

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE CIENCIAS PURAS Y NATURALES
CARRERA DE CIENCIAS QUÍMICAS



**ENFOQUE DE PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA PARA EL
APROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS ORGÁNICOS EN
EFLUENTES INDUSTRIALES, CASO: TUSEQUIS LTDA. (Stege)**

Trabajo para optar el Título de Nivel Licenciatura en Ciencias Químicas

Postulante : Univ. Alberto Calle Quispe

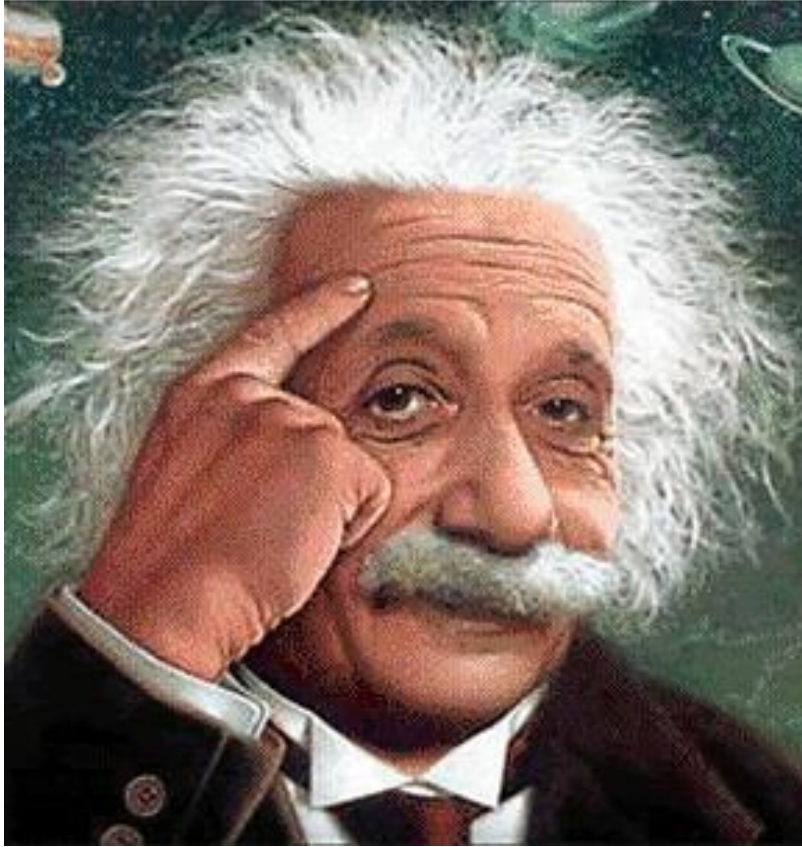
Asesor(es) : PhD. Justo Zapata Quiroz

: PhD. María Eugenia García

Tribunal : PhD. Rómulo Gemio

La Paz - Bolivia

2011



Albert Einstein

Porque Einstein no solo nos enseñó los efectos y naturaleza de la relatividad, o sobre la equivalencia entre masa y energía. En obras y palabras mostro testimonios notables de curiosidad ("Lo importante es no cesar de hacerse preguntas"), de creatividad ("La imaginación es más importante que el conocimiento"), de sentido crítico ("Educación es lo que queda cuando se olvida lo aprendido en la escuela"), de rebeldía e inconformismo ("Dos cosas son infinitas: el universo y la estupidez humana; y yo no estoy seguro sobre el universo"), de constancia ("Hay una fuerza motriz más poderosa que el vapor, la electricidad y la energía atómica: la voluntad"), o de cariño hacia la humanidad ("Vivimos en el mundo cuando amamos. Sola una vida vivida para los demás merece la pena ser vivida").

DEDICATORIA

Este trabajo se lo dedico a mi familia, quienes me han apoyado incondicionalmente.

A la empresa Tusequis (Stege) y a Centro de Promoción de Tecnologías Sostenibles (CPTS) como un aporte en la construcción de un mejor planeta y un compromiso con la preservación de un medio ambiente sano.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por regalarme la vida para vivir esta experiencia, a mi familia por aportar el desarrollo personal y profesional, a Justo Zapata, por compartir sus conocimientos, por su gran apoyo, compromiso y dedicación, todo lo cual le aportó al aprendizaje personal.

A mis docentes, que me regalaron conocimiento y aprendizaje de forma incondicional para mi crecimiento y formación ética y profesional.

Al Centro de Promoción de Tecnologías Sostenibles (CPTS) por el apoyo recibido durante la realización del presente trabajo.

A la empresa Tusequis y a todo su personal, que mantuvieron las puertas siempre abiertas para que desarrollemos el trabajo de la mejor manera posible, brindándonos todas las facilidades, el tiempo y la atención requeridos.

