios. Como no utiliza sustancias o compuestos químicos ni sustancias tóxicas, no existe riesgo en dañar el medio ambiente.
- **Las plantas.** Pueden ser utilizadas como bombas extractoras de bajo costo para depurar aguas contaminadas.

### 1.8.3 FORMACIÓN DE LA PELÍCULA MICROBIANA

Algunos autores, recomiendan que es importante inducir y mantener las condiciones aerobias para favorecer la formación de una película microbiana alrededor de las partículas de grava, para que contribuyan al desarrollo de microorganismos aerobios que coadyuben a una adecuada degradación de la materia orgánica, el modelo se representa en la siguiente figura 1-19.

**FIGURA 1-19.**  
**PELÍCULA MICROBIANA**



Fuente: SUCHER & HOLZER, 2005.

### **1.8.3 PARÁMETROS DE IMPORTANCIA PARA EL DISEÑO DEL BIOFILTRO**

De entre los contaminantes anteriormente citados algunos se consideran de mayor importancia debido al grado de contaminación que provocan en el medio ambiente. Debido a las características de las aguas residuales que llegan a la planta de tratamiento se ha visto por conveniente considerar los siguientes contaminantes como de mayor importancia para el diseño de los sistemas.

**CUADRO I- 5**  
**INDICADORES DE IMPORTANCIA PARA EL DISEÑO DEL BIOFILTRO**

<b>PARÁMETRO</b>	<b>CONSIDERACIÓN Y OBSERVACIONES</b>
<b>Sólidos Suspendidos</b>	Es una forma de medir la presencia o no de partículas que persisten en el agua, da una idea de qué tratamiento adicional se podrá implementar dentro del sistema de tratamiento.
<b>Oxígeno Disuelto</b>	Al tratarse de un sistema biológico la presencia de Oxígeno disuelto en el seno del fluido es importante para medir la calidad de vida que pueden tener los microorganismos degradadores de la materia presente en el agua residual.
<b>Demanda Bioquímica de Oxígeno</b>	Este es un parámetro que da una idea de la cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos para poder depurar la materia orgánica presente en el agua residual.
<b>Coliformes Totales y Fecales</b>	Con este parámetro medimos la calidad microbiológica del efluente. Este parámetro muestra cuanto ha mejorado el efluente en cuanto a sus características microbiológicas con relación a las características microbiológicas de entrada.

Fuente: Sullca, ME., 2004.

## **1.9 TRABAJOS EXPERIMENTALES REALIZADOS POR OTROS AUTORES**

En la realización del presente estudio se toman en cuenta tres estudios realizados en anteriores proyectos.

1. Determinación de la capacidad depuradora de plantas acuáticas seleccionadas en el valle de Tarija y en sistemas de experimentación de carga discontinua Batch, para condiciones climáticas de Tarija. con el que se determinó cual es la planta que se adecua a las condiciones climáticas del valle central.

Se realizó un estudio en Batch utilizando tres especies: jacinto de agua, azolla y totora, en el cual se concluyó que el sistema que contenía totora (*Thyphadomingesis*) fue el que alcanzó mejores resultados; brindó una alta depuración de contaminantes; además esta planta soporta temperaturas bajas y elevadas que se presentan en la ciudad de Tarija entre el invierno y verano.

Los humedales de flujo subsuperficial tienen varias ventajas sobre los de flujo superficial. Como el nivel del agua está por debajo de la superficie del medio granular, la misma no está expuesta, con lo que se evitan posibles problemas de mosquitos que puedan llegar a presentarse en sistemas de flujo libre en algunos lugares. Tampoco se presentan inconvenientes con el acceso de público, así como se evitan problemas en climas fríos, ya que esta capa presta una mayor protección térmica. (Durán, 2000)

2. Un estudio hidráulico para la implantación de un sistema continuo con la planta recomendada en la anterior etapa. (Uzqueda, 2002)

A pesar que la diferencia es mínima con la grava de 3/8" se obtuvieron mejores resultados ya que se presentó porcentaje entre el tiempo medio de retención y tiempo teórico alcanzando un valor de 53.15%.

Como la diferencia en resultados es bastante pequeña entre los sustratos de estudio, se recomienda utilizar grava 7/8" y así evitar el riesgo de taponamiento que con llevaría la utilización de la grava de 3/8".

Es imprescindible un nuevo estudio hidráulico en el sistema experimental para determinar los tiempos de retención y analizar nuevamente su comportamiento hidráulico. (Uzqueda, 2002)

3. Diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales domiciliarias a flujo continuo en humedales artificiales de flujo subsuperficial. (Sullca, 2004)

La biomasa generada es abundante. En este estudio se observó que las plantas crecen a un ritmo acelerado por la inmediata disposición de alimento que tienen. La biomasa generada es más abundante en el sistema con deflectores

debido a que la materia orgánica disponible como alimento para las plantas es mejor aprovechado produciéndose así un mayor rendimiento en la depuración de los parámetros estudiados.

Se recomienda evitar los espacios vacíos en la zona de distribución, colocando piedras de mayor diámetro primero y ya en la superficie unas de menor más pequeñas hasta terminar en piedras de la misma granulometría que la utilizada como medio de soporte, esto para evitar la aparición de algas y larvas de mosquitos que se introducen por la zona de distribución.

Se recomienda también la implementación de una cámara de sedimentación capaz de separar los sólidos gruesos, si se diese el caso de que el sistema se implementaría como tratamiento secundario, ya que los sistemas funcionan mejor como un tratamiento posterior al tratamiento primario.(Sullca, 2004)

## **1.10 VALORACIÓN DE LA CARGA CONTAMINANTE QUE VIERTEN LAS INDUSTRIAS**

Para superar la dificultad que supone generalizar esta valoración, pues no existen dos industrias iguales, al menos cuando se trata de estimar la carga contaminante contenida en las aguas residuales con vistas al dimensionamiento de su planta depuradora, se ha recurrido al concepto de “población equivalente”. Este valor se deduce dividiendo los kilogramo de demanda bioquímica de oxígeno ( $DBO_5$ ) contenidos en el agua residual, correspondiente a la producción de una unidad determinada, por la demanda bioquímica de oxígeno que aporta un habitante por día, en algunos países se considera un valor medio de contribución de  $45(gDBO/hab \cdot día)$ . (39). Se define a la Población Equivalente como el número de habitantes cuya polución o contaminación orgánica, que generalmente se calcula en términos de  $DBO_5$ , por cuanto es este un parámetro que se determina en distintos tipos de actividad, es igual a la causada por determinada fuente contaminante. Este parámetro puede calcularse de acuerdo a la siguiente ecuación.

$$Población\ Equivalente\ (hab.) = \frac{(DBO\ (\frac{mg}{l}) * caudal\ (\frac{m^3}{día}) * (\frac{g}{mg}) * (\frac{l}{m^3}))\ \frac{Afluentes}{Efluentes}}{Aporte\ DBO\ Percápita\ (45\ \frac{g\ DBO}{(hab*día)})}$$

Ahora bien, dado que el término “Población Equivalente” sólo se refiere a una contaminación de carácter orgánico, a la hora de dimensionar la planta depuradora sería necesaria, al menos, tener en cuenta además de la demanda bioquímica de oxígeno DBO<sub>5</sub>, los Sólidos en Suspensión SS o Coliformes fecales CF. (39)

Los vertidos generados por el sector agroalimentario se caracterizan en general por una elevada carga orgánica biodegradable (medida en DBO<sub>5</sub>), un contenido moderado en sólidos en suspensión y la escasa o nula presencia de contaminantes tóxicos y/o peligrosos.

La cantidad de materia orgánica que aportan los distintos sectores es extremadamente variada, estando además condicionada en cada sector por la materia prima y el proceso productivo que se aplique.

La carga contaminante, está expresada en equivalentes de población, para distintos sectores industriales. La carga contaminante asignada habitualmente a un habitante equivalente es una DBO<sub>5</sub> de 60 g O<sub>2</sub> Hab<sup>-1</sup>día<sup>-1</sup> y un valor de sólidos en suspensión de 90 g Hab<sup>-1</sup>día<sup>-1</sup>.

**TABLA I-3**  
**CARGA CONTAMINANTE**

Industria	Unidad	Hab. Equivalentes
Lecherías	1.000 l de leche	20-250
Mataderos	1 tm peso vivo	100-300
Azucareras	1 tm de remolacha	50-75
Cerveceras	1.000 l de cerveza	150-400
Bodegas	1.000 l de vino	70-150

Fuente: Fernández-Heredia, 1989; Arévalo-Martínez, 1989

Más interesante resulta la distribución, entre las distintas actividades generadoras de aguas residuales, de las cargas contaminantes producidas a nivel global, referidas a los parámetros demanda biológica de oxígeno DBO<sub>5</sub> y sólidos en suspensión SS. En la cuenca del Guadalquivir, cuyos datos podemos extrapolar en gran medida al resto del territorio Andalúz en España, el sector agroalimentario es el que aporta una mayor carga orgánica; el 67 % del total de la materia orgánica de la cuenca tiene ese origen, mientras que las aguas residuales urbanas aportan el 26 % del total (40).

En cuanto a sólidos en suspensión, las actividades del sector agroalimentario generan el 24 % del total de la carga contaminante que soporta la cuenca, teniendo para este parámetro mayor importancia cuantitativa las aguas residuales de origen urbano, que generan el 45 % de los sólidos en suspensión, y las procedentes de otros sectores industriales, destacando las industrias extractivas que aportan casi el 10 % del total de sólidos en suspensión (40).

### **1.10.1 CARACTERIZACIÓN DEL EFLUENTE**

En determinados casos, también es necesario determinar el grado de toxicidad de los afluentes e identificar las sustancias responsables de dicha toxicidad.

La toma de muestra de los efluentes para el análisis de estos parámetros, debe llevarse a cabo en condiciones adecuadas, condiciones que se encuentran recogidas en los manuales estandarizados de analítica.

Los puntos de muestreo han de ser significativos. Es uno de los puntos claves a la hora de plantear un tratamiento de vertidos, ya que una correcta determinación de las características físico-químicas de los mismos, hará más efectivo el tratamiento seleccionado posteriormente. La elección de los métodos de análisis es fundamental para conseguir el objetivo de la caracterización del vertido.

A la hora de conocer la carga contaminante de los efluentes industriales es necesario recurrir al análisis físico-químico más o menos exhaustivo, según los casos de los mismos. Los contaminantes en las aguas industriales son normalmente una mezcla compleja de compuestos orgánicos e inorgánicos. Normalmente no es ni práctico ni posible obtener un análisis completo de la mayoría de los efluentes industriales.

Por las razones anteriores se han desarrollado una serie de métodos empíricos para evaluación de la concentración de contaminantes en aguas, cuya aplicación no requiere un conocimiento completo de la composición química específica de las aguas consideradas. (41)

**CUADRO I-6**  
**CONTAMINACIÓN CARACTERÍSTICA DE DIFERENTES INDUSTRIAS**

AGUAS RESIDUALES DE LAS INDUSTRIAS	CONTAMINACIÓN CARACTERÍSTICA DE LA INDUSTRIA
<b>INDUSTRIA PAPELERA</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Color</li> <li>• Materia en suspensión y decantable</li> <li>• DBO<sub>5</sub> u otra que nos defina la materia orgánica</li> <li>• En algunos casos ( muy pocos ) el pH</li> </ul>
<b>INDUSTRIA LECHERA</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• DBO<sub>5</sub> u otra determinación que nos defina la materia orgánica</li> </ul>
<b>REFINERÍAS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aceites</li> <li>• DBO<sub>5</sub> u otra que nos defina la materia orgánica</li> <li>• Fenoles</li> <li>• Amoniaco</li> <li>• Sulfuros</li> </ul>
<b>INDUSTRIA VITIVINICOLA</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Materia orgánica DBO<sub>5</sub></li> <li>• DQO</li> <li>• Sólidos en suspensión</li> <li>• pH</li> <li>• Residuo Mineral</li> <li>• Grasas y aceites</li> </ul>

Fuente: Ingeniería de aguas residuales/Características de las aguas residuales, 15 Sep. 2010.

Centrándonos en los vertidos líquidos, debemos resaltar que en las bodegas el agua tiene una gran relevancia en los procesos auxiliares, como operaciones de limpieza (lavado) de aparatos (tolvas de recepción, despalladoras, prensas, filtros y centrifugas), depósitos, conductos y suelos.

En general, la naturaleza de la contaminación hídrica en los efluentes de las bodegas es principalmente orgánica, aunque también nos encontramos con residuos minerales, tierras, grasas, detergentes y desinfectantes, contaminantes tóxicos exógenos localizados en la uva, etc., caracterizándose por:

- Elevada carga contaminante básicamente orgánica, como consecuencia de la materia seca del mosto o del vino, o bien de microorganismos. Se trata fundamentalmente de materia colorante, taninos, proteínas, ácidos orgánicos, glúcidos y microorganismos vivos o muertos (levaduras, bacterias lácticas y acéticas, hongos).
- Residuo mineral, suele ser bitartrato potásico que precipita en el transcurso de la fermentación y la estabilización después del enfriamiento del vino.
- Alta concentración de DBO<sub>5</sub> y DQO
- pH ácido en los vertidos de bodega y básico en los de la planta de embotellado.
- Sólidos en suspensión en altas concentraciones, gran parte de ellos en forma coloidal.
- Alta biodegradabilidad.
- Carente de productos de alta toxicidad, lo que favorece su biodegradabilidad.
- Tierra procedente de la vendimia, que suele entrar en forma de polvo o barro.
- Grasas y aceites procedentes de la maquinaria y aperos.
- Agentes de limpieza como: ácidos inorgánicos fuertes (fosfórico, nítrico, clorhídrico), ácidos orgánicos débiles (láctico, cítrico, tartárico, glucónico, acético, hidroxiacético y levulínico), álcalis inorgánicos (hidróxido sódico, silicatos, metasilicato sódico, carbonato sódico y trisfosfato sódico), tensioactivos aniónicos (jabones, oleosulfatos, alquil-sulfatos, alquil-sulfonatos y alquil-fosfatos), catiónicos (alquiamias primarias, óxidos de amina, aminas etoxiladas y sales de amonio cuaternarias), anfóteros (Nalquibetaínas, ácido N-alquil-b-aminopropiónico, alquilimidazoínas y N-alquildulfobetaínas), no iónicos (óxido de etileno); secuestrantes (pirofosfato tetrasódico, tripolifosfatos sódicos, tetrafosfato sódico, hexametáfosfato sódico, EDTA, ácido nitrilo acético y ácido glucónico) (Molina Ubeda y Díaz Barcos, 2001).
- Desinfectantes como el cloro y sus compuestos (hipocloritos sódicos y cálcicos, cloramina T y B y dicloroamina T), compuestos de amonio

cuaternario, iodóforos, aldehídos (formaldehído y glutaraldehído), compuestos liberadores de oxígeno (ozono, peróxido de hidrógeno, ácido peracético, permanganato potásico) (42).

Residuos de productos fitosanitarios que se encuentran en la uva, muchas veces por una inadecuada utilización de los plaguicidas y por no respetar los plazos de seguridad marcados por las casas comerciales. Estos tóxicos se transfieren al mosto y al vino, pero la mayor parte de ellos son eliminados en los distintos procesos enotécnicos: prensado, desfangado, trasiego y estabilización del vino acabado. (43)

Además, estos vertidos muestran una gran irregularidad en cuanto a caudales, composición de las aguas residuales y concentración de contaminantes, dependiendo normalmente de las horas de trabajo al día, ya que influyen factores como la frecuencia de entrada de materia prima, la tecnología de vinificación empleada, las variedades de uva transformadas, el tamaño de la bodega, etc.; y de una estacionalidad del ciclo anual, teniendo el mayor volumen durante la vendimia. (43)

### **1.10.2 MEDICIÓN DE CARGAS ORGÁNICAS EN LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES**

Las cargas orgánicas de las plantas de tratamiento de aguas residuales se expresan generalmente los kilos de DBO<sub>5</sub> por día o kg. de sólidos suspendidos por día, y el caudal, en l/s o en metros cúbicos por día, que se calculan de la siguiente manera (44):

$$\text{Carga orgánica (kg/día)} = \frac{\text{Concentración (g/m}^3\text{)} \times \text{caudal (l/s)} \times 86400 \text{ (seg/día)}}{10^6 \text{ (g/kg)} \text{ (l/m}^3\text{)}}$$

$$\text{Carga orgánica (kg /día)} = \frac{\text{Concentración (mg/l)} \times \text{Caudal (m}^3\text{/día)}}{10^6 \text{ (mg/kg)} \text{ (m}^3\text{/l)}}$$

## **CAPÍTULO II**

### **DISEÑO EXPERIMENTAL**

#### **INTRODUCCIÓN**

El estudio se ejecutó con el objetivo de diseñar un sistema de tratamiento para el agua residual generada por las actividades del CENAVIT, planteando una alternativa viable técnica y económica para las necesidades planteadas por este centro experimental. El trabajo de grado considera los resultados de anteriores estudios realizados sobre la temática y pretende analizar específicamente la calidad del agua residual del Centro Nacional Vitivinícola Tarija.

El presente trabajo describe la aplicación del método de tratamiento por biofiltración, para las aguas residuales de la bodega del CENAVIT, está ubicada en el Valle de Concepción, Municipio de Uriondo del departamento de Tarija.

La industria vitivinícola es la principal de la región. Su producción es del tipo estacional y, su consumo de agua en época de elaboración es considerable. En las industrias de proceso el agua es empleada principalmente con fines de limpieza, desinfección, calefacción, enfriamiento, entre otros.

Esta investigación realizada muestra una alternativa simple y económica que está orientada a solucionar los problemas causados por los vertidos del agua residual de bodega, en forma tal que estas aguas puedan ser reutilizadas evitando el desperdicio. Se desarrolla a partir de sistemas que se pretende instalar y adecuar en el CENAVIT.

El biofiltro que se estudiado, demostró que tiene altas eficiencias en remoción de materia orgánica, inorgánica, indicadores de contaminaciones fecales y nutrientes.

Debido al cambio climático que genera escases de agua en el mundo actual, la reutilización de las aguas residuales hoy en día, se ha convertido en una de las necesidades más apremiantes de todas las comunidades tanto para consumo humano, riego u otros usos que son necesarios para la vida. Los efluentes líquidos están siendo desperdiciados y subvalorados, las cuales si no son tratadas adecuadamente, ocasionan problemas de contaminación en las fuentes receptoras, en los suelos y en general dañando el medio ambiente y afectando a la calidad de vida de la población.

## **2.1 MODELO DEL FUNCIONAMIENTO DEL BIOFILTRO PLANTEADO PARA LA EXPERIENCIA**

### **2.1.1 Características de las Aguas Residuales de Bodegas**

De acuerdo a la información secundaria que se puede acceder a nivel local y de otras industrias bodegueras a nivel internacional, se conoce que en general, la naturaleza de la contaminación hídrica en los efluentes de las bodegas es principalmente orgánica, aunque dependiendo de la tecnología que apliquen y del período de producción en que se encuentren, también se encuentran trazas de residuos químicos, minerales, tierras, grasas, detergentes y desinfectantes, contaminantes tóxicos exógenos localizados en la uva por el uso intensivo en algunos casos de agroquímicos, etc., por ello, dependiendo de la bodega, la tecnología que aplica y los problemas que enfrenta, las aguas residuales que se espera puedan tener alguna o varias de las siguientes características:

- Una elevada carga contaminante básicamente orgánica, como consecuencia de la materia seca del mosto, líquidos derivados de la fermentación del vino, o bien de microorganismos. Se trata fundamentalmente de materia colorante, taninos, proteínas, ácidos orgánicos, glúcidos y microorganismos vivos o muertos (levaduras, bacterias lácticas y acéticas, hongos).

- El residuo mineral, suele ser provisto por bitartrato potásico o metabisulfito de sodio, que precipita en el transcurso de la fermentación y la estabilización después del enfriamiento del vino.
- pH ácido en los vertidos de bodega y básico en los de la planta de embotellado.
- Sólidos en suspensión en altas concentraciones.
- Los agentes de limpieza que pueden encontrarse son: ácidos inorgánicos fuertes (fosfórico, nítrico, clorhídrico), ácidos orgánicos débiles (láctico, cítrico, tartárico, glucónico, acético, hidroxiacético y levulínico), álcalis inorgánicos (hidróxido sódico, silicatos, metasilicato sódico, carbonato sódico y trisfosfato sódico), tensoactivos aniónicos (jabones, oleosulfatos, alquil-sulfatos, alquil-sulfonatos y alquil-fosfatos), catiónicos (alquiamias primarias, óxidos de amina, aminas etoxiladas y sales de amonio cuaternarias), anfóteros (Nalquibetaínas, ácido N-alquil-b-aminopropiónico, alquilimidazoínas y N-alquildulfobetainas), no iónicos (óxido de etileno); secuestrantes (pirofosfato tetrasódico, tripolifosfatos sódicos, tetrafosfato sódico, hexametáfosfato sódico, EDTA, ácido nitrilo acético y ácido glucónico).
- Entre los desinfectantes se cuentan a: el cloro y sus compuestos (hipocloritos sódicos y cálcicos, cloramina T y B y dicloroamina T), compuestos de amonio cuaternario, iodóforos, aldehídos (formaldehído y glutaraldehído), compuestos liberadores de oxígeno (ozono, peróxido de hidrógeno, ácido peracético, permanganato potásico).
- También pueden encontrarse residuos de productos fitosanitarios que se encuentran en la uva, muchas veces por una inadecuada utilización de los plaguicidas y por no respetar las normas de aplicación y de seguridad marcados por los proveedores. Estos tóxicos se transfieren al mosto y al vino,

pero la mayor parte de ellos son eliminados en los distintos procesos enotécnicos (prensado, desfangado, trasiego y estabilización del vino acabado)

La combinación de algunos de estos elementos que se pueden encontrar en las aguas residuales de las bodegas, se traduce en una alta concentración de DBO<sub>5</sub> y DQO.

Además se puede observar que estas aguas residuales, muestran una gran irregularidad en cuanto a caudales, composición y concentración de contaminantes, dependiendo normalmente de las horas del día, ya que influyen factores como la frecuencia de entrada de materia prima, la tecnología de vinificación empleada, las variedades de uva transformadas, el tamaño de la bodega, etc.; y de una estacionalidad del ciclo anual, teniendo el mayor caudal de vertido de aguas residuales durante e inmediatamente posterior a la vendimia.

### **2.1.2 Modelo Planteado para el Diseño del Biofiltro Horizontal**

De acuerdo a las experiencias previas locales realizadas por Sullca en el 2004 y Uzqueda en el 2002, con biofiltros con plantas emergentes para el tratamiento de aguas residuales domésticas. Se concibe el modelo para el diseño de un biofiltro horizontal, sobre la base de las características de las aguas residuales que fluyen reaccionando o degradando la materia orgánica en la medida que atraviesan el biofiltro desde la zona de distribución en la entrada del sistema, siguiendo una trayectoria serpenteante de forma horizontal a través del lecho filtrante, hasta que llegan a la zona de salida o recolección del efluente. (45)

Durante el recorrido que dura tres días, el agua residual para el ensayo propuesto, no entrará en contacto con las raíces de las plantas macrófitas que fueron elemento central en experiencias anteriores, sino que el oxígeno necesario para la operación en la zona aerobia será provisto por bombeo de aire en el tanque pulmón o de

estabilización instalado previo al ingreso de las aguas residuales al biofiltro. Es importante remarcar que por las condiciones y desviaciones al comportamiento propuesto, no se descarta que existan algunas zonas que operan de forma anaerobia.

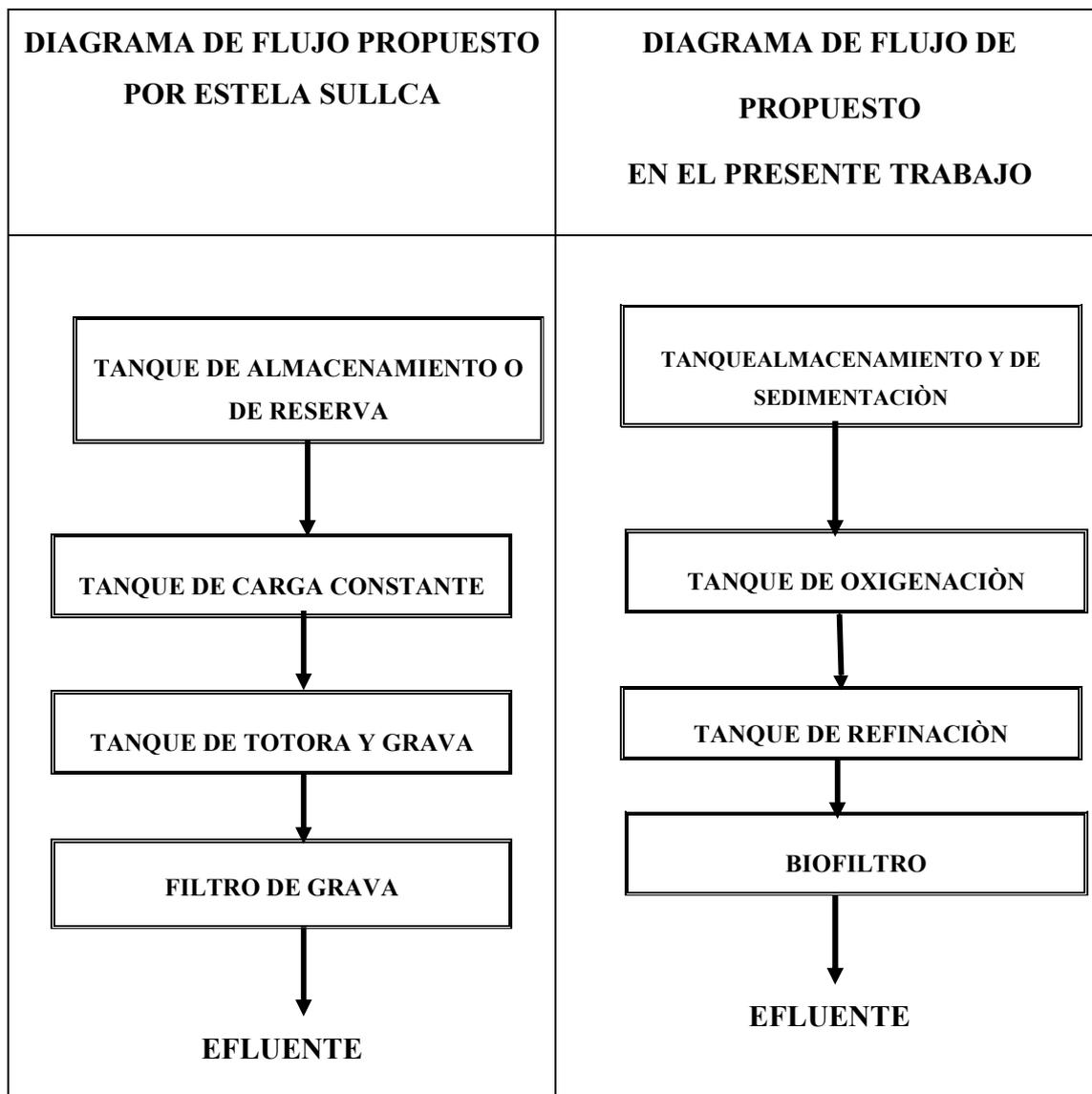
En el modelo planteado, se espera que el paso del agua residual a través de las diferentes zonas del lecho filtrante, sea depurada mediante reacciones de oxidación, por la acción del oxígeno proporcionado en el tanque de estabilización y por la acción microbiológica generada alrededor de la biocapa que se forma en la superficie del material del lecho filtrante y por procesos físico-químicos que pudieran darse en las zonas aeróbicas y anaeróbicas.

Para mantener la eficiencia del sistema y evitar la obstrucción de los poros del lecho filtrante, se necesita la eliminación o disminución de material sólido suspendido contenido en el agua residual, lo que incluye la separación de sólidos sedimentables y suspendidos.

El modelo de flujo Sub-Superficial planteado, tiene la ventaja de que el nivel del agua está por debajo de la superficie del medio granular, la misma no está expuesta directamente al ambiente, con lo que se evitan posibles problemas de mosquitos y otros vectores que pueden llegar a presentarse en sistemas de flujo libre. Tampoco se presentan inconvenientes con el acceso de público, así como se evitan problemas en climas fríos, ya que esta capa presta una mayor protección térmica.

Más adelante se muestra en la figura 2-1 donde se encuentra el diagrama de flujo del sistema experimental propuesto para mostrar una mejor percepción, donde se observa la comparación del diagrama de flujo existente realizado por Estela Sullca y el diagrama propuesto:

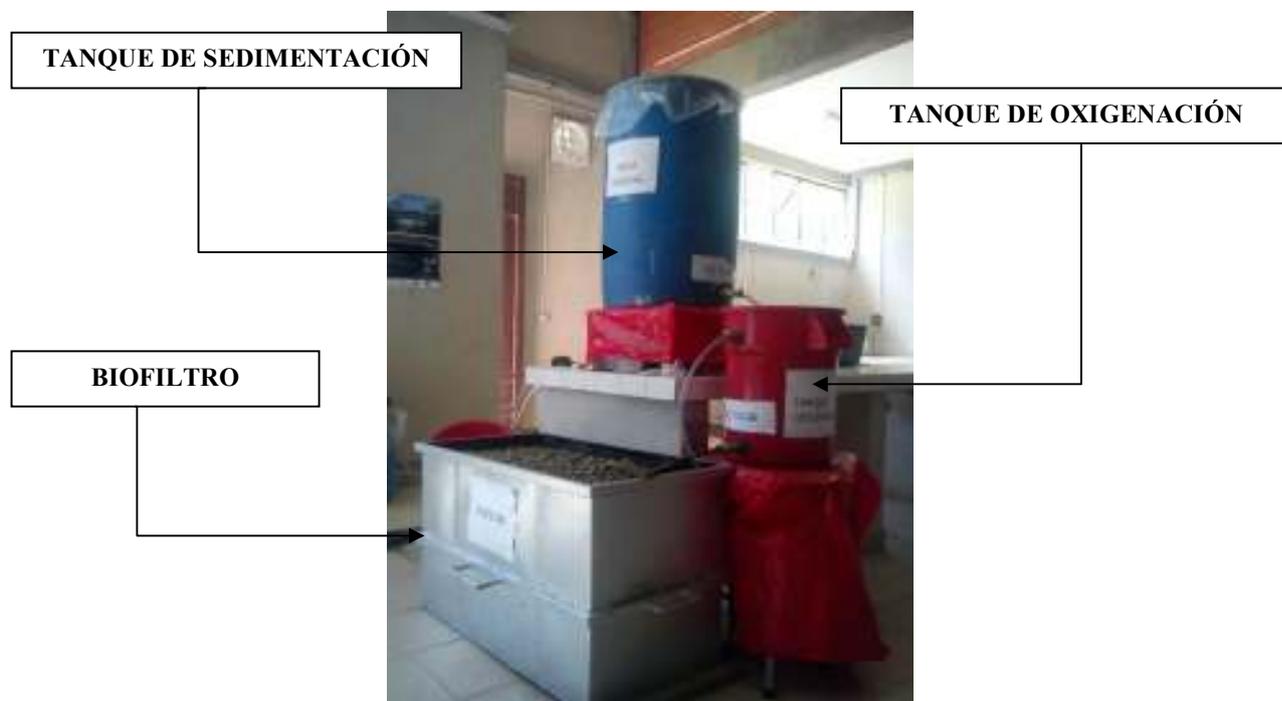
**FIGURA 2-1**  
**DIAGRAMA DE FLUJO**



Fuente: Elaboración propia, 2012.

La siguiente foto 2-1 muestra el sistema de tratamiento de aguas residuales a escala de laboratorio.

**FOTO 2-1**  
**SISTEMA DE TRATAMIENTO - BIOFILTRO**



Fuente: Elaboración propia, 2012.

Por otra parte, un elemento importante para la concepción de este modelo de funcionamiento, es que las plantas macrófitas emergentes, si bien en los sistemas donde son empleadas, coadyuvan a la eliminación de materia orgánica, presentan dificultades en el proceso de mantenimiento del sistema de tratamiento, por cuanto dependiendo de la temporada, la cosecha de los tallos es más frecuente, lo que implica un esfuerzo de los operadores del mismo y si no existe un adecuado mantenimiento pueden provocar la generación de espacios para el desarrollo de vectores a nivel superficial. A lo anteriormente planteado, se añade la dificultad que ocasionan las raíces al desarrollarse y penetrar la superficie interna del biofiltro, por cuanto generan espacios de canalizaciones o deformaciones en el flujo del agua a través del biofiltro, raíces que en algún momento hay que extraer para evitar las canalizaciones y garantizar un adecuado flujo de las aguas a través del biofiltro.

Por ello, es que se plantea la incorporación de aire a través de un tanque de oxigenación que se muestra en la foto 2-2, para que se coadyuve a las reacciones de oxidación de la materia orgánica y la formación de una biocapa de microorganismos alrededor de la grava presente, lo cual se espera en una mayor eficiencia en la degradación de la materia orgánica y la posibilidad de uso posterior de los efluentes del sistema de tratamiento para abastecimiento como aguas de riego o recreativas.

**FOTO 2-2**  
**TANQUE DE OXIGENACIÓN**



Fuente: Elaboración propia, 2012.

### **2.1.3 TANQUE DE OXIGENACIÓN**

Dentro de los equipos de contacto gas-liquido entre ellos están comprendidos los tanques de burbujeo los mismos son los equipos más utilizados, sobre todo en el tratamiento de aguas residuales, por su diseño sencillo y la economía de operación.

La transferencia de oxígeno tiene una aplicación muy importante en el tratamiento biológico de aguas residuales. En el cual se introduce oxígeno al medio en forma de

burbujas para poder cubrir con la demanda. El transporte de oxígeno del gas hacia los microorganismos se lleva a cabo en cuatro etapas el oxígeno pasa a través del gas hacia la interfase gas-líquido, a lo largo de la interfase, por el líquido, hacia el organismo.

El oxígeno juega un papel fundamental en el metabolismo aerobio productor de energía como receptor final de los electrones y de los protones producidos en las reacciones de oxidación, además intervienen en el mecanismo de regulación del metabolismo en la forma directa, como inductor o como represor de la síntesis de enzimas respiratorias.

La transferencia de oxígeno es el proceso por el cual este es transportado de una fase a otra, generalmente de una gaseosa a una líquida. El oxígeno es poco soluble en medio acuoso, por lo que la transferencia de este se vuelve importante en el cultivo de microorganismos aerobios, cuyos procesos suelen requerir oxígeno. El transporte del mismo de la fase gaseosa hacia las células debe permitir el mantenimiento de una concentración adecuada de oxígeno disuelto, de manera que el crecimiento microbiano no se vea limitado.