A María Eugenia García, quien encaminó mi participación en este trabajo, mi más sincero agradecimiento por la confianza brindada.

A todas ellas y a todos ellos presento mis sinceros agradecimientos.

CONTENIDO

| | Página |
|--|-------------|
| GLOSARIO | ..6 |
| 1. RESUMEN..... | ..12 |
| 2. INTRODUCCIÓN..... | ..13 |
| 3. MARCO TEÓRICO..... | ..15 |
| 3.1. Características Químicas..... | ..15 |
| 3.1.1. Demanda Química de Oxígeno, DQO..... | ..15 |
| 3.2. DQO Sistema cerrado – Método Colorimétrico..... | ..18 |
| 3.3. DQO Sistema abierto..... | ..19 |
| 3.4. Análisis Cuantitativo DQO por Absorción de la Radiación Electromagnética | ..20 |
| 3.5. Definición de Producción Más Limpia (PML)..... | ..20 |
| 3.5.1. Que es la Producción Más Limpia (PML)..... | ..20 |
| 3.5.2. En los procesos productivos..... | ..21 |
| 3.5.3. En los productos..... | ..21 |
| 3.5.4. En los servicios..... | ..21 |
| 3.6. Sistema de Tratamiento de Residuos Sólidos Biodegradables en Efluentes Industriales..... | ..22 |
| 3.6.1. Propiedades biológicas de los residuos sólidos orgánicos..... | ..23 |
| 3.7. Elaboración de Compost y lombricultura..... | ..23 |
| 3.7.1. Elaboración de Compost..... | ..24 |
| 3.7.2 Lombricultura..... | ..26 |
| 4. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA..... | ..27 |
| 5. JUSTIFICACIÓN..... | ..29 |
| 6. OBJETIVOS..... | ..30 |
| 6.1. Objetivo General..... | ..30 |

| | |
|--|-------------|
| 6.2. Objetivos Específicos..... | ..30 |
| 7. METODOLOGÍA..... | ..31 |
| 7.1. Metodología general..... | ..31 |
| 7.2. Metodología para la determinación de la DQO..... | ..32 |
| 7.2.1. Métodos de muestreo..... | ..32 |
| 7.2.2. Toma de muestras y almacenamiento..... | ..33 |
| 7.2.3. Parámetros Químicos (DQO)..... | ..33 |
| 7.2.4. DQO por el método de oxidación por reflujo cerrado – Método colorimétrico | ..35 |
| 7.2.4.1. Reactivos, materiales y/o equipos..... | ..35 |
| 7.2.4.2. Preparación de soluciones..... | ..37 |
| 7.2.4.3. Procedimiento para la validación de metodologías analíticas (NB 64009) | ..37 |
| 7.2.4.4. Precauciones..... | ..42 |
| 7.3. Metodología para el seguimiento del Diagnóstico de Producción Más Limpia (DPML)..... | ..42 |
| 7.4. Metodología para la elaboración de Compost y Lombricultura..... | ..44 |
| 8. RESULTADOS Y DISCUSIONES..... | ..47 |
| 9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... | ..59 |
| 10. ANEXOS..... | ..61 |
| 11. BIBLIOGRAFIA..... | ..67 |

LISTA DE FIGURAS

| | Página |
|---|--------|
| Figura 2.1. Contaminación en el eje hidrográfico de la cuenca El Alto-Lago Titicaca..... | ..14 |
| Figura 3.1. Reactor típico para pruebas de DQO en sistema cerrado..... | ..17 |
| Figura 3.2. Residuos lombricompostados en 3 semanas..... | ..25 |
| Figura 3.3. Lombricompost cernido..... | ..25 |
| Figura 3.4. Pila de compost en relleno sanitario de Mallasa, para el tratamiento de residuos orgánicos biodegradables..... | ..26 |
| Figura 3.5. Tratamiento de residuos sólidos orgánicos biodegradables mediante técnicas de lombricultura..... | ..26 |
| Figura 7.1. Metodología general de la investigación del trabajo..... | ..32 |
| Figura 7.2. Imagen satelital de la ubicación de la planta industrial de Tusequis..... | ..33 |
| Figura 7.3. Colorímetro modelo DR 890..... | ..36 |
| Figura 7.4. Digestor modelo 45600..... | ..36 |
| Figura 7.5. Espectrofotómetro UV-vis modelo CE 7400..... | ..36 |
| Figura 7.6. Flujoograma del procedimiento para la validación de metodologías analíticas (NB 64009)..... | ..38 |
| Figura 7.7. Tratamiento de residuos orgánicos biodegradables mediante técnicas de lombricultura..... | ..45 |
| Figura 7.8. Pila de compost, para el tratamiento de residuos industriales líquidos concentrados..... | ..46 |
| Figura 7.9. Apariencia de la vermicompost o lombricompost..... | ..46 |
| Figura 8.1. Gráfico de análisis de regresión lineal del equipo Colorímetro..... | ..47 |
| Figura 8.2. Curva de análisis de regresión lineal de la muestra estándar (FHK) a 600 nm..... | ..48 |
| Figura 8.3. Curva de calibración de la muestra estándar (FHK) a 420 nm..... | ..49 |
| Figura 8.4. Espectro de absorción del cromo del estado hexavalente Cr (VI) al estado trivalente Cr (III)..... | ..50 |
| Figura 8.5. Cámara de colección de sólidos disueltos y suspendidos desde la planta hasta el punto de descarga a la alcantarilla de Tusequis..... | ..52 |
| Figura 8.6. Carga contaminante de sangre y sólidos del lavado de cerdos durante la recepción de cerdos..... | ..54 |
| Figura 8.7. Residuos producidos en la sala de cocimiento..... | ..55 |
| Figura 8.8. Descargas feculosas generadas en equipos de Tusequis..... | ..55 |
| Figura 8.9. Fosa en la empresa Tusequis (Stege), para lombricultura de residuos industriales biodegradables, 74 m ³ de volumen y 120 m ² | .. 57 |
| Figura 8.10. Distribución de lombrices en la cama de estiércol..... | ..58 |
| Figura 8.11. Penetración de la lombriz en el alimento (residuos sólidos orgánicos)..... | ..58 |

LISTA DE CUADROS

| | Página |
|---|---------------|
| Cuadro 7.1. DQO (mg/L O ₂) de las disoluciones estándar FHK..... | ..40 |
| Cuadro 7.2. Plantamiento del método de producción más limpia de la ejecución del trabajo..... | ..43 |
| Cuadro 8.1. Lectura de resultados de análisis DQO de la muestra estándar (FHK) en el Colorímetro para su respectiva análisis de regresión lineal..... | ..47 |
| Cuadro 8.2 Corrección de la Lectura de resultados de análisis de DQO de la muestra estándar (FHK) en el Colorímetro, utilizando la recta de calibración del del equipo..... | ..47 |
| Cuadro 8.3. Resultados en el UV-vis para obtener una recta patrón de la muestra estándar (FHK) a 600 nm..... | ..48 |
| Cuadro 8.4. Resultados en el UV-vis para obtener una recta patrón de la muestra estándar (FHK) a 420 nm..... | ..48 |
| Cuadro 8.5. Resultados de análisis de la DQO en el efluente de Tusequis debido a RD y RS en Colorímetro..... | ..50 |
| Cuadro 8.6. Resultados de análisis del efluente de Tusequis en el UV-visible (empleando la curva de calibración, para la dicha determinación de la concentración de carga contaminante)..... | ..51 |
| Cuadro 8.7. Resultados de análisis de las primeras aguas de lavado en las operaciones de Tusequis en el Colorímetro..... | ..52 |
| Cuadro 8.8. Resultados de análisis de las primeras aguas de lavado en las operaciones de Tusequis en el UV-vis (empleando la recta patrón, (ver figura 8.2.), para la dicha determinación de la concentración de carga contaminante)..... | ..53 |
| Cuadro 8.9. Resumen de medidas de PML: resultados de mayor cantidad de DQO en la menor cantidad de agua..... | ..56 |
| Cuadro 8.10. Resumen de medidas de PML: resultados de mayor cantidad de DQO en la menor cantidad de agua (% de DQO en función de porcentaje de volumen total de efluente)..... | ..56 |

LISTA DE ANEXOS

| | Página |
|--|---------------|
| Anexo 10.1. Residuos biodegradables que se desechan al relleno sanitario de Villa Ingenio..... | ..61 |
| Anexo 10.2. Hoja diseñada para sitios de muestreo en los sistemas operados | ..61 |
| Anexo 10.3. Evaluación de la incertidumbre tomando en cuenta el modelo de calibración..... | ..62 |
| Anexo 10.4. Contenidos de salinización (Cl ⁻) en los líquidos industriales | ..63 |
| Anexo 10.5. Contenidos de sulfatos (SO ₄ ²⁻) en los líquidos industriales | ..63 |
| Anexo 10.6. Contenidos de nitratos (NO ₃ ⁻) en los líquidos industriales | ..63 |
| Anexo 10.7. Contenidos de sodios (Na) en los líquidos industriales | ..64 |
| Anexo 10.8. Composición de los residuos sólidos municipales en diversos países de América Latina (porcentaje en peso)..... | ..64 |
| Anexo 10.9. Relación de porcentajes en peso de generación de residuos sólidos orgánicos en algunos países y ciudades del mundo..... | ..64 |
| Anexo 10.10. El proceso de compostaje. Tomado de Paul y Clark, 1996 por Soto M., Graciela. El proceso de compostaje, 2003..... | ..65 |
| Anexo 10.11. Perfil de temperatura de una pila de compost estática..... | ..65 |
| Anexo 10.12. Condiciones para el establecimiento de la lombriz..... | ..66 |