La transferencia de oxígeno se ve afectada por la temperatura ya a mayor temperatura, menor es su solubilidad de oxígeno, intensidad del mezclado y los constituyentes del medio que afectan la viscosidad del mismo y la solubilidad de oxígeno, menor solubilidad a mayor concentración de solutos.

Los tanques de burbujeo son provistos con difusores que introducen aire a través de la interfase, lo que debe tener a una velocidad para que mejoren la transferencia. En la columna de burbujeo el transporte se mejora con el aumento de velocidad de flujo de gas. La máxima velocidad de aireación, por lo general es menor a 0.1m/s, además de la velocidad de gas, influye la velocidad de circulación de líquido y las dimensiones de las dos zonas.

Para determinar la ecuación de transferencia de oxígeno se usan principalmente dos teorías. La primera esta consiste en el establecimiento de un gradiente de presión parcial de oxígeno en el interior de la burbuja de gas a causa de la presencia de la película gaseosa. Se conoce como teoría de las películas laminares. La presión parcial creada en la interfase  $p^*$  esta en equilibrio con la concentración de oxígeno disuelto  $C^*$ . En el seno de líquido se establece un gradiente en la concentración del mismo debido a la película liquida. Se supone que el perfil de equilibrio es independiente del tiempo (régimen estacionario) y el equilibrio entre  $p^*$  y  $C^*$  se tiene instantáneamente al entrar en contacto el gas y el líquido. (47)

La ecuación:

$$\frac{dC_L}{dt} = K_G \cdot a' (p - p^*) = K_L \cdot a' (C - C_L)$$

La segunda teoría considera nuevamente, la transferencia de oxígeno como una difusión continua entre la burbuja y el líquido, a través de una película única de poco espesor en régimen estacionario. Aplica la ley de Fick, a este mecanismo de transferencia considerada esta como unidireccional. La ecuación es:

$$\frac{dC_L}{dt} = K_L \cdot a (C^* - C_L)$$

Debido a la dificultad para determinar el  $K_L$  y  $a$  de forma individual, normalmente se utiliza su producto  $K_L \cdot a$  para especificar la transferencia de masa gas-líquido y se denomina coeficiente volumétrico de transferencia de oxígeno.

El área interfacial está en función del coeficiente de retención de gas ( $E_g$ ) y el diámetro promedio de las burbujas; en donde el primero es una relación entre el volumen desplazado al introducir el gas en el reactor y el volumen de mezcla gas-líquido. (47)

**Determinación teórica del coeficiente volumétrico de transferencia de oxígeno  $K_L \cdot a$ .**

Tanque de Burbujeo:

Se determina las siguientes expresiones:

$$K_L \cdot a = [(0.6 D |D_r^2) S_c^{0.5} B_0^{0.62} G_a^{0.31}] E_g^{1.1} \dots (1)$$

**Cálculo del Número de Bond,  $B_0$ :**

Dónde:

$g$  = Constante gravitacional = 980 cm/s<sup>2</sup>

$\rho$  = Densidad del agua = 0.99823 g/cm<sup>3</sup> a 20° C

$D_r$  = diámetro del reactor = 38 cm

$\tau$  = tensión superficial del agua = 72.8 g/s<sup>2</sup>

$$B_0 = \frac{g \rho D_r^3}{\tau}$$

$$B_0 = \frac{980.665 * 0.99823 * 38^3}{72.8}$$

$$B_0 = 19471.222$$

**Cálculo del Número de Galileo,  $G_a$ :**

Dónde:

$g$  = Constante gravitacional = 980 cm/s<sup>2</sup>

$D_r$  = Diámetro del reactor = 38 cm

$V_c =$  Viscosidad cinemática =  $0.010004 \text{ cm}^2/\text{s} = \mu / \rho_1$

$\mu =$  Viscosidad dinámica =  $0.009986293 \text{ g/cm s}$

$\rho_1 =$  Densidad del líquido =  $0.99823 \text{ g/cm}^3$

$$G_a = g * D_r^3 / v_c^2$$

$$G_a = 980.665 * 38^3 / 0.010004^2$$

$$G_a = 5.3597 \times 10^9$$

**Cálculo del Número de Schmidt, Sc:**

Dónde:

$V_c =$  Viscosidad cinética =  $0.010004 \text{ cm}^2/\text{s}$

$D =$  Difusividad del oxígeno en el agua =  $2.10^5 \text{ cm}^2/\text{s}$

$$S_c = v_c / D$$

$$S_c = 0.010004 / 2.10 \times 10^5$$

$$S_c = 478.0952$$

**Cálculo de la Fracción de gas retenido en la mezcla, Eg:**

Dónde:

$H_{1g} =$  Altura de la mezcla gas-líquido = 30 cm

$H_1 =$  Altura del líquido cuando no existe aireación = 27 cm

$$E_g = \frac{H_{1g} - H_1}{H_{1g}}$$

$$E_g = \frac{30 - 27}{30} = 0.1$$

**Cálculo del Coeficiente volumétrico de transferencia de oxígeno  $K_L \cdot a$ :**

$$K_L \cdot a = [(0.6 \cdot 2.10 \times 10^{-5} | 38^2) 478.0952^{0.5} 19417.222^{0.62} (5.3597 \times 10^9)^{0.31}] 0.1^{1.1}$$

$$K_L \cdot a = 7.166 \times 10^{-3} /s$$

Para calcular el tiempo de absorción del oxígeno en el agua, debe tomarse en cuenta la velocidad con la que el oxígeno se absorbe en el agua, debemos referirnos a la ecuación de velocidad de absorción, que establece:

$$\frac{dC_L}{dt} = k_L a (C^* - C_L)$$

Dónde:

$C_L$  = Concentración de oxígeno disuelto en el medio sin aireación; mg /l

$C^*$  = Concentración saturada de oxígeno disuelto en el medio aireado; mg /l

$K_L$  = Coeficiente global de transferencia de masa con relación a la película líquida; cm/s

$a$  = Superficie específica de intercambio;  $\text{cm}^2/\text{cm}^3$

Separando las variables e integrando se tiene:

$$\int \frac{dc_L}{c^* - c_L} = K_L \cdot a \int dt$$

$$\ln \frac{c^* - c_L}{c^*} = -K_L \cdot a \cdot t$$

$$\ln\left(1 - \frac{C_L}{C^*}\right) = -k_L a t$$

De acuerdo a los valores experimentales que se obtuvieron el laboratorio, se tiene que:

$$C_L = 0.28 \text{ mg/l}$$

$$C^* = 7.02 \text{ mg/l}$$

Por tanto reemplazando valores, tenemos

$$\ln\left(1 - \frac{0.28}{7.02}\right) = -7.166 \times 10^{-3} t$$

$$t = \frac{-0.0407}{-7.166 \times 10^{-3}} = 5.680 \text{ s}$$

$$t = 5.680 \text{ s}$$

Por lo que en las condiciones establecidas, se tiene que el tiempo requerido para alcanzar el nivel mínimo del oxígeno en el agua como es de 7.02 mg/l, lo cual es requerido para garantizar un proceso aeróbico en el biofiltro es de 5.68 segundos o aproximadamente 6 seg.

### **Cálculo del Volumen en el Tanque de Oxigenación**

$V_g$  = velocidad máxima de aireación técnica es de 10 cm/s = 0,062 m/s

$$h = 6,2 \text{ cm/s} * 5,680 \text{ s} = 35,2 \text{ cm} = 0,352 \text{ m}$$

La relación del tanque de oxigenación es:

ALTO: ANCHO (diámetro)

$$4:1$$

$$h = 4 * d$$

$$d = h/4$$

$$d = 8,8 \text{ cm}$$

Por tanto el volumen del tanque de aireación es de

$$V = \pi \cdot r^2 \cdot h = \pi \cdot (4,4)^2 \cdot 35,2 = 2140,91 \text{ cm}^3 = 2,14 \text{ m}^3$$

### FOTO 2-3

#### TANQUE DE OXIGENACION - BURBUJEANDO



Fuente: Elaboración propia, 2012.

**TABLA II-1**  
**RESUMEN DE VARIABLES PARA EL DISEÑO DEL TANQUE DE**  
**OXIGENACIÓN:**

PARÁMETRO	SÍMBOLO	MEDIDA
<b>Coefficiente volumétrico de transferencia de oxígeno</b>	$K_L \cdot a$	$7.166 \times 10^{-3} / s$
<b>Número de Bond</b>	$B_o$	19471.222
<b>Número de Galileo</b>	$G_a$	$5.3597 \times 10^9$
<b>Número de Schmidt</b>	$S_c$	478.0952
<b>Fración de gas retenido en la mezcla</b>	$E_g$	0.1
<b>Tiempo de absorción de oxígeno en agua</b>	$T$	5,68 s
<b>Velocidad máxima de aireación</b>	$V_g$	0,062 m/s
<b>Altura del tanque de aireación</b>	$H$	0,352 m
<b>Volumen del tanque de aireación</b>	$V$	2,14 m <sup>3</sup>

Fuente: Elaboración propia, 2012.

## 2.2 DISEÑO DEL BIOFILTRO

Los biofiltros son lechos rellenos de un medio granular, a través de los cuales circula el agua que no aflora a la superficie. El medio granular sirve de sustrato para fijar la biopelícula, que en este caso, será la capa envolvente del medio granular.

En estos sistemas, el agua se distribuye en un extremo del lecho, se infiltra, circula en sentido horizontal a través de un medio granular de relleno. Al final y en el fondo de lecho, el agua tratada se recoge y se evacua por medio de tuberías o vertederos. La profundidad del biofiltro descrito en experiencias anteriores, para garantizar un proceso aerobio, no suele exceder los 0.50 m y para facilitar la circulación del agua deben ser construidos con una leve pendiente del 2% en el fondo del biofiltro. Los lechos deben ser aislados del suelo para evitar la contaminación de suelos y de las aguas subterráneas.

El tratamiento de las aguas residuales en un biofiltro tiene varias ventajas, por cuanto se considera que las reacciones biológicas en el biofiltro, se deben al crecimiento de organismos aerobios que son eficientes para la remoción de materia orgánica. El lecho de grava provee una mayor superficie de contacto, por lo que se tendrá mayores tasas de reacción y por lo tanto puede tener un área menor. Como el nivel del agua está por debajo de la superficie del medio granular, no está expuesto, con lo que se evitan posibles problemas de mosquitos que pueden llegar a presentarse en sistemas de flujo libre en algunos lugares. Tampoco se presentan inconvenientes con el acceso de público, así como se evitan problemas en climas fríos, ya que esta capa presta una mayor protección térmica.

## **2.2.1 DIMENSIONAMIENTO Y ESPECIFICACIONES DEL BIOFILTRO**

### **2.2.1.1 Consideraciones a tener en cuenta en el diseño**

Para el diseño del biofiltro se tomaron en cuenta varios aspectos que se tienen que resaltar para realizar diseño experimental que están descritos en los siguientes párrafos:

#### **✓ Material granular:**

El material granular del lecho filtrante juega un papel determinante en la eficiencia del tratamiento. Materiales porosos y resistentes al desgaste mecánico y químico ocasionado por el flujo continuo de aguas residuales tienen una mayor conductividad hidráulica y han demostrado que alcanzan una mayor eficiencia en la remoción de contaminantes.

Es importante disponer de un material suficientemente homogéneo en forma y tamaño, duro, durable, capaz de mantener su forma a largo plazo y limpio (sin presencia de finos).

La característica fundamental requerida para el lecho filtrante es su resistencia al desgaste y taponamiento provocado por las características de las aguas residuales, por lo que se debe garantizar que el lecho no se deteriore en el transcurso del tiempo.

En la elección del tipo de grava es importante tener en cuenta la porosidad y la granulometría. De la porosidad depende la superficie disponible para la formación de la capa bacteriana, ya que a más porosidad se reduce el área disponible.

En cuanto a la granulometría de la grava, a mayor tamaño de la partícula, la capacidad hidráulica del biofiltro aumenta, pero disminuye la eficiencia en la remoción de contaminantes no únicamente al tener menos área para el crecimiento bacteriano, sino que se ve afectados los mecanismos como la adsorción, filtración, sedimentación e intercambio iónico. Por tal razón, la elección del tamaño de la grava debe conseguir el equilibrio entre los aspectos hidráulicos y la eficiencia de remoción.

El tamaño de la grava seleccionada es de 7/8 pulg, la misma que fue optimizada en el trabajo realizado por Rodrigo Úzqueda en el 2002. (46)

#### ✓ Estructuras de entrada/salida

Es muy importante tener un adecuado diseño de estas estructuras para conseguir una adecuada distribución del fluido, evitar la colmatación y futuros cortocircuitos al interior del Biofiltro, recomendando por tanto:

- Una distribución uniforme a la entrada del biofiltro.
- Una colecta uniforme a través de la anchura total del biofiltro.

El agua entra al biofiltro por una tubería de distribución que ocupa el ancho de acceso. Esta tubería está perforada por agujeros pequeños del mismo diámetro equidistantes, para lograr una adecuada distribución del agua. La tubería de entrada estará colocada en la parte superior entre la gravilla evitando olores provocados en el momento del vertido.

#### ✓ **Microorganismos**

El catabolismo del contenido de sustancias orgánicas, el metabolismo tanto aeróbico como anaeróbico y la oxidación de compuestos nitrogenados en un biofiltro son efectuados principalmente por las bacterias. Microorganismos altamente organizados tales como protozoarios y organismos metazoarios juegan solamente un papel subordinado dentro de la comunidad establecida en el biofiltro. Así como las especies abundantes en particular son las proporcionan estabilidad y capacidad buffer a los reactores biológicos y así como a ecosistemas naturales, se ha asumido que solamente la comunidad bacteriana no es capaz de balancear los cambios significativos de carga.

Las moléculas orgánicas complejas son divididas por bacterias en pequeñas partes y productos parcialmente gaseosos como el nitrógeno, dióxido de carbono. Con esto, la putrescibilidad en el biofiltro se reduce significativamente. Los sólidos suspendidos orgánicos asociados con las aguas residuales entrantes se acumulan, pero son retenidos dentro del lecho filtrante por un largo tiempo y los constituyentes orgánicos son mineralizados por las bacterias. La acumulación de sólidos mineralizados provocan la disminución del volumen de poros en el lecho filtrante y eventualmente es necesario remover una parte del material después de algún tiempo de operación.

En la parte superior del lecho del biofiltro prevalecen las condiciones aeróbicas, mientras que en las capas inferiores pueden existir condiciones anóxicas o anaeróbicas, dependiendo ello de una adecuada oxigenación al agua residual que

ingresa. Una degradación aerobia completa da como resultado productos tales como dióxido de carbono y agua. La degradación anaerobia ocurre a una tasa baja y provoca la formación de metabolitos orgánicos, p.ej ácidos orgánicos o alcoholes, y productos finales reducidos tales como metano o sulfuro de hidrógeno.

Las reacciones de metabolismo primario son influenciadas por el tiempo de retención dentro del biofiltro, el grado de carga, la distribución de las aguas residuales y las condiciones físicas y químicas del lecho. Un tiempo de retención adecuado a la cinética de remoción, carga continua y una alimentación balanceada son prerequisites indispensables para una eficiencia de tratamiento satisfactoria.

#### **2.2.1.2 Generalidades de Diseño**

El dimensionamiento y las características físicas del biofiltro dependen, entre otros factores, de la localización de la planta, de las características climáticas del sitio, de la calidad del agua efluente deseado, de las restricciones de calidad de vertido de aguas tratadas exigida por la normativa ambiental.

El flujo a través del biofiltro debe superar la resistencia por fricción del mismo sistema. Esta resistencia es impuesta por la capa de sedimentos en el biofiltro y los sólidos acumulados. La energía necesaria para superar esta resistencia viene dada por la pérdida de carga entre la entrada y la salida del sistema. La mejor solución en lo referente a construcción, es proveer al biofiltro de un fondo con una inclinación que sea suficiente para permitir un drenaje completo cuando sea necesario y una salida de altura variable con el nivel de agua.

La relación largo-ancho del biofiltro tiene una gran influencia en el régimen hidráulico y en la resistencia al flujo del sistema. En teoría grandes relaciones largo:ancho 10:1 o mayores asegurarían un flujo a pistón, pero tienen el inconveniente de que en la parte alta se desbordan debido al incremento en la

resistencia al flujo causado por la acumulación de residuos, por tanto, relaciones de 2:1 hasta aproximadamente 3:1 o 4:1 son aceptables. Los cortocircuitos de flujos pueden ser minimizados con una cuidadosa construcción y mantenimiento del fondo, con el uso de múltiples celdas, y con la intercalación de zonas abiertas sin vegetación para la redistribución del flujo.

Posteriormente, el área de tratamiento obtenida debe ajustarse a una serie de recomendaciones que influyen: área específica de tratamiento mínima, relación largo: ancho, profundidad y pendiente. Adicionalmente, se debe verificar que los medios filtrantes seleccionados cumplan con ciertas características físicas, como la porosidad, granulometría y la conductividad hidráulica.

Con respecto a las estructuras de distribución y recolección del agua, las opciones incluyen canales y tuberías perforadas, las cuales deben asegurar buena distribución de las aguas afluentes en los lechos y que redundara en un mejor tratamiento.