GLOSARIO

Contaminante: Es toda materia o sustancia, sus combinaciones o compuestos, los derivados químicos o biológicos, así como toda forma de energía, radiaciones ionizantes, vibraciones o ruido, que al incorporarse o actuar en la atmósfera, aguas, suelo, flora, fauna o cualquier elemento ambiental, alteren o modifiquen su composición, o afecten la salud humana.

Degradable: Estructura o compuesto que puede ser descompuesto bajo ciertas condiciones ambientales (biodegradable involucra la acción de microorganismos, fotodegradable implica la acción de la luz).

Biodegradable: Sustancia que puede ser descompuesta con cierta rapidez por organismos vivientes, los más importantes de los cuales son bacterias aerobias. Sustancia que se descompone o desintegra con relativa rapidez en compuestos simples por alguna forma de vida como: bacterias, hongos, gusanos e insectos. Lo contrario corresponde a sustancias no degradables, como plásticos, latas, vidrios que no se descomponen o desintegran, o lo hacen muy lentamente. Los órganoclorados, los metales pesados, algunas sales, los detergentes de cadenas ramificadas y ciertas estructuras plásticas no son biodegradables.

Contaminación: Alteración reversible o irreversible de los ecosistemas o de alguno de sus componentes producida por la presencia o la actividad de sustancias o energías extrañas a un medio determinado. La presencia en el ambiente de uno o más contaminantes o de cualquier combinación de ellos que cause desequilibrio ecológico. Puede clasificarse en:

- **Origen químico:** productos tóxicos minerales, como sales de hierro, plomo, mercurio, ácidos, derivados del petróleo, insecticidas, detergentes, abonos sintéticos, etc.
- **Origen físico:** productos y emanaciones radioactivas, materias sólidas, vertimiento de líquidos a altas temperaturas o bajas temperaturas, etc.
- **Origen biológico:** por desechos orgánicos en descomposición. Existe un tipo de contaminación ambiental cuyo origen se sitúa en las conductas antisociales de algunos humanos y que afecta no solamente el medio natural sino la vida en comunidad.

Almacenamiento o almacenaje: El depósito temporal de los residuos sólidos en contenedores previos a su recolección, tratamiento o disposición fina.

Ambiente: Es cualquier espacio de interacción y sus consecuencias, entre la Sociedad (elementos sociales y culturales) y la Naturaleza (elementos naturales), en un lugar y momento determinados.

Aprovechamiento de los residuos: Conjunto de acciones cuyo objetivo es recuperar el valor económico de los residuos mediante su reutilización, remanufactura, rediseño, reciclado y recuperación de materiales secundados o de energía.

Basura: Dos o más desperdicios que revueltos entre sí provocan contaminación, enfermedad, pérdida de recursos naturales.

Basurero: Sitio o terreno donde se disponen residuos sólidos, sin que se adopten medidas de protección del medio ambiente.

Biometanización: El tratamiento aeróbico de los residuos biodegradables que produce metano y residuos orgánicos estabilizados.

Biogás: El conjunto de gases generados por la descomposición microbológica de la materia orgánica.

Centro de acopio: Lugar destinado a la recuperación y el almacenaje de materiales reciclables.

Centro de tratamiento integral de residuos: Lugar donde los residuos se clasifican para su reciclaje, compostaje y eliminación a vertedero.

Comercialización: Operación de venta o transferencia de subproductos y materias o sustancias recuperadas para reincorporarlas al proceso productivo.

Compost o abono orgánico: Es el producto resultante del proceso de compostaje.

Compostaje: Es un proceso de reciclaje completo de la materia orgánica mediante el cual ésta es sometida a fermentación en estado sólido, controlada (aerobia) con el fin de obtener un producto estable, de características definidas y útil para la agricultura.

Contaminación ambiental: Introducir al medio cualquier factor que anule o disminuya la función biótica.

Eliminación: Sacar, separar, descartar un residuo del circuito de utilización. Los residuos se han de eliminar sin poner en peligro la salud humana y sin utilizar procedimientos o métodos que puedan causar perjuicios al medioambiente.

Emisión: Sustancia en cualquier estado físico liberada de forma directa o indirecta al aire, agua, suelo o subsuelo.

Evaluación del Riesgo Ambiental: Proceso metodológico para determinar la probabilidad o posibilidad de que se produzcan efectos adversos, como consecuencia de la exposición de los seres vivos a las sustancias contenidas en los residuos peligrosos o agentes infecciosos que los forman.

Fermentación: Transformación de compuestos orgánicos en compuestos más simples y/o inorgánicos por la acción de microorganismos.

Fracción Orgánica de Residuos Parte de los residuos constituida por desperdicios de origen doméstico, como por ejemplo verduras, frutas, carnes, pescados, harinas o derivados, etc., susceptible de degradarse biológicamente, y también por los residuos de jardinería y poda. Se designa así, por extensión, a todo el contenido del contenedor especializado destinado a la recogida segregada de materia orgánica o contenedor marrón.

Generación: La acción de producir residuos sólidos a través de procesos productivos o de consumo.

Generador: Persona física o moral que produce residuos, a través del desarrollo de procesos productivos o de consumo.

Lixiviados: Los líquidos que se forman por la reacción, arrastre o filtrado de los materiales que constituyen los residuos sólidos y que contienen sustancias en forma disuelta o en suspensión que pueden infiltrarse en los suelos o escurrirse fuera de los sitios en los que se depositen residuos sólidos y que puede dar lugar a la contaminación del suelo y de cuerpos de agua.

Manejo Integral de residuos: Las actividades de reducción en la fuente, separación, reutilización, reciclaje, co-procesamiento, tratamiento biológico, químico, físico o térmico, acopio, almacenamiento, transporte y disposición final de residuos, individualmente realizadas o combinadas de manera apropiada, para adaptarse a las condiciones y necesidades de cada lugar, cumpliendo objetivos de valorización, eficiencia sanitaria, ambiental, tecnológica, económica y social.

Material recuperable: Todo aquel material que puede utilizarse como materia prima y devolverse al flujo de materiales y cuyo procesamiento puede ser económicamente viable.

Materias primas: Sustancias que permanecen en su estado natural u original, antes de ser sometida a un procesamiento o proceso de fabricación. Materiales primarios de un proceso de fabricación.

Medio Ambiente: Marco animado e inanimado en el que se desarrolla la vida de los seres vivos. Abarca seres humanos, animales, plantas, objetos, agua, suelo, aire y las relaciones entre ellos, así como los valores de estética, ciencias naturales e histórico culturales.

Metano: CH₄. Componente, entre otros, del gas natural y del biogás. El gas natural es una de las fuentes fósiles de energía. El metano se forma en procesos de degradación anaeróbica, (en pantanos, en los rumiantes y en procesos de tratamiento de residuos sólidos y aguas residuales). La emisión creciente de

metano es una amenaza para el clima. El metano es junto con el dióxido de carbono y los óxidos de nitrógeno, el principal causante del efecto invernadero.

Minimización: El conjunto de medidas tendientes a evitar la generación de los residuos sólidos y aprovechar, tanto sea posible, el valor de aquellos cuya generación no sea posible evitar.

Orgánico: Pertenece o derivado de los organismos vivos. Que pertenece a los compuestos químicos que contienen carbono.

Plan de manejo: El instrumento de gestión integral de los residuos sólidos, que contiene el conjunto de acciones, procedimientos y medios dispuestos para facilitar el acopio y la devolución de productos de consumo que al desecharse se conviertan en residuos sólidos, cuyo objetivo es lograr la minimización de la generación de los residuos sólidos y la máxima valorización posible de materiales y subproductos contenidos en los mismos, bajo criterios de eficiencia ambiental, económica y social, así como para realizar un manejo adecuado de los residuos sólidos que se generen.

Planta de Compostaje: Centro donde se elabora el compost a partir de los residuos sólidos.

Planta de selección y tratamiento: La instalación donde se lleva a cabo cualquier proceso de selección y tratamiento de los residuos sólidos para su valorización o, en su caso, disposición final.

Proceso de degradación: Proceso por el cual la materia orgánica contenida en la basura sufre reacciones químicas de descomposición (fermentación y oxidación) en las que intervienen microorganismos dando como resultado la reducción de la materia orgánica y produciendo malos olores.

Proceso Productivo: Conjunto de actividades relacionadas con la extracción, beneficio, transformación, procesamiento y/o utilización de materiales para producir bienes y servicios.

Producción Limpia: Proceso productivo en el cual se adoptan métodos, técnicas y prácticas, o incorporan mejoras, tendientes a incrementar la eficiencia ambiental de los mismos en términos de aprovechamiento de la energía e insumos y de prevención o reducción de la generación de residuos

Reciclable: Materiales que todavía tienen propiedades físicas o químicas, útiles después de servir a su propósito original y que, por lo tanto pueden ser reutilizados o refabricados convirtiéndolos en productos adicionales.