La tabla II - 1 presenta las características de la grava y el biofiltro como parámetros para el diseño. Estos valores no son estrictamente obligatorios, pero brindan información típica de las condiciones normales de diseño.

**TABLA II -2**  
**CARACTERÍSTICAS DE LA GRAVA Y EL BIOFILTRO**

<b>Parámetros</b>	<b>Flujo Sub-Superficial</b>
Porosidad de la grava empleada*	0.4663
Relación largo-ancho*	2:1
Profundidad*	0.50 m
Pendiente del fondo*	2 %
Número de deflectores	4
Tipo de relleno *	Grava de 7/8"

\* Fuente: Datos experimentales previos (Úzqueda, 2002 y Sullca, 2004)

### 2.3 DISEÑO DEL BIOFILTRO EXPERIMENTAL

De acuerdo a los datos respecto a la cantidad de aguas residuales que se generan en el CENAVIT, se tiene que se dispone de un caudal de aguas residuales que sale de la bodega de 35 l /día.

$$v = 35 \text{ l /día.} = 0,035 \text{ m}^3/\text{día}$$

Al haberse determinado en el estudio realizado por Estela Sullca, que el tiempo óptimo para el tratamiento de las aguas residuales ó tiempo de retención, es de 3 días, tenemos que el volumen vacío del biofiltro debe ser:

$$V_v = 35 \text{ l /día} * 3 \text{ días} = 105 \text{ l} = 0.105 \text{ m}^3$$

Por tanto, para calcular el volumen del biofiltro, conteniendo la masa de grava, partimos de los datos determinados por Úzqueda y Sullca, que establecen el tamaño de las partículas de grava, porosidad, relación largo:ancho y pendiente del lecho, tal como se muestra en la tabla II.1.

Por lo tanto tenemos que:

$x$  = porosidad, o espacio disponible para el flujo del agua a través del biofiltro. La porosidad del lecho fijo es la relación del volumen vacío al volumen total del lecho, expresado como fracción decimal o como porcentaje.

$x$  = porosidad del medio de grava = 0,4663, valor establecido por Sullca

El volumen total del biofiltro  $V_t$ , determinado para el caudal entregado en tres días de tratamiento de las aguas residuales, está dado por:

$$V_v = 0,105 \text{ m}^3$$

$V_t$  = volumen total del Biofiltro:

$$V_t = V_v / x$$

$$V_t = 0,105 \text{ m}^3 / 0,4663 = 0.225 \text{ m}^3$$

$V_t = 225 \text{ l}$  volumen total del biofiltro

Dimensionamiento del biofiltro

LARGO: ANCHO: ALTO

2: 1: 05

$$V_t = l_t * a_t * h_t$$

$$V_t = 2 a_t * a_t * h_t$$

$$V_t = 0,95 * 0,475 * 0,5 = 0,2256 \text{ m}^3$$

Se tiene que el volumen total definitivo será

$$V_t = 0,2256 \text{ m}^3 = 225,6 \text{ l}$$

Con la siguiente relación de dimensiones:

Largo

$$l_t = 0,95 \text{ m}$$

Ancho

$$a_t = 0,475 \text{ m}$$

Profundidad (alto)

$$h_t = 0,5 \text{ m}$$



Fuente: Elaboración propia, 2012.

Teniendo en cuenta que el tiempo de retención es:  $t = 72 \text{ h}$

$$Q = v \cdot A$$

Caudal:  $Q = 225,6 \text{ l} / 72 \text{ h} = 3,13 \text{ l/h} = 0,00313 \text{ m}^3/\text{h}$

$v$  = velocidad de flujo = m/h

$A$  = área de flujo =  $\text{m}^2$

### **Calculo del Número de Deflectores:**

Se emplean deflectores para aumentar el tiempo de retención de las aguas residuales en el biofiltro, se asimila que la velocidad de oxidación de la materia orgánica es variable y permanente en la medida que atraviesa el biofiltro, lo mismo sucede en el modelo de un reactor flujo pistón, donde la velocidad y la conversión varían en función a la longitud del reactor, la diferencia entre este modelo de contacto y el asumido para el biofiltro, es que debido a la cantidad de material soporte, la no disponibilidad de bombas de alta potencia para impulsar el fluido y la escasa disponibilidad de espacios de terreno para el tratamiento de las aguas residuales, la velocidad del fluido en el biofiltro es muy reducida en comparación a la del modelo planteado para flujo pistón.

Por ello, para determinar el número de deflectores que incrementen el tiempo de retención del fluido al interior del biofiltro, se toma como base el volumen del reactor, las relaciones para el diseño que fueron recomendadas en el trabajo realizado por E. Sullca, en lo que toca a las dimensiones entre el largo:ancho:alto del biofiltro y la relación ancho biofiltro:espaciado de los deflectores. Las relaciones recomendadas por la autora del trabajo de referencia son las siguientes:

largo:ancho:alto 2:1:0,5

ancho biofiltro:espaciado 2:1

Por ello si:

$$a_t = \text{ancho del biofiltro} = 0,475 \text{ m}$$

$$a_1 = \text{espaciado de los deflectores} = m$$

En base a la relación correspondiente entre ancho biofiltro:espaciado, tenemos que:

$$\frac{2}{1} = \frac{0.475}{a_1}$$

Entonces el espaciado del deflector es:

$$a_1 = 0,2375 \text{ m}$$

Por lo que el número de deflectores a utilizar está dado por:

$$N = \text{Número de deflectores} = \text{largo del biofiltro} / \text{espaciado entre deflectores}$$

$$l_t = \text{largo del biofiltro}$$

$$N = l_t / a_1 = 0,95 / 0,2375 = 4$$

Entonces el número de deflectores es:  $N = 4$

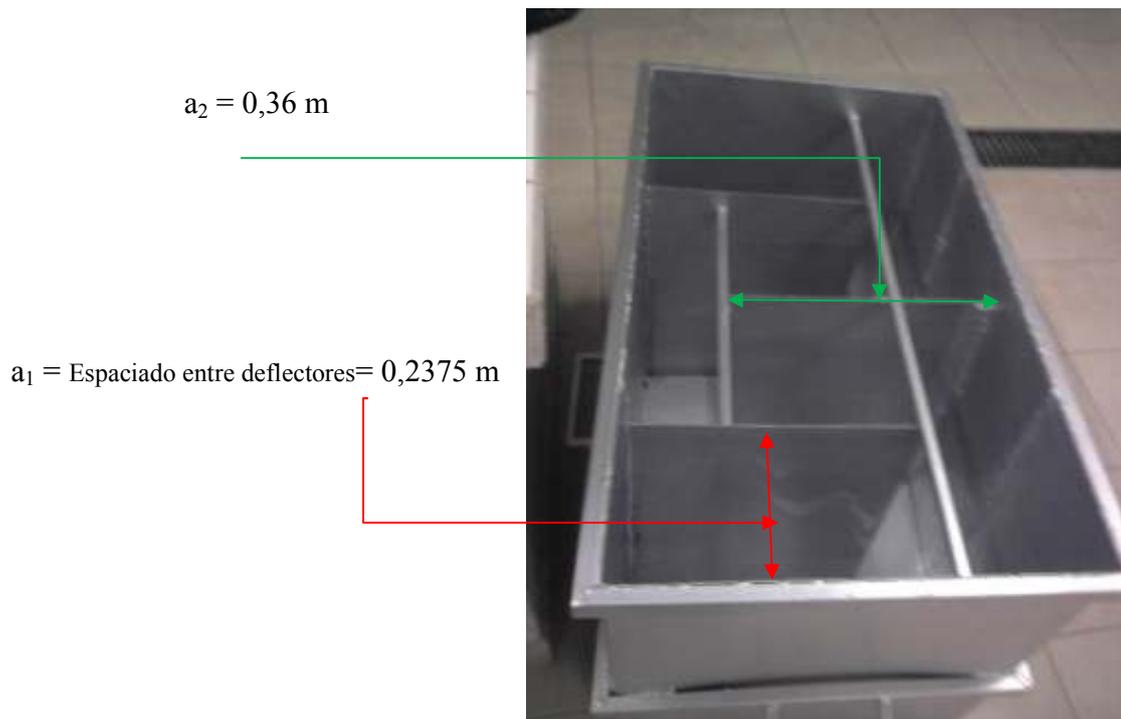
### **Calculo del Largo de los Deflectores: $a_2$**

Para garantizar un adecuado escurrimiento del fluido y evitar las zonas o espacios muertos, Jairo Romero en el libro Tratamiento de Aguas Residuales “Teoria y principios de diseño”, recomienda que el largo de los deflectores sea entre el 70 y 80% del ancho del biofiltro para garantizar una adecuada circulación del fluido al interior del biofiltro, por lo que para el trabajo se asume que el largo del deflector será de un 75% del ancho del biofiltro.

Por lo tanto el largo de los deflectores está dado por:

$$a_2 = 0,75 * a_t$$

$$a_2 = 0,75m * 0,475m = 0,356 \text{ m}$$



Fuente: Elaboración propia, 2012.

Cálculo de la velocidad de flujo  $v$ :

$$A = a_t * a_1 = 0,475\text{m} * 0,2375 \text{ m} = 0,1182 \text{ m}^2$$

$$v = Q / A = 0,00313 / 0,1182 = 0,026 \text{ m / h}$$

**TABLA II-3**  
**RESUMEN DE LOS CÁLCULOS DEL BIOFILTRO**

PARÁMETRO	SÍMBOLO	MEDIDA
Caudal	Q	0,00313 m <sup>3</sup> /h
Volumen total del biofiltro	V <sub>t</sub>	0.225 m <sup>3</sup>
Largo del biofiltro	l <sub>t</sub>	0.95 m
Ancho del biofiltro	a <sub>t</sub>	0.475 m
Altura del nivel de agua	h <sub>t</sub>	0.5 m
Altura total del biofiltro	h	0.6 m
Espaciado entre deflectores	a <sub>1</sub>	0.2375 m
Largo de los deflectores	a <sub>2</sub>	0.36 m
Número de deflectores	N	4
Velocidad del fluido	∅	0,026 m / h

Fuente: Elaboración propia, 2012.

**FOTO 2-4**

**Alimentación del Agua Residual al  
Biofiltro**



Fuente: Elaboración propia, 2012.

**FOTO 2-5**

**Salida del Agua Residual del Biofiltro**



**TABLA II-4**  
**COSTOS DEL BIOFILTRO EXPERIMENTAL**

<b>Detalle del Material</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unidad</b>	<b>Precio Unitario (Bs)</b>	<b>Precio Total (Bs)</b>
Planchas de 1,5 mm	3	Unidad	350	1050
Hierro de 15x20 mm	2	Barra	86	172
Pintura	2	Litros	40	80
Brea	1	Kg	25	25
Tiner	2	Litros	14	28
Tapón ½ IPS	3	Unidad	3	9
Llave de ½ IPS	2	Unidad	20	40
Niples ½ IPS	3	Unidad	9	27
Brida ½ IPS	3	Unidad	10	30
Sella Roscas	1	Unidad	12	12
Cinta Teflón	1	Unidad	15	15
Grava 7/8"	2	m <sup>3</sup>	105	210
Tanque de 60 l	2	Unidad	60	120
Tanque de 200 l	2	Unidad	200	400
Mangueras	2	m	6	12
Bombas de Oxígeno	2	Unidad	80	160
Cronómetro	1	Unidad	40	40
<b>TOTAL</b>				2430

Fuente: Elaboración propia, 2012.

## **2.4 Metodología de Investigación.**

Después de instalado el sistema de tratamiento se procede a la toma de muestras para la caracterización del agua residual. En los puntos definidos para el sistema de biofiltración se realiza semanalmente para poder ver cómo va el funcionamiento y así determinar la calidad del agua de salida.

### **2.4.1 Parte Experimental: Monitoreo y Toma de Muestras.**

La calidad de un agua se ha entendido por el conjunto de características físicas, químicas y biológicas que hacen que el agua sea apropiada para el uso determinado. Esta definición ha dado lugar a diversa normativa, que asegura la calidad suficiente para garantizar determinados usos, pero que no recoge los efectos y consecuencias que la actividad humana tiene sobre las aguas naturales. La incidencia humana sobre las aguas se ejerce fundamentalmente a través del vertido a sistemas naturales de efluentes residuales. Se hace por tanto necesario establecer los criterios de calidad que han de reunir las aguas residuales antes de ser evacuadas en un sistema receptor. (48)

Una muestra debe ser representativa si va a ser usada para estimar las características del agua residual. Los métodos para seleccionar una muestra representativa son numerosos, dependiendo del tiempo, dinero y habilidad disponibles para tomar una muestra.

FOTO 2-6

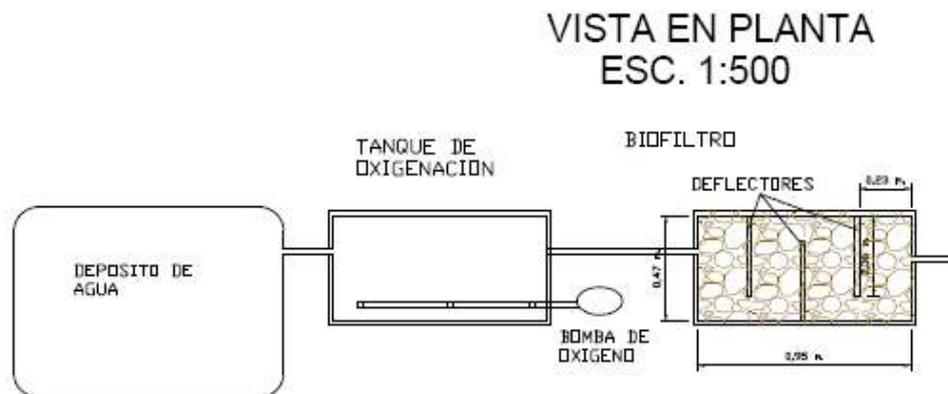
## MUESTREO DEL AGUA RESIDUAL



Fuente: Elaboración propia, 2012.

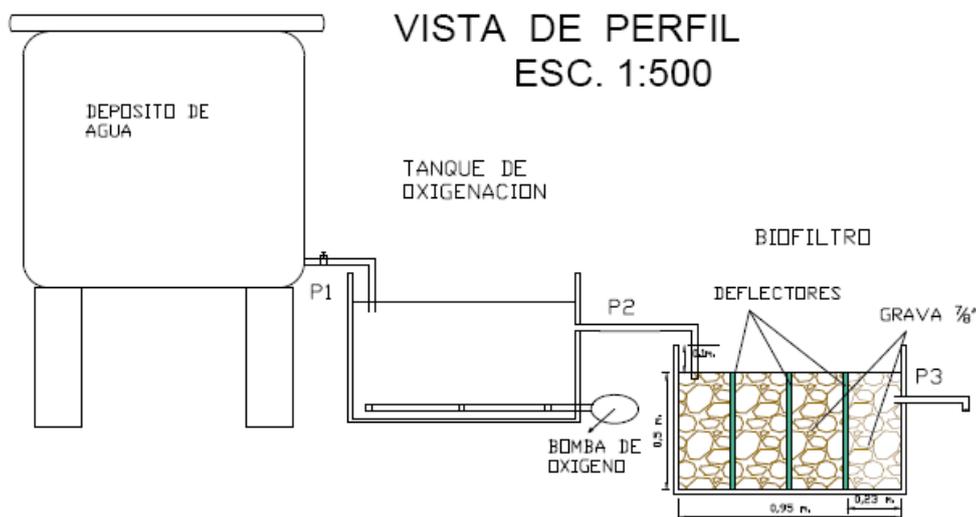
FIGURA 2-2

## SISTEMA EXPERIMENTAL VISTA EN PLANTA



Fuente: Elaboración propia, 2012.

**FIGURA 2-3**  
**SISTEMA EXPERIMENTAL VISTA DE PERFIL**



Fuente: Elaboración propia, 2012.

La muestra de agua residual debe ser lo más representativa posible del total del líquido a analizar. Se debe recoger en un recipiente perfectamente limpio y para su examen se recomienda la extracción de por lo menos 1,5l. En el sistema experimental, se toman las muestras a la entrada del tanque oxigenador en el punto P<sub>1</sub>, y a la salida del tanque oxigenador en el punto P<sub>2</sub> que a la vez es la entrada del biofiltro, y a la salida del biofiltro representado por el punto P<sub>3</sub>, para así determinar las rendimientos en cada paso del proceso y la calidad del agua y condiciones de uso del efluente.

## 2.5 BALANCE DE MATERIA

### BALANCE DE SOLIDOS SUSPENDIDOS:

Para el sistema el caudal de ingreso es  $Q=3,13$  l/h

VARIABLES	UNIDAD	P1	R2	P3	R4	P5
Sólidos suspendidos	l/h	5,45	2,45	3	1,41	1,59

Fuente: Elaboración propia, 2012.

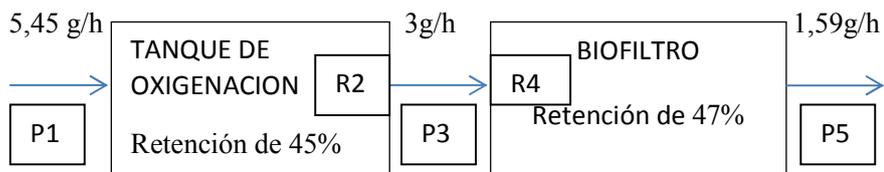
Datos:

Caudal total = 3,13 l/h

S.S= 1740,54 mg/l

Retención S.S<sub>1</sub>= 45 %

Retención S.S<sub>2</sub>=47 %

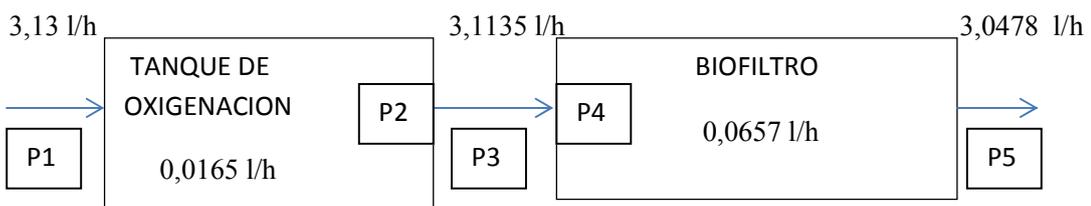


#### BALANCE DE AGUA:

Para el sistema:

$Q_T=3,13$  l/h

Evapotranspiración:  $E_v= 3,4943$  mm/día



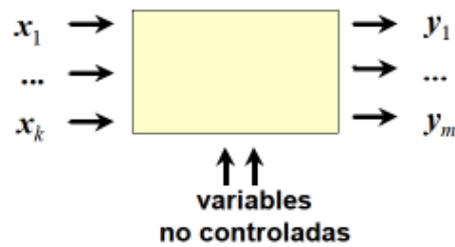
VARIABLES	UNIDAD	P1	P2	P3	R4	P5
Caudal de agua Q	l/h	3,13	0,0165	3.1135	0,0657	3,0478

Fuente: Elaboración propia, 2012.

## 2.6 Diseño Experimental

Las situaciones en las que se puede aplicar el Diseño Experimental son muy numerosas. De forma general, se aplica a sistemas como el mostrado en la Figura 2-2, en los cuales se observan una o más variables experimentales *dependientes*  $y$  llamadas *respuestas* cuyo valor depende de los valores de una o más variables *independientes*  $x$  controlables llamadas *factores*. Las respuestas además pueden estar influidas por otras variables que no son controlables por el experimentador. La relación entre  $x$  e  $y$  no tiene porqué ser conocida.

**FIGURA 2-3**  
**SISTEMA DEL DISEÑO FACTORIAL**



Representación de un sistema en estudio de diseño experimental: factores  $x$ , respuestas  $y$ .

Para el caso del sistema experimental tenemos:

Un sistema de tratamiento para la degradación de la materia orgánica contenida en las aguas residuales de la bodega del CENAVIT, cuyo caudal de agua  $x_1$  y caudal de aire  $x_2$  pueden condicionar otras variables, entre otras, como  $\text{DBO}_5$   $y_1$ , oxígeno disuelto  $y_2$ , y sólidos suspendidos  $y_3$ .

## 2.6.1 Elección del Diseño Experimental

Es frecuente realizar la experimentación en diversas etapas secuencialmente. En cada etapa, las series de experimentos se agrupan en *diseños* denominados *matrices de experimentos*.

La selección de una matriz u otra depende del objetivo de cada etapa, y de otras características. A continuación se identifican distintos objetivos y del tipo de diseño que se pueden aplicar a este caso.

### 2.6.1.1 Estudio de los Factores.

Una vez identificado los factores más importantes, el siguiente paso es el estudiar cuantitativamente su efecto sobre la respuesta y sus interacciones. Para este propósito se pueden utilizar los diseños *factoriales completos* a dos niveles  $2^k$ .

Un objetivo de la investigación suele ser la optimización de una o varias respuestas en un producto o proceso. Es decir, conocer qué valores de los factores proporcionan respuestas (caudal de alimentación, oxigenación, etc.) con la calidad deseada. Estos se pueden conocer calculando un modelo matemático que relaciona los factores más relevantes  $x$  con las respuestas  $y$ .

## 2.6.2 Pasos para realizar el Diseño Factorial

El diseño factorial comprende los siguientes pasos:

- Elección de las variables objeto de estudio.
- Elección de las respuestas a medir.
- Elección del intervalo de valores para dichas variables.

- Planificación de experimentos.
- Realización de experimentos y recolección de datos.
- Análisis de los datos experimentales.

#### **2.6.2.1 Elección de las Variables a Medir: Respuestas**

La variable respuesta más adecuada a medir es el cantidad de materia orgánica  $DBO_5$ , medida como el número de miligramos/litro necesarios de  $DBO_5$  que es la cantidad de oxígeno disuelto requerido por los microorganismos para la oxidación aerobia de la materia orgánica biodegradable presente en el agua.

#### **2.6.2.2 Elección de las Variables de Operación: Factores**

Las variables identificadas y seleccionadas para este proceso son las siguientes:

- Caudal del agua residual
- Caudal de aire

#### **2.6.2.3 Elección de los intervalos de operación para cada una de las variables de operación: niveles**

Según las variables que influyen en el proceso son el caudal del agua residual, caudal de aire se tomó los intervalos de operación más convenientes, los mismos que son seleccionados teniendo en cuenta los datos recopilados. Los intervalos de operación propuestos son los que se muestran a continuación:

#### **Caudal del Agua Residual**

De acuerdo al diseño experimental el caudal es una de las variables independientes que debe variar en dos niveles uno superior y otro inferior. Por ello se fija un límite superior en 3,13 l/h para un tiempo de retención de 72 h., y límite inferior de 2,35 l/h., para un tiempo de retención de 96 h.

Para que el sistema trabaje en un estado estacionario y no se genere un desbalance de caudales entre los puntos de control del sistema, se realiza la regulación del caudal entre los distintos puntos del proceso, midiendo el caudal en cada válvula con una abertura determinada, para lo cual se emplea una probeta y un cronómetro que nos indica el caudal de agua residual a la salida de cada válvula. Este proceso se realizaba periódicamente para garantizar que la operación se verificaba de acuerdo a los parámetros establecidos.

### **Caudal de aire**

El límite inferior se ha fijado y se incrementó a un caudal mayor. En este caso el caudal de aire se mide de manera experimental haciendo uso de un recipiente lleno de agua, en el cual se vuelca una probeta con un volumen conocido de agua, introduciendo el aire a través de los difusores, de manera que en la medida que ingresa, va desplazando un volumen de agua en un tiempo determinado, de manera que se registra volumen de agua desplazada por el aire en un tiempo determinado, por lo que se tiene el caudal de aire que aporta el compresor.

El límite mayor del caudal de aire está fijado para un caudal de 180 l/h, mientras que el límite menor se ha establecido en 90 l/h.

Un detalle gráfico de las mediciones realizadas para determinar el caudal, se muestra en el ANEXO N° 3

### 2.6.3 Construcción de un diseño factorial completo $2^k$

Por su sencillez, una matriz de experimentos factorial completa  $2^k$ , debe diseñarse de acuerdo a los requerimientos de entrada de variables que requiere el software especializado para discriminar y recategorizar las variables experimentales, como es el SPSS.

De acuerdo a Montgomery (1991), el diseño experimental, es una técnica que tiene como objetivo definir una serie de pruebas en las cuales existen cambios deliberados en las variables de entrada de un proceso o sistema, de tal manera que sea posible observar e identificar las causas de los cambios que se producen en la respuesta de salida, de tal modo que el investigador obtenga estimaciones con la mayor precisión posible (50).

Para la determinación de la superficie de respuesta se pretende estimar la función:

$$Y = f(x_1, \dots, x_n)$$

Para ello se utiliza el desarrollo de Taylor de tal función:

$$Y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_{11} x_1^2 + b_{22} x_2^2 + b_{12} x_1 x_2 + \dots$$

Para poder determinar las variables significativas en el presente trabajo experimental se plantea un diseño factorial de 2 niveles y 2 variables o parámetros con 2 repeticiones.

Para el diseño experimental, cada factor se estudia a sólo dos niveles y sus experimentos contemplan todas las combinaciones de cada nivel de un factor con todos los niveles de los otros factores. Muestra las matrices  $2^2$ ,  $2^3$  y  $2^4$ , para el estudio de 2, 3 y 4 factores respectivamente. La matriz comprende  $2^k$  filas ( $2 \times 2 \times 2 = 2^k$  experimentos) y  $k$  columnas, que corresponden a las  $k$  variables en estudio.

Para el caso del diseño experimental que nos toca:

$2^2 = 4$  filas y 2 columnas

Se asumen que las variables controlables o factores para el ensayo experimental son:

**Factores:**

Q = Caudal del agua residual (l/h)

$\vartheta_a$  = Caudal de aire (l/h)

A continuación en la tabla se muestran las variables o parámetros elegidos para el proceso seleccionado.

<b>Factores</b>	<b>Inferior (-1)</b>	<b>Superior(+)</b>
Q = Caudal del agua residual (l/h)	2,35	3,13
$\vartheta_a$ = Caudal de aire (l/h).	90	180

Fuente: Elaboración propia.

**2.6.3.1 Dominio Experimental ó Matriz de diseño**

Exp.	Q (l/h)	$\vartheta_a$ (l/h)
1.-	-	-
2.-	+	-
3.-	-	+
4.-	+	+

Posteriormente se elabora el plan de experimentación que se obtiene al reemplazar los valores – y + por los valores de las variables reales que se desarrolla.

– = Valor Bajo; Límite inferior

+ = Valor Alto; Límite superior

Tomando estos datos como punto de partida se realiza un diseño factorial de  $2^2$  (dos niveles, dos variables).

$$\text{N}^\circ \text{ variables} = 2$$

$$\text{Niveles} = 2$$

$$\text{N}^\circ \text{ de experimentos} = 2^2 = 4$$

Como se harán 2 repeticiones entonces:

$$\text{N}^\circ \text{ de experimentos} = 4 * 2 = 8 \text{ experimentos}$$

Considerando las combinaciones de estas variables se determina cuál de ellas es la más significativa cuando se toma el rendimiento como variable respuesta.

Se puede observar el diseño factorial resultante (Anexo 2).

La matriz de diseño para el estudio se concreta sustituyendo los valores +1 y -1 de las variables codificadas por los valores de las variables reales. Así se obtiene el plan de experimentación que comprende de forma estructurada y comprensible la lista de experimentos a realizar como se muestra a continuación en la tabla.

Dónde:

Resp 1= Respuesta uno

Resp 2= Respuesta dos

Nº= Número de ensayos

### **Plan de experimentación de los factores en estudio**

N° Exp.	Factores		Variables de respuestas				
	Q (l/h)	Va (l/h)	DBO5 (mg/l)	OD (mg/l)	pH	Sólidos Sedimentables (ml/l)	Sólidos Suspendidos (mg/l)
1.-	2,35	90	R <sub>1</sub>	R <sub>1</sub>	R <sub>1</sub>	R <sub>1</sub>	R <sub>1</sub>
2.-	3,13	90	R <sub>2</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>2</sub>
3.-	2,35	180	R <sub>3</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>3</sub>
4.-	3,13	180	R <sub>4</sub>	R <sub>4</sub>	R <sub>4</sub>	R <sub>4</sub>	R <sub>4</sub>
5.-	2,35	90	R <sub>5</sub>	R <sub>5</sub>	R <sub>5</sub>	R <sub>5</sub>	R <sub>5</sub>
6.-	3,13	90	R <sub>6</sub>	R <sub>6</sub>	R <sub>6</sub>	R <sub>6</sub>	R <sub>6</sub>
7.-	2,35	180	R <sub>7</sub>	R <sub>7</sub>	R <sub>7</sub>	R <sub>7</sub>	R <sub>7</sub>
8.-	3,13	180	R <sub>8</sub>	R <sub>8</sub>	R <sub>8</sub>	R <sub>8</sub>	R <sub>8</sub>

Fuente: Elaboración propia, 2012.

DISEÑO FACTORIAL							
M <sub>1</sub> TANQUE DE SEDIMENTACION							
Exp.	Q (l/h)	Va (l/h)	DBO <sub>5</sub> (mg/l)	Oxígeno Disuelto (mg/l)	pH	Sólidos Sedimentables (ml/l)	Sólidos Suspendidos (mg/l)
1.-	-1	-1	3220	0,42	3,57	1	8649
2.-	1	-1	1058	0,67	3,5	0,1	1680
3.-	-1	1	1896	0,14	5,97	8,7	350
4.-	1	1	2202	0,11	6,69	0,1	60
5.-	-1	-1	2744	0,07	3,58	26	930
6.-	1	-1	2550	0,29	3,69	0,4	376
7.-	-1	1					
8.-	1	1					

Fuente: Elaboración propia, 2012.

M<sub>2</sub> TANQUE DE OXIGENACION

Exp.	Q (l/h)	Va (l/h)	DBO <sub>5</sub> (mg/l)	Oxígeno Disuelto (mg/l)	pH	Sólidos Sedimentables (ml/l)	Sólidos Suspendidos (mg/l)
1.-	-1	-1	2200	0,17	3,59	1,4	5645
2.-	1	-1	940	2,65	3,48	0,5	1660
3.-	-1	1	1699	7,02	7,08	< 0,1	96
4.-	1	1	1134	6,26	6,15	0,3	54
5.-	-1	-1	1156	0,05	3,63	0,4	1920
6.-	1	-1	2490	0,27	3,5	< 0,1	228
7.-	-1	1	1842	6,91	6,52	1,4	92
8.-	1	1	2091	6,24	6,85	8	316

Fuente: Elaboración propia, 2012.

M <sub>3</sub> SALIDA DEL BIOFILTRO							
Exp.	Q (l/h)	Va (l/h)	DOB <sub>5</sub> (mg/l)	Oxígeno Disuelto (mg/l)	pH	Sólidos Sedimentables (ml/l)	Sólidos Suspendidos (mg/l)
1.-	-1	-1	1384	0,14	3,62	0,1	1018
2.-	1	-1	214	0,18	3,86	<0,1	55
3.-	-1	1	1160	0,2	5,12	0,2	70
4.-	1	1	850	0,71	4,92	0,1	40
5.-	-1	-1	1156	0,2	3,76	< 0,1	525
6.-	1	-1	1500	0,16	3,82	< 0,1	110
7.-	-1	1	1515	0,22	4,49	< 0,1	48
8.-	1	1	1737	0,46	4,13	< 0,1	68

Fuente: Elaboración propia, 2012.

El análisis estadístico de los resultados se realizó aplicando el software SPSS y se muestran en el ANEXO N° 2.

### **Ensayos adicionales**

Como resultado de los estudios realizados en la investigación, se va conociendo el comportamiento de las aguas residuales respecto al tratamiento aplicado, por lo que se desarrollan algunas experiencias adicionales para analizar la respuesta a nuevos estímulos y condiciones de trabajo, lo cuales sirven para validar los resultados alcanzados y tener un mejor conocimiento del proceso y las condiciones de operación del sistema. (Ver anexo N°5)

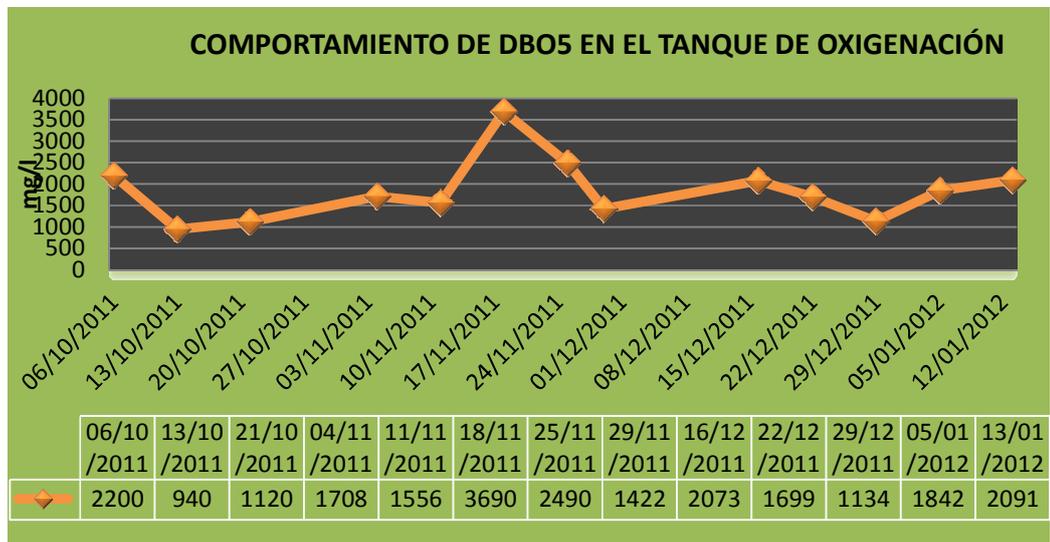
## **CAPÍTULO III**

### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

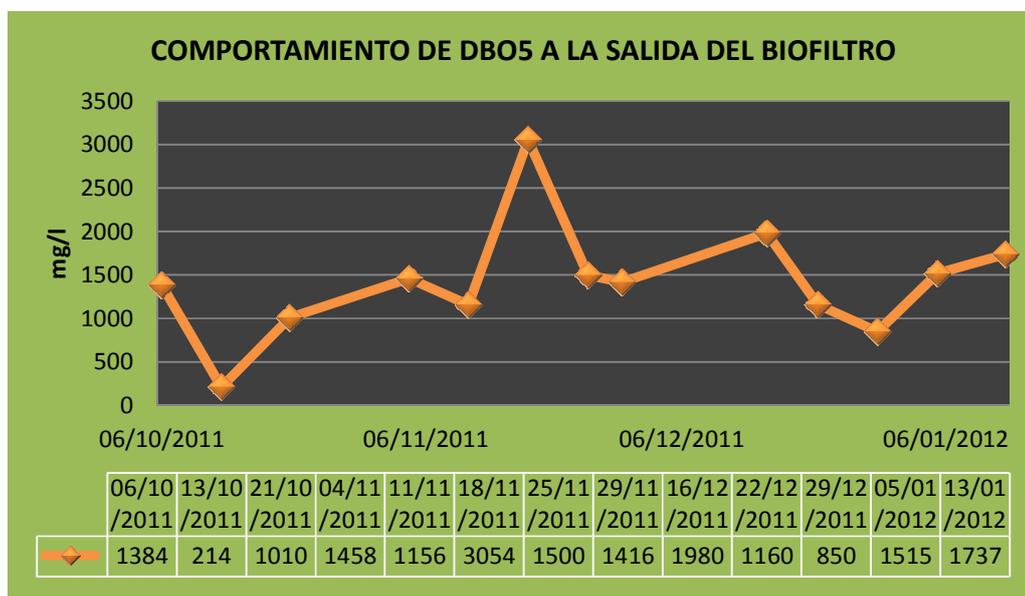
**GRÁFICA 3-1.- COMPORTAMIENTO DE LA DBO<sub>5</sub> EN EL SISTEMA**



Fuente: Elaboración propia, 2012.