Reciclaje: Proceso simple o complejo que sufre un material o producto para ser reincorporado a un ciclo de producción o de consumo, ya sea éste el mismo en

que fue generado u otro diferente. Según la complejidad del proceso que sufre el material o producto durante su reciclaje, se establecen dos tipos: directo, primario o simple; e indirecto, secundario o complejo.

Recursos naturales no renovables: Bienes cuya renovación o recuperación puede tomar miles o millones de años. Ejemplo de éstos son los combustibles fósiles y los minerales. De éstos elementos las sociedades modernas se nutren para generar la gasolina, el plástico, el aluminio y el vidrio entre otros.

Recursos naturales renovables: Bienes que tienen la capacidad de regenerarse por procesos naturales. Entre ellos se encuentran la luz, el aire, el agua, el suelo, los árboles y la vida silvestre.

Reducción: Las actividades de diseño, fabricación, compra o uso de materiales para reducir la cantidad de residuos sólidos que se generan.

Reducción en la fuente: La reducción en la fuente considera aspectos cuantitativos y cualitativos, esto es, deberá tomarse en cuenta reducir tanto la cantidad como la toxicidad de los residuos que son generados en la actualidad. Este proceso es la forma más eficaz de reducir la cantidad de residuos, el costo asociado a su manipulación y a los impactos ambientales. La reducción en la fuente puede realizarse a través del diseño, la fabricación y el envasado de productos o bien en la vivienda y en las instalaciones comerciales o industriales, a través de la compra selectiva de productos de consumo. Para reducir en la fuente es necesario evaluar y cambiar los hábitos de consumo.

Relleno sanitario: La obra de infraestructura que aplica métodos de ingeniería para la disposición final de los residuos sólidos ubicados en sitios adecuados al ordenamiento ecológico, mediante el cual los residuos sólidos se depositan y compactan al menor volumen práctico posible y se cubren con material natural o sintético para prevenir y minimizar la generación de contaminantes al ambiente y reducir los riesgos a la salud.

Residuo: Todo material en estado sólido, líquido o gaseoso, ya sea aislado o mezclado con otros, resultante de un proceso de extracción de la Naturaleza, transformación, fabricación o consumo, que su poseedor decide abandonar.

Residuos orgánicos: Los residuos orgánicos son los residuos de comida y restos del jardín. Son todos aquellos residuos que se descomponen gracias a la acción de los desintegradores.

Residuos peligrosos y especiales: Cualquier residuo que por su tamaño, peso o volumen necesita un tratamiento especial. Dentro de éste grupo se encuentran los residuos peligrosos los cuales por sus características agresivas tales como corrosividad, reactividad, inflamabilidad, toxicidad, explosividad y radiactividad pueden causar daño. Se clasifican en:

- Residuos químicos peligrosos: sustancias o productos químicos con características tóxicas, corrosivas, inflamables, explosivas, reactivas, genotóxicas o mutagénicas, tales como: quimioterapéuticos, antineoplásicos, productos químicos no utilizados, plaguicidas fuera de especificación, solventes, ácido crómico, mercurio de termómetro, soluciones para revelado de radiografías, baterías usadas, aceites, lubricantes usados, etc.
- Residuos farmacéuticos: medicamentos vencidos, contaminados, desactualizados, no utilizados, etc.
- Residuos radiactivos: materiales radiactivos o contaminados con radioisótopos de baja actividad, provenientes de laboratorios de investigación química y biológica; de laboratorios de análisis clínicos; y servicios nucleares. Estos materiales son normalmente sólidos o líquidos (jeringas, papel absorbente, frascos, líquidos derramados, orina, heces, etc.). Los residuos radiactivos con actividades medias o altas deben ser acondicionados en depósitos de decaimiento, hasta que sus actividades se encuentren dentro de los límites permitidos para su eliminación.

Residuos sólidos: En función de la actividad en que son producidos, se clasifican en agropecuarios (agrícolas y ganaderos), forestales, mineros, industriales y urbanos. A excepción de los mineros, por sus características de localización, cantidades, composición, etc., los demás poseen numerosos aspectos comunes desde el punto de vista de la recuperación y reciclaje.

Riesgo: Probabilidad o posibilidad de que el manejo, la liberación al ambiente y la exposición a un material o residuo, ocasionen efectos adversos en la salud humana, en los demás organismos vivos, en el agua, aire, suelo, en los ecosistemas, o en los bienes y propiedades pertenecientes a los particulares.

Tratamiento: Conjunto de operaciones por las que se alteran las propiedades físicas o químicas de los residuos.