Fuente: Elaboración propia, 2012.

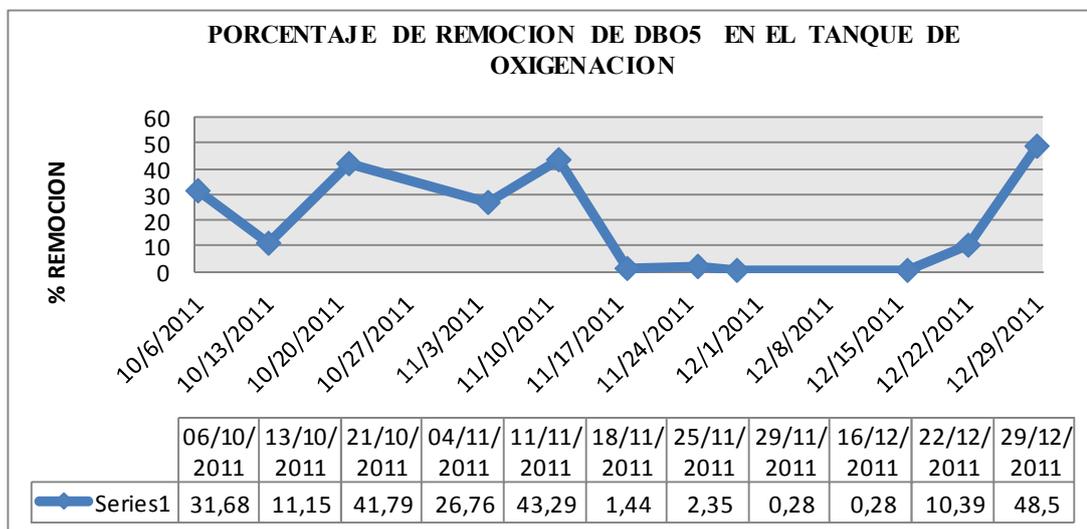


Fuente: Elaboración propia, 2012.

### 3.1 COMPORTAMIENTO DE LA DBO<sub>5</sub>

Como puede observarse en la gráfica 3-1, la variabilidad en la DBO<sub>5</sub> en las aguas residuales que ingresan del sistema que están almacenadas en el tanque de sedimentación es bastante amplia entre 1.000 y cerca de 4.000 mgO<sub>2</sub>/l, lo cual depende del período de producción y de las principales operaciones que se están verificando en la bodega. Posteriormente cuando las aguas residuales ingresan en el tanque de oxigenación, observamos que la DBO<sub>5</sub> sigue un comportamiento similar al del tanque de sedimentación. Este equipo contribuye con una pequeña reducción de la DBO<sub>5</sub> que está en el orden de una media del 20% tal como se muestra en la gráfica 3-2, esta reducción se da como consecuencia de la degradación de la materia orgánica debida a las reacciones de oxidación y la acción de los microorganismos, lo cual es un aporte al proceso general de reducción de la DBO<sub>5</sub> y que continúa en el biofiltro.

GRÁFICA 3-2

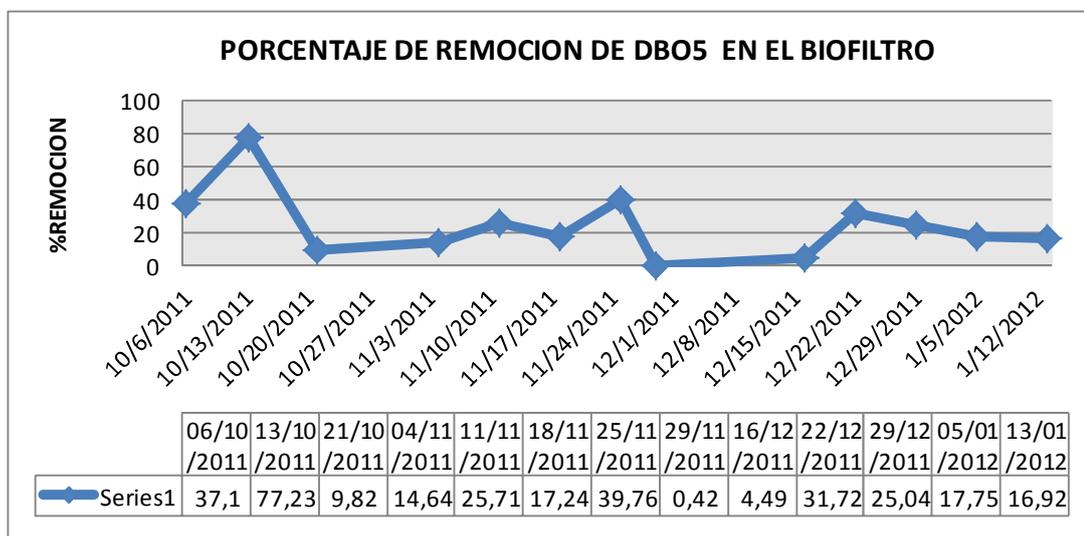


Fuente: Elaboración propia, 2012.

Analizando el comportamiento de la curva de remoción de DBO<sub>5</sub> a la salida del biofiltro, observamos que la curva tiene la misma tendencia que en los anteriores pasos, lo cual coincide con el aporte individual en la reducción de la DBO<sub>5</sub>, tanto por el tanque de oxigenación como por el biofiltro, el cual es el que contribuye en mayor medida a la reducción de la carga contaminante que incorpora la DBO<sub>5</sub>, con un promedio aproximado de 25 a 30%, tal como se muestra en el gráfico 3-3.

Es importante remarcar que existe una variación en la remoción de la DBO<sub>5</sub> en el tanque de oxigenación y en el biofiltro, eso puede producirse en la fase inicial, el acondicionamiento y posteriormente a que el sistema se estabiliza con el desarrollo de la micropelícula microbiana que se forma alrededor de la grava.

GRÁFICA 3-3



Fuente: Elaboración propia, 2012.

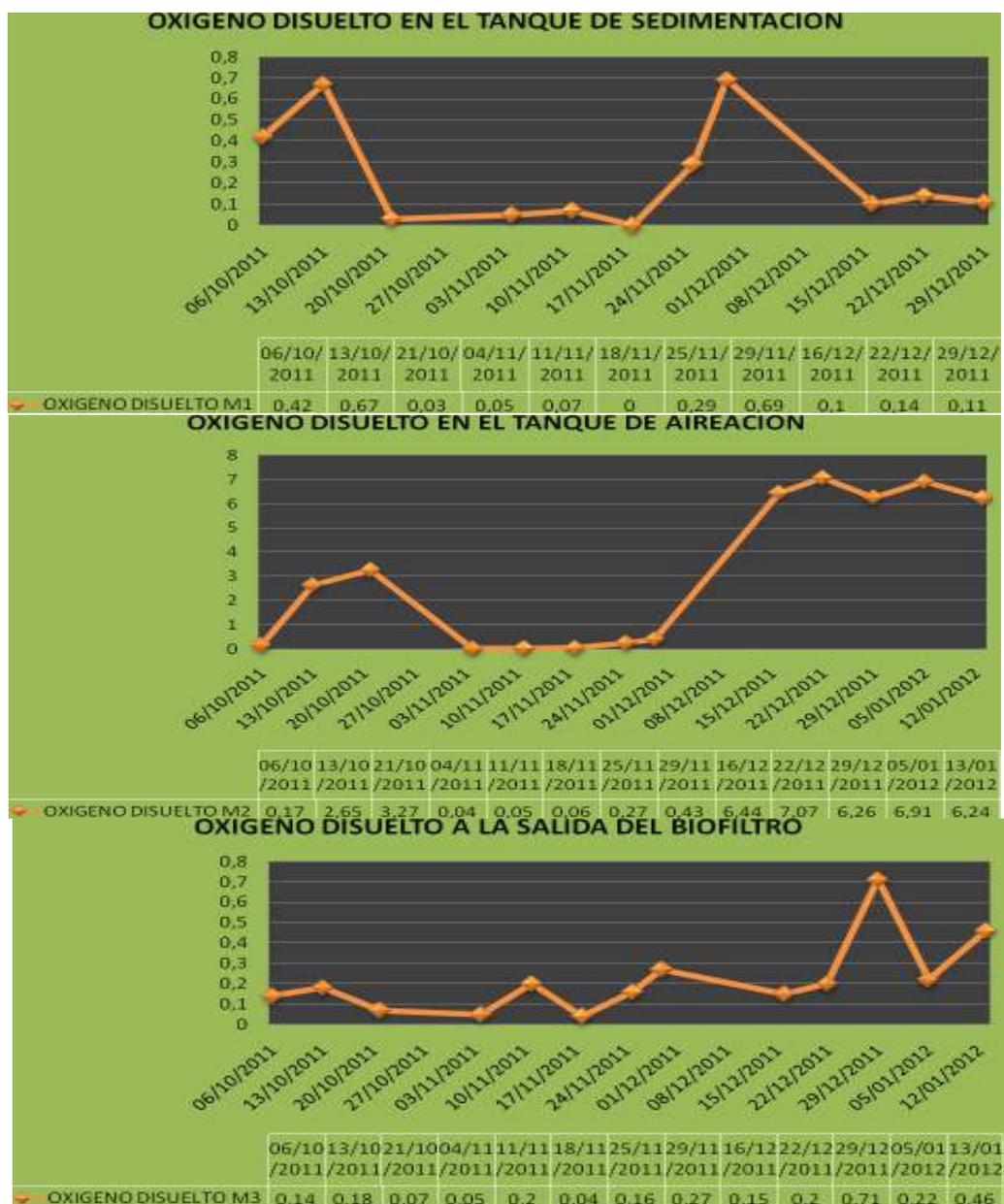
El proceso general de remoción de la DBO<sub>5</sub> en el sistema instalado, alcanza un promedio del 45%, rendimiento que si bien no es el esperado si lo comparamos cuando se alimenta al sistema aguas residuales domiciliarias, es también cierto que el tratamiento de las aguas residuales de las bodegas incorpora mayores complicaciones, debido a factores que inicialmente no se contemplan como lo son el pH ácido, alta concentración de DQO, bastantes sólidos en suspensión y la variabilidad en la composición y cantidad de efluente que se dispone para realizar el tratamiento. Por ello, para incrementar el rendimiento del biofiltro se prevé que sería conveniente realizar la oxigenación a la entrada del biofiltro.

### 3.2 VARIACIÓN DE LA CANTIDAD DE OXÍGENO DISUELTO

La variación del oxígeno disuelto en el sistema, se muestra en la gráfica 3- 4

GRÁFICA 3-4

## VARIACIÓN DE LA CANTIDAD DE OXÍGENO DISUELTO



Fuente: Elaboración propia, 2012.

Otro indicador importante es la variación del oxígeno disuelto, por cuanto de las cantidades en que se encuentre en las aguas residuales, el proceso de depuración será aerobio o anaerobio.

El oxígeno disuelto es el factor que determina el tipo de transformación biológica que tiene lugar al producirse un vertimiento de aguas residuales en un cuerpo de agua receptor, ya que se determina el tipo de microorganismo que se desarrolla, aerobio o anaerobio, previene o reduce el inicio de la putrefacción y la producción de cantidades objetables de sulfuros, mercaptanos y otros compuestos que generan malos olores, puesto que los microorganismos aerobios usan el oxígeno disuelto para la oxidación de la materia orgánica e inorgánica, produciendo sustancias finales inofensivas, tales como el  $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2\text{O}$ .

La cantidad de oxígeno disuelto con la que llegan las aguas residuales de bodega es mínima, tal que bordean alrededor de 0,1 mg/l, teniendo picos que alcanzan el 0,7 mg/l, lo cual si consideramos que el límite inferior para tener un agua de calidad es de 4 mg/l, las aguas residuales de bodegas considerando este parámetro son de mala calidad.

Debido a la baja cantidad de oxígeno disuelto que llevan estas aguas residuales, es muy difícil que se verifiquen los procesos de reacciones aerobias, teniendo mayores posibilidades que se verifiquen procesos anaerobios con microorganismos que se adapten a condiciones de elevada acidéz.

Una vez que se detecto el problema de falta de oxígeno para favorecer un proceso aerobio, es que se incorporó un recipiente para oxigenar el agua residual e inducir las reacciones aerobias para degradar la materia orgánica. Esto en consecuencia con el objetivo de disponer un efluente que al cumplir con la normativa ambiental, tenga la suficiente cantidad de oxígeno para ser vertida al ambiente o ser utilizada por los cultivos que están aguas debajo de las bodegas.

La incorporación de oxígeno por burbujeo en el tanque de oxigenación, alcanza las previsiones iniciales, por cuanto la cantidad de oxígeno disuelto en este punto tiene

una media de 6 mg/l, valor que se alcanzó por la incorporación de aire a través de un difusor diseñado para oxigenar agua en peceras. De acuerdo al cálculo realizado para determinar el tiempo de retención de una burbuja de aire para que sea disuelta en agua, este tiempo de retención alcanza a 5,68 seg.; relacionado este con el valor estimado en referencias bibliográficas reportada por Eliane Guevara López en su trabajo de Tesis titulado “Diseño, construcción y Caracterización Hidrodinámica de un Bioreactor multifuncional”, Universidad Tecnológica de la Mixteca, 2004, reporta que la velocidad de ascensión de una burbuja de aire en medio acuoso es de 0,1 m/seg, por lo que la altura calculada que debe tener el tanque para que se disuelva el oxígeno es de 56,8 cm.

Al tenerse una cantidad media de oxígeno disuelto de 6 mg/l que ingresa y de 0,35 mg/l a la salida del biofiltro, se observa que el proceso de biodegradación aerobia es importante en el biofiltro, por cuanto se consume una gran cantidad de este en la biodegradación de la materia orgánica, pero aún queda en el agua tratada a la salida del biofiltro una cantidad de oxígeno que supera al que llega proveniente de las bodegas. Este hecho, asociado a que se remueven cantidades de sólidos suspendidos y a la disminución del pH, nos muestra que se cumplen con las previsiones de rendimiento, pero que si se profundiza el estudio podrían alcanzarse mejores rendimientos. Es así que para una mejor distribución del aire se está proponiendo que la oxigenación sea parte de la zona de distribución del agua residual en el biofiltro.

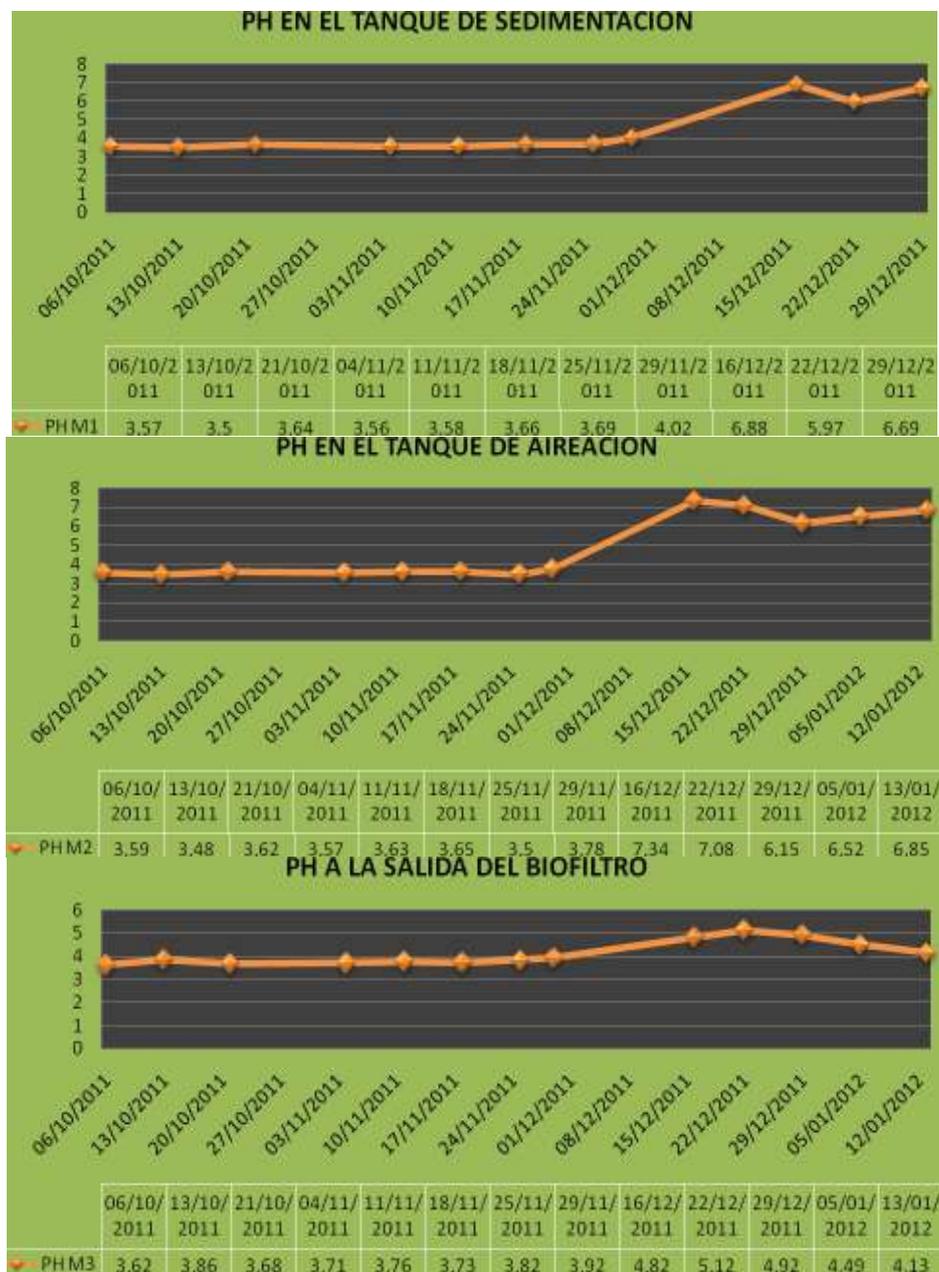
### **3.3 VARIACIÓN DEL pH EN EL SISTEMA**

El pH al medir la concentración de iones de hidrógeno, utilizada para evaluar la acidez o alcalinidad de las aguas residuales con las que se trabaja. Este parámetro medido en las aguas residuales que llegan de la bodega del CENAVIT, es el que se mantiene con mayor regularidad en un valor casi constante de 4.

Si relacionamos la variación del pH con el porcentaje de remoción de la DBO<sub>5</sub>, en el momento de realizar los ensayos desde el inicio de ensayos a principios del mes de octubre hasta la primera semana de diciembre de 2011, se tiene un pH de 4, y se observa una disminución en la remoción de la DBO<sub>5</sub> hasta un valor 0,42 mg/l, lo cual lleva una preocupación al desarrollo del proceso de investigación en lo que toca a la remoción de la DBO<sub>5</sub>, lo que según la bibliografía consultada, en este nivel de pH igual a 4, se tiene una acidez que indica la presencia de cationes flavilio a través de la coloración que le otorgan a las aguas residuales, por lo que a objeto de mejorar la remoción del la DBO<sub>5</sub>, se emplea NaOH para estabilizar el pH en 7, que al cambiar la acidez desplazan los antocianatos presentes hacia la forma de quinona, que se manifiestan con una coloración azul en las aguas residuales.

En procesos de tratamiento de las aguas residuales de la bodega a través del biofiltro, que es conceptuado como un proceso biológico, el pH influye en el crecimiento de los microorganismos responsables del proceso, de aquí que este deba mantenerse dentro de ciertos límites, tal como se explica, para que la depuración de las aguas se realice dentro del marco de rendimiento esperado. Por otra parte, la alteración del pH en un ecosistema acuático puede cambiar la flora y la fauna presente en éste, pudiendo ser la causa de la muerte de los peces, entre otros daños.

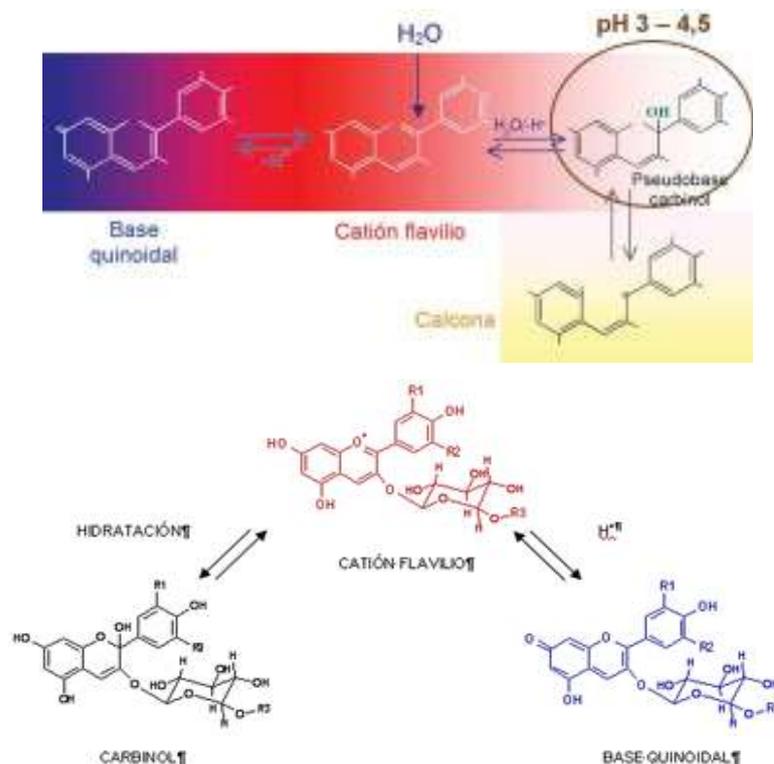
**GRÁFICA 3-5**  
**VARIACIÓN DEL pH**



Fuente: Elaboración propia, 2012.

La presencia del carbinol en sus formas estables que dependen de la variación del pH, se muestran a continuación en la Figura 3-1:

**FIGURA 3-1**  
**VARIACIÓN DEL COLOR DE LAS AGUAS RESIDUALES**



Fuente: Peña Alvaro, 2006.(51)

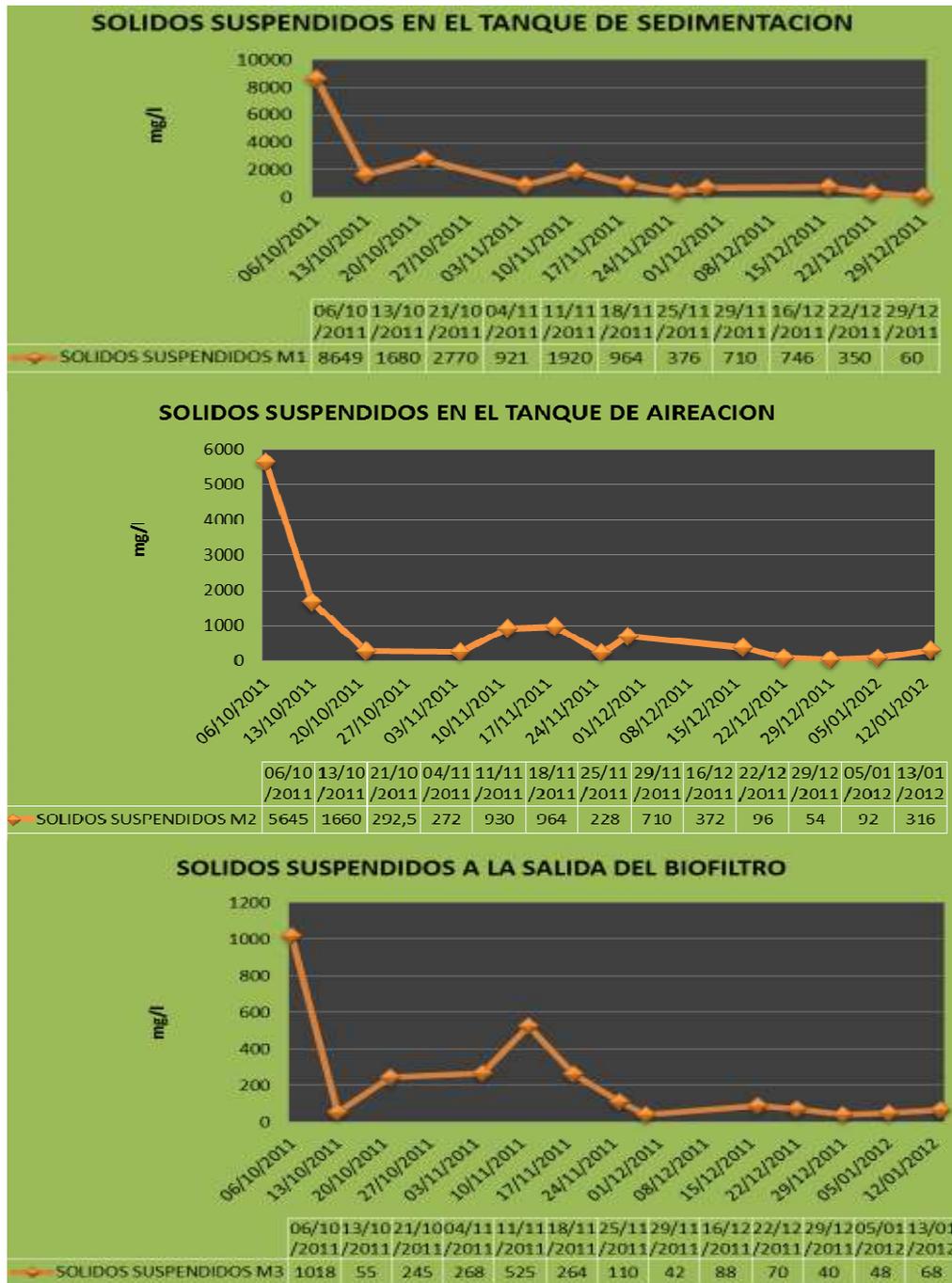
Al observarse una reducción de la  $DBO_5$ , se atribuye a la posible destrucción de la flora microbiana en el biofiltro, debido a la excesiva acidez con la que se trabaja entre 3,5 y 4, razón por la cual se usó NaOH, que es el reactivo disponible en las bodegas cuando se realiza la limpieza de los envases y equipos, cuando se estabiliza a un pH de 7, y se observó inmediatamente el viraje de coloración roja a azulada que indica la presencia de la base quinoidal.

La respuesta en la remoción de la  $DBO_5$  a la variación del pH, es que a mediados del mes de diciembre se incrementa el porcentaje de remoción hasta alcanzar un 40% y luego se estabiliza un 25% en el biofiltro, lo cual puede indicar la regeneración de la película microbiana alrededor de la grava.

### 3.4 VARIACIÓN DE LOS SÓLIDOS SUSPENDIDOS EN EL SISTEMA

La variación de los sólidos suspendidos en el sistema se muestran en la gráfica 3-6.

**GRÁFICA 3-6 VARIACIÓN DE LOS SÓLIDOS SUSPENDIDOS**

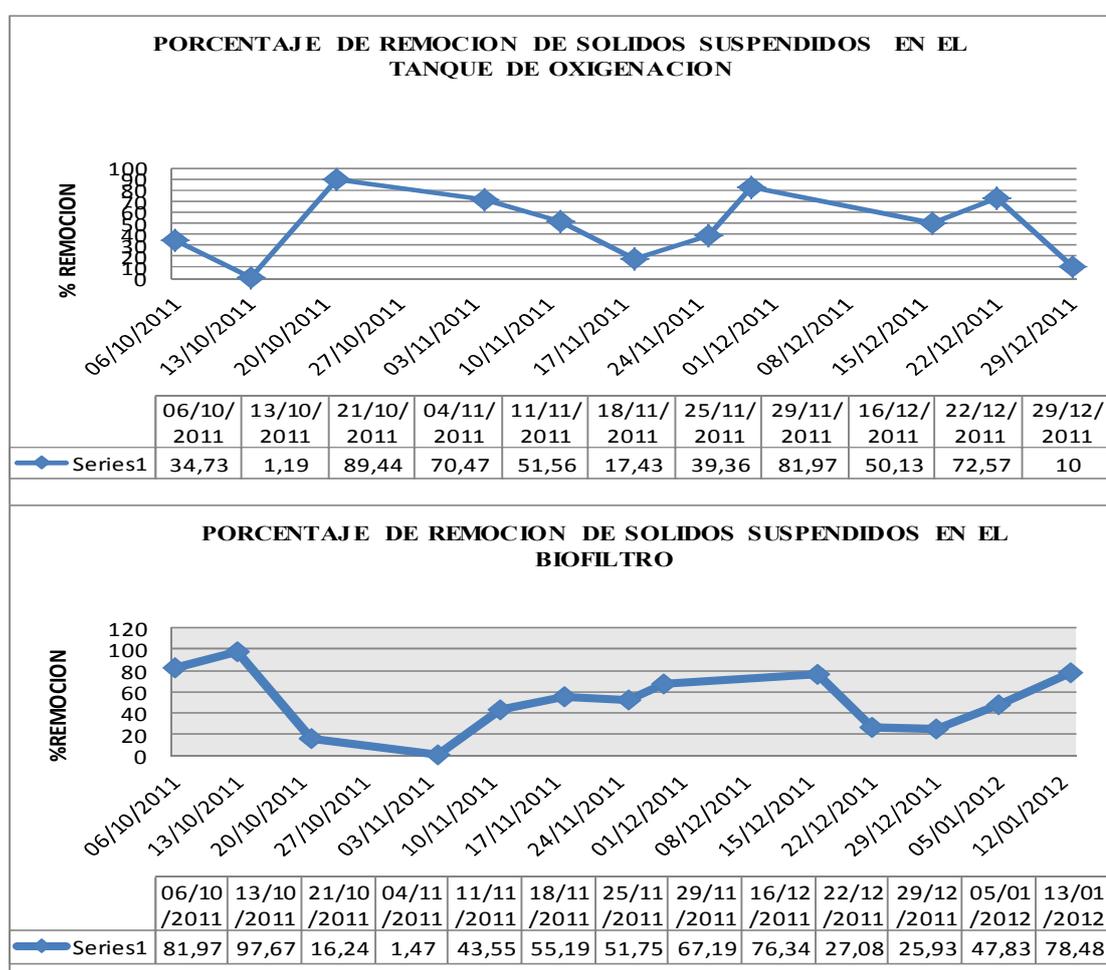


Fuente: Elaboración propia, 2012.

Los sólidos suspendidos son aquellas partículas que se mantienen suspendidas en el agua debido a su naturaleza coloidal, estos sólidos no sedimentan por gravedad cuando el agua está en reposo y de su cantidad depende la turbidez del agua. Se encuentran en el agua, sin estar disueltos en ella y pueden ser sedimentables o no.

La eficiencia del sistema para remover las cantidades de sólidos suspendidos está mostrada y calculada en las siguientes gráficas.

**GRÁFICA 3-7 REMOCIÓN DE SÓLIDOS SUSPENDIDOS**



Fuente: Elaboración propia, 2012.

La evaluación de los sólidos suspendidos es uno de los parámetros para valorar la concentración de las aguas residuales domésticas y para determinar la eficiencia de las unidades de tratamiento. Dentro del proceso que se implementó, la sedimentación ocurre a través de la floculación biológica y química debido a los microorganismos presentes que hacen que los sólidos floquen y sedimenten en el biofiltro.

La eficiencia que se alcanza en el biofiltro está cerca del 47% de remoción que sumado al 45% que se remueve en el tanque de oxigenación, el sistema alcanza una remoción cercana al 92%, lo cual está demostrado en las muestras de agua tratada que sale del Biofiltro que al haberse removido esa cantidad de sólidos, son claras y no tienen mal olor. Esto muestra la gran eficiencia del sistema respecto a este parámetro, por lo que estas aguas al ser vertidas en aguas superficiales no disminuyen su calidad y pueden ser aprovechadas para fines de riego, por cuanto los cultivos pueden aprovechar eficientemente la carga orgánica que llevan asociadas.

Dentro del proceso de investigación, también se analizó el parámetro de los sólidos sedimentables, los cuales están formados por partículas de distintos tamaños que son más densas que el agua y se mantienen dispersas en ella debido a la fuerza de arrastre causada por el movimiento o turbulencia de la misma. Al tenerse una velocidad de circulación baja en el sistema de depuración, la cantidad de sólidos sedimentables fueron separados inicialmente en el tanque de sedimentación debido a que sedimentan rápidamente cuando el agua está en reposo, por lo que los datos se muestran en el anexo respectivo alcanzándose una remoción cercana al 98%.