Tratamiento biológico: El tratamiento que se enfoca básicamente a los residuos orgánicos, como los alimentos o los residuos del jardín. Véase compostaje o lombricultura.

Valorización: Acción de aumentar el valor de un residuo. Los residuos se han de valorizar sin poner en peligro la salud humana y sin utilizar procedimientos o métodos que puedan causar perjuicios al medioambiente.

Vermicultura: Es el cultivo de la lombriz para la descomposición de materia orgánica.

1. RESUMEN

En el trabajo se validó la metodología analítica (NB 64009), por el Método del reflujo cerrado – Método Colorimétrico, para la dicha determinación de la concentración de carga orgánica contaminante de la muestra problema. El estándar utilizado es el Ftalato ácido de potasio (FHK) como se observan los resultados de análisis (**ver cuadros 8.2. y 8.3.**). Los resultados obtenidos de la dilución de la muestra problema se interpola (**ver cuadros 8.6. y 8.8.**) en una recta patrón que se logró construir a partir de la solución patrón de ftalato ácido potasio de demanda química teórica de oxígeno conocida (**ver las figuras 8.2. y 8.3.**). Cada miligramo de FHK es equivalente a 1.176 mg de oxígeno (O_2). La determinación se realizó por el método de reactor típico para pruebas de DQO en sistema cerrado, (marca Hach, modelo 45600) y luego lectura de las muestras digeridas en un colorímetro portátil de un solo haz (marca Hach, modelo DR 890), y análisis en un espectrofotómetro UV-visible de marca Cecil, modelo ce 7400, el análisis se realizó según la norma boliviana para la determinación de DQO en aguas servidas y industriales.

Los residuos sólidos orgánicos biodegradables provenientes en el efluente de Tusequis constituyen cerca alrededor del 102 Kg de DQO/día de concentración de carga orgánica contaminante debido a residuos sólidos disueltos (RD) y suspendidos (RS) del volumen total de desechos generados, prácticamente en todas las secciones, se segregó las primeras aguas de lavado de equipo en general, conteniendo la mayor cantidad de carga orgánica contaminante utilizando la menor cantidad de volumen de agua, para lo cual se empleo la técnica de Diagnostico de Producción Mas Limpia (DPML), y poniendo en practica la recuperación de los residuos orgánicos biodegradables disueltos y suspendidos en el efluente de Tusequis, se estima que al rededor de un 90.87 Kg de DQO/día, que equivale el 88.9 % que fueron analizados en UV-visible que son datos más fiables, que esto porcentaje de carga orgánica contaminante producidos en los equipos de producción y en tanques de cocimiento, en lo ambiental, se remueve una causa de contaminación hídrica con al rededor del 2.7 % del volumen de agua empleado en las operaciones de lavado y utilizados para el cocimiento de diferentes productos.

por tal motivo es primordial buscar una salida integral que contribuya al manejo adecuado de estos residuos sólidos biodegradables, que serán enviados a la fosa de lombrices que viene elaborado por CPTS del cual Tusequis forma parte, potenciando los productos finales de éstos procesos y minimizando un gran número de impactos ambientales que conlleven a la sostenibilidad de los recursos naturales. Este trabajo la mayor parte de las recomendaciones se orientan a lograr que los contaminantes de los residuos líquidos industriales, caso: Tusequis (Stege) estén en niveles menores a los permitidos por los convenios con EPSAS (Empresa Publica Social de Aguas y Saneamiento S.A.).

2. INTRODUCCIÓN

Las aguas residuales industriales son el producto del vertido proveniente de procesos industriales; es decir, aquellas aguas que han sido utilizadas en los diferentes sistemas de fabricación, producción o manejo industrial, y, que para ser desechadas necesitan ser tratadas previamente, de manera tal que puedan ser adecuadas para su ubicación en las respectivas redes de vertido, depuradoras o sistemas naturales tales como, lagos ríos, embalses, etc.

El agua es un recurso no renovable, por lo tanto al contaminarla estamos perjudicando al ambiente, por esta razón controlar la contaminación del agua es uno de los factores más importantes para mantener y recuperar el equilibrio entre el hombre y la naturaleza dentro de un plan de gestión integral de recursos hídricos; la prevención, reducción y eliminación de los contaminantes de aguas residuales es una necesidad prioritaria en la actualidad, debido a los grandes males que aquejan al planeta, como por ejemplo el calentamiento global.

En años anteriores, el equipo de CPTS realizó una investigación con el fin de determinar las principales fuentes de contaminación en la Ciudad de El Alto, de la cuál se encontró que los agentes más dañinos al medio son el manejo inadecuado de los desechos sólidos (Orgánicos e inorgánicos) y los vertederos de aceite que van directamente al drenaje de la ciudad, contaminando el suelo y el agua subterránea y la contaminación en el eje hidrográfico de la cuenca El Alto-Lago Titicaca (ver figura 2.1.) es motivo de gran preocupación. El trabajo tiene el objetivo de disminuir la contaminación en el eje mencionado por parte de las actividades industriales en El Alto.