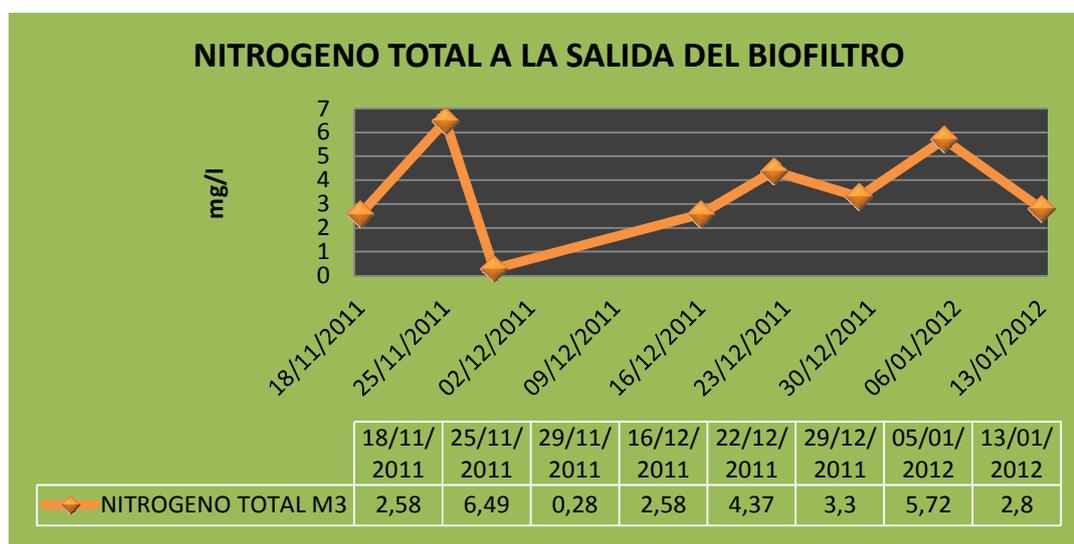
### **3.5 VARIACIÓN DEL NITRÓGENO TOTAL EN EL SISTEMA**

Los aportes adicionales de nutrientes, como el nitrógeno, a las aguas residuales que proceden de las bodegas, pueden estar relacionadas al uso creciente de fertilizantes y pesticidas en la agricultura de la región, por cuanto se alcanzan valores superiores a

los establecidos en la norma ambiental que especifica que debe ser de 12 mg/l. La variación de nitrógeno total en el sistema la mostramos en el siguiente gráfico.

**GRÁFICA 3-8**

**VARIACIÓN DEL NITRÓGENO TOTAL EN EL SISTEMA**



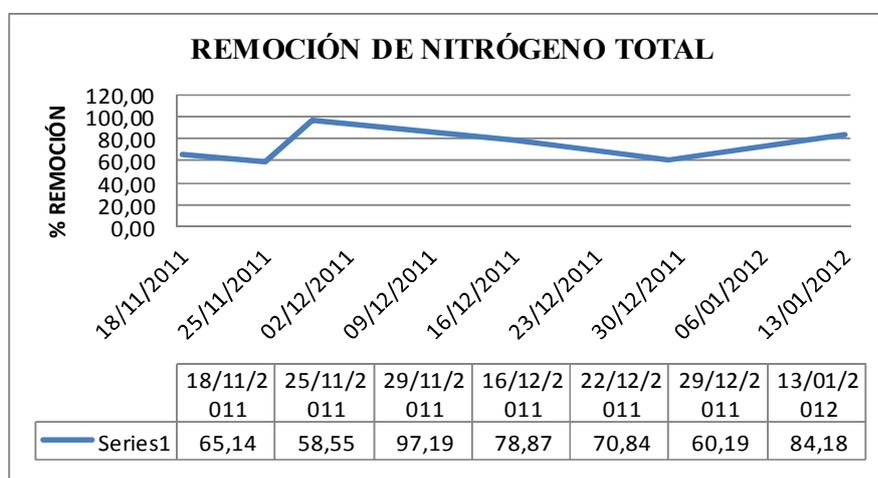
Fuente: Elaboración propia.

El ingreso de nitrógeno al sistema tienen valores que alcanzan 17,7 mg/l, y una media de 9 mg/l, lo cual puede deberse a la diferente procedencia de la materia prima y a lo variado de la práctica del uso de agroquímicos en el área rural y las prácticas agrícolas que son tradicionales en cada zona.

El problema que se presenta ante una elevada presencia de nitrógeno, radica en que al existir un exceso de nutrientes, las plantas y otros organismos crecen en abundancia. Cuando mueren, se pudren y aportan importantes cantidades de materia orgánica, llenan el agua de malos olores y le dan un aspecto nauseabundo, descuidado, lo que provoca una disminución drástica de su calidad. Durante el crecimiento y degradación o putrefacción de las plantas, éstas consumen una gran cantidad del oxígeno disuelto y las aguas dejan de ser aptas para la mayor parte de los seres vivos, por lo que el resultado final de este proceso resulta un ecosistema casi destruido y aguas que no pueden ser utilizables para ningún tipo de uso.

Es por ello, que la remoción de nutrientes tiene una importancia vital para que las aguas tratadas puedan ser utilizadas nuevamente o ser vertidas en las corrientes superficiales de agua, de manera que el proceso de autodepuración natural pueda alcanzar mejores rendimientos y verificarse de manera aerobia. La remoción de nitrógeno en el sistema presenta la siguiente relación.

**GRÁFICA 3- 9**  
**REMOCIÓN DEL NITRÓGENO TOTAL EN EL BIOFILTRO**



Fuente: Elaboración propia, 2012.

Como se observa en la gráfica III-9, la remoción de nitrógeno total en el sistema es cerca del 59%, lo cual muestra una elevada eficiencia del sistema para la remoción de este parámetro, por lo que si se tiene un promedio de 3 mg/l de nitrógeno total en las aguas que salen del sistema de tratamiento, se espera una baja contribución de nutrientes en la eutofización de las aguas superficiales a las que pueden desembocar.

En general, se observa que el sistema se comporta con altos rendimientos para remover sólidos, nitrógeno total, controlar el pH y un adecuado nivel de oxígeno disuelto, lo que le da una muy buena proyección para ser implementado en el tratamiento de aguas residuales de bodegas, más aún si se incorporan mejoras en el diseño que contribuyan al mejoramiento en la remoción de la DBO<sub>5</sub>.

## CAPÍTULO IV

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 CONCLUSIONES

- De acuerdo a los resultados de los análisis realizados previo y después del tratamiento de las aguas residuales del CENAVIT, se observa que se presenta una amplia variabilidad en la calidad y cantidad del agua residual de la bodega, ello depende de la tecnología aplicada y el período de producción, esta variabilidad en las características de las aguas residuales, se muestra en los datos promedio que se muestran a continuación:

Parámetro	Unidades	Entrada	Salida
DBO <sub>5</sub>	mg/l	2.288	1.640
Sólidos suspendidos	mg/l	2.040	151
Sólidos sedimentables	ml/l	60	0,1
Sólidos totales	mg/l	14.000	2032
Coliformes totales	NMP/100ml	2,4x10 <sup>5</sup>	2,4x10 <sup>5</sup>
Coliformes fecales	NMP/100ml	4	0
PH		3,5	4,92
Temperatura	°C	24,5	21
Oxígeno disuelto	mg/l	0,1	0,42
Nitrógeno Total	mg/l	9	3,51

Fuente: Elaboración propia, 2012.

Estos parámetros están dentro los márgenes de efluentes de bodegas a nivel internacional.

- La variación de los indicadores mostrados en la tabla anterior en cuanto a los niveles de contaminación, se debe también a la fecha del proceso de producción, por cuanto el proceso productivo está relacionado a la estacionalidad: vendimia, producción de vinos, producción de vinagre, almacenamiento.

- De acuerdo a los análisis realizados de la calidad del agua residual que sale de la bodega del CENAVIT, se tiene que en algún momento la DBO<sub>5</sub> alcanzo un valor máximo de 4.000 mg/l, por lo tanto si tomamos en cuenta el caudal de salida de 9,3 m<sup>3</sup>/día, tiene una carga contaminante de 0,0372 Kg/día y alcanza a una población equivalente de 827 habitantes.
- El sistema de tratamiento de biofiltro implementado a nivel de laboratorio, demuestra que puede tratar con buenos niveles de eficiencia las aguas residuales provenientes de la bodega, tal como se muestra en la siguiente relación de porcentajes de remoción en el sistema de tratamiento, si se toman valotes promedio de ingreso y salida al sistema implementado:

Parámetro	Unidades	RMCH: Límites permisibles para descargas liquidas en mg/l	Entrada mg/l	Salida mg/l	Eficiencia %
DBO <sub>5</sub>	mg/l	80	2.288	1.378	45
Solidos suspendidos	mg/l	60	2.000	151	92,5
Nitrógeno Total	mg/l	4	9	3,51	59

Fuente: Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica – **RMCH**

Los resultados alcanzados muestran que luego del proceso de tratamiento aún no se cumplió con la remoción de la carga orgánica presente en el agua residual de entrada al Biofiltro, pero es importante anotar que si bien no se cumple con la meta, se ha estabilizado el agua residual y se tiene aún oxígeno sobre los valores mínimos. Por ello, se plantea que esta agua residual puede ser reutilizada para fines de riego, por la importante cantidad de nutrientes orgánicos que aún puede aportar al suelo y contribuir al desarrollo de los cultivos.

- Por otra parte, se ha logrado estabilizar el pH en un valor de 4, lo cual contribuye a una disminución de la acidificación de las misma, lo cual contribuye a que el agua residual no afecte negativamente a la flora y fauna, contribuyendo de esa manera a que se autodepure más rápidamente en los cursos de agua superficiales.

- El oxígeno disuelto, OD en las aguas que salen del biofiltro, se estableció en valores cercanos a 0,35 a 1 mg/l, lo cual es un indicador que en el proceso no se ha consumido todo el oxígeno que se incorpora y las aguas residuales pueden incorporar más oxígeno en los cursos de agua debido al gradiente que éstos tienen, por lo que el proceso se verifica en gran medida de manera aerobia.
- Debido a la época de producción de la bodega, en las aguas residuales se presentan impurezas como los hollejos, que son arrastradas por el agua residual, los cuales que son residuos altamente consumidores de oxígeno disuelto, por lo que deben ser eliminados previamente en las rejilla que se recomienda instalar al inicio del proceso.
- El color rojo intenso con que ingresa el agua residual de la bodega al sistema de tratamiento, se debe al nivel de acidéz, el cual está alrededor de un pH de 3,5; lo cual da como resultado que esté presente el catión flavilio del carbinol, por cuanto es el que prevalece a este pH. Cuando se realiza la estabilización del pH con aguas provenientes del lavado de equipos que tienen una elevada basicidad, el agua residual que ingresa al sistema alcanza una coloración azulada, lo que es un indicador de la presencia de la base quinoidal del carbinol, que es su forma estable a este nivel de acidéz. Esta variación de los colores en las aguas residuales provenientes de las bodegas, son un indicador claro respecto a la acidéz o basicidad de las mismas.
- El sistema de tratamiento propuesto, actúa eficientemente en la decoloración del agua residual de la bodega, por cuanto de una coloración roja, pasa a ser incolora, lo cual favorece la posibilidad de uso posterior para agricultura y recreación.
- Por las condiciones en las que se opera el biofiltro, al incorporar una capa de grava para separar las aguas residuales contenidas en el biofiltro del ambiente, se

reduce en gran medida la posibilidad de que los vectores como zancudos, mosquitos y moscas se desarrollen y proliferen en el sistema de tratamiento.

- La aireación o incorporación de oxígeno como un paso previo al ingreso de las aguas residuales al biofiltro, es una innovación de mucha importancia, que esta incorporada para garantizar que el proceso en el biofiltro, se realice de manera aerobia, garantizando los procesos de degradación de la materia orgánica y la decoloración del agua y así se obtenga un agua que se elimina que pueda tener uso en el área agrícola o recreacional, tal como lo recomienda la legislación ambiental boliviana, que promueve garantizar el aprovechamiento de agua con calidad y en beneficio de la población o el sector productivo.
- Los deflectores instalados al interior del biofiltro coadyuban a una adecuada distribución del agua al interior del biofiltro, reduciendo las posibilidades de zonas muertas o cortocircuitos, a la vez que garantiza que el tiempo de retención sea similar para todo el fluido sin que haya adelantamientos o retrasos en el mismo, lo que aumenta la posibilidad de remoción de los contaminantes.
- Por los datos anotados, existe una gran remoción de carga contaminante orgánica y no se detectan contaminaciones de microorganismos patógenos, por lo que las aguas que se vierten estan en cumplimiento a la legislación ambiental boliviana en cuanto a contaminación microbiológica y se rescata que tienen un gran aporte de materia orgánica que puede ser aprovechada por los cultivos aguas abajo.

## 5.2 RECOMENDACIONES

De acuerdo a la experiencia se pueden resaltar los siguientes aspectos:

- La implementación de un biofiltro como sistema aerobio para el tratamiento de aguas residuales de la bodega del CENAVIT, es recomendable desde el punto ambiental, tecnológico y económico, por cuanto en la experiencia realizada se adaptó una tecnología que es compatible a el proceso productivo, amigable con el ambiente, requiere de un mantenimiento reducido y su inversión es muy inferior a diferencia de otros procesos de depuración y a los resultados que se obtienen.
- De acuerdo a los resultados alcanzados en la investigación y a la normativa ambiental boliviana, el agua residual que ingresa a una planta de tratamiento que opera a través proceso aerobio y que cuenta con un biofiltro, es recomendable para usos posteriores de riego y actividades recreativas, tal como lo exige la normativa ambiental boliviana.
- De acuerdo a los resultados alcanzados, se recomienda realizar el mezclado de las aguas residuales resultantes del proceso de bodega, con las aguas residuales provenientes de los sanitarios de la planta destinados para el uso del personal, por cuanto se contribuye a una dilución de la mezcla, con la consiguiente estabilización del pH en niveles de menor acides y adecuados para el tratamiento de las aguas que llegan para ser tratadas, lo que contribuye a una estabilización del sistema de tratamiento y a una más rápida formación de la película microbiana alrededor de la grava contenida en el biofiltro.
- Por las características del proceso productivo, la estacionalidad y variabilidad del caudal del agua residual de la bodega, es importante incorporar en los canales que conducen al proceso de tratamiento se inserten rejillas para la remoción de partículas sólidas, e incorporar posteriormente una cámara séptica como

tratamiento preliminar y contención de sólidos suspendidos, la cual debe estar diseñada además para almacenar las aguas en los períodos pico y mínimo de producción, para de esa manera regular un flujo continuo en el sistema de tratamiento.

- Debido a la elevada acidéz que se tiene en las aguas residuales de la bodega, en algunos períodos de producción, se recomienda mezclar las mismas con las aguas que provienen de la zona de lavado de equipos y de envases de vidrio, que contienen hidróxido, puesto que con ello se estabiliza el pH y se garantiza que no se trabaje a pH menor a 4, dando así condiciones para el desarrollo y accionar de los microorganismos. Esta neutralización de las aguas ácidas provenientes del proceso de fermentación con las aguas de lavado, se verificaría en la cámara séptica por lo que no tendrá un costo adicional y le otorgaría mayor estabilidad para una mejor remoción de la carga orgánica en el biofiltro.
  
- Es importante determinar el momento en que es necesario realizar la remoción de las impurezas o sólidos suspendidos que son retenidos en el biofiltro, por cuanto estos pueden inducir a canalizaciones o cortocircuitos de flujo a la vez que podría afectar el rendimiento del mismo, por lo que se recomienda intalar un manómetro para determinar la caída de presión entre la entrada y salida del biofiltro. Cuando la caída de Presión entre estos dos puntos se incremente al doble de la inicial, debe procederse a la limpieza del biofiltro, bombeando agua en contracorriente. Ello en virtud a que de acuerdo a los análisis realizados se tendría una retención de sólidos de 193,54 g/mes, pero que tendería a disminuir al incorporar la cámara séptica.
  
- Para garantizar que el proceso de depuración de las aguas residuales se verifique de manera aerobia, se debe controlar permanentemente la incorporación de oxígeno en el agua que ingresa, por cuanto debe garantizarse que exista una cantidad suficiente de por lo menos 0, 4 mg/l a la salida del biofiltro, cantidad

mínima recomendada para garantizar la sobrevivencia de flora y fauna, por lo que la implementación de una cámara de oxigenación anexada al ingreso del biofiltro o la implementación de un sistema de aereación natural a través de aspersión del agua, es de suma importancia para que se verifique el proceso aerobio y se tenga un efluente que pueda ser utilizado en actividades recreativas o de riego.

- Si bien los resultados alcanzados en la investigación no pueden considerarse como definitivos, es importante reconocer que son altamente prometedores para impulsar y plantear que el sistema de tratamiento aerobio de aguas residuales de bodegas a través de un biofiltro, es una alternativa viable, por cuanto la tecnología es conocida y se la adaptó a las condiciones locales, además que las aguas residuales pueden ser utilizadas para riego o actividades recreativas, por lo que el proceso es ambientalmente amigable.
- Es importante continuar con los trabajos de investigación para optimizar los parámetros de diseño del proceso, a la par de mejorar el conocimiento sobre la cuantificación de la flora microbiana presente alrededor de la grava empleada como relleno y la forma como actúan en la remoción de la carga contaminante.
- El proceso planteado en la presente investigación para la depuración de aguas residuales de bodegas, es una alternativa que se propone al CENAVIT, pues al existir otras tecnologías que deben ser validadas para la depuración de este tipo de aguas residuales, se debe realizar una adecuada ponderación de las diferentes tecnologías en la perspectiva del uso posterior del agua, la contaminación del ambiente, costos relacionados a la inversión y operación de las plantas de depuración y otras variables que se consideren importantes en la valoración.
- Se recomienda realizar un proceso de difusión y capacitación entre los empresarios y técnicos que trabajan en las bodegas, para que puedan valorar el

sistema de depuración que se propone y tomen conciencia sobre los grados de contaminación sobre el medioambiente que tienen estas bodegas, a diferentes escalas de producción y en relación en el ecosistema en el cual desarrollan su trabajo.