Los residuos sólidos orgánicos biodegradables han ocasionado impactos ambientales negativos por su disposición inadecuada y porque cada vez son más, asunto asociado al incremento de la población humana, a los procesos de transformación industrial (globalización), y a los hábitos de consumo de los individuos.

Este trabajo propone una solución para la reducción de cargas orgánicas contaminantes generada en la empresa Tusequis la implementación de una planta productora de lombricomposta que viene ejecutando el proyecto el CPTS, como un medio de reciclaje y empleando el producto resultante en el vivero y áreas verdes de la empresa. De esta manera es posible tratar una gran parte de los residuos sólidos, principalmente de aquellos que sean extraídos de los efluentes mediante aplicación de técnicas de PML.

La técnica será usada en la empresa Tusequis para el aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos biodegradables, es el lombricomposta el cuál se define como descomposición de residuos orgánicos por la acción microbiana, cambiando la estructura molecular de los mismos. De acuerdo al tiempo de degradación, se

da el grado de madurez al realizar biotransformación o degradación parcial (descomposición de un compuesto orgánico en otro similar) y mineralización o degradación completa, cuando todas las moléculas de dióxido de carbono se descomponen en su totalidad. Estos residuos inorgánicos inertes o minerales se incorporan a la estructura del suelo, de los microorganismos y de las plantas causando beneficios ambientales, y de salubridad al entorno. Esta alternativa es la más usada debido a que permite tratar cantidades altas de residuos orgánicos biodegradables, siendo el caso de la generación de cargas orgánicas contaminantes del Tusequis.



Figura 2.1. Contaminación en el eje hidrográfico de la cuenca El Alto-Lago Titicaca
Fuente: CPTS

3. MARCO TEORICO

Tusequis es una empresa que acaba de cumplir 100 años de vida. Su planta industrial se encuentra en la carretera a Oruro, km 7, Senkata, El Alto. Tusequis se dedica a la elaboración de alrededor de 1,800 toneladas/año de productos cárnicos: principalmente, carnes frías, salchichas, jamones, chorizos barrilleros y patés en las líneas Torito (58%) y Stege (28%); escabeches (8%) y carnes crudas de res, cerdo y productos de carne de pollo (6%). Emplea como materia prima alrededor de 2,100 toneladas/año de carnes (de cerdo 88%, de res 12% y de pollo 0.3%) y alrededor de 340 toneladas/año de otros insumos comestibles (vegetales 77%, sal 14%, harina 9% entre los más importantes). En la planta de producción, se estima que trabajan aproximadamente 70 personas, de lunes a viernes en dos turnos (de 7:00 a 16:00 y de 15:00 a 23:00) y los días sábado de 6:00 a 10:00 durante aproximadamente 300 días al año.

Tusequis emplea agua potable suministrada por la empresa EPSAS, se estima un consumo de 81 m³/día: 71 en actividades productivas y 10 en consumo doméstico. Del consumo productivo, 71% es empleado en lavado de equipos y de infraestructura, 22% en enfriamiento de los productos que salen de los proceso de cocimiento y, el resto, en caldos de cocción, preparación de salmueras y otras aplicaciones.

La empresa cuenta con un sistema de tratamiento de aguas industriales que pone énfasis en la recuperación de sólidos suspendidos, especialmente grasas. Sin embargo, este sistema de tratamiento no comprende el tratamiento de sólidos disueltos. La presencia de materia orgánica disuelta y la incompleta eliminación de sólidos suspendidos hacen que los límites de descargas establecidos para parámetros de importancia ambiental no estén plenamente satisfechos, principalmente los límites establecidos para DBO₅, DQO y fósforo total.

3.1. Características Químicas

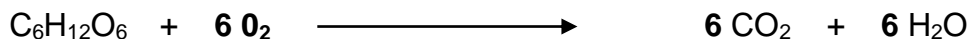
3.1.1. Demanda Química de Oxígeno, DQO

DQO es una sigla que traduce literalmente “demanda química de oxígeno”. Desde el punto de vista ambiental, la DQO es una medida aproximada del contenido total de materia orgánica presente en una muestra de agua. Esta materia orgánica en condiciones naturales puede ser biodegradada lentamente (esto es oxidada) a CO₂ y H₂O mediante un proceso lento que puede tardar, desde unas pocas días hasta unos cuantos millones de años, dependiendo del tipo de materia orgánica presente y de las condiciones de la biodegradación.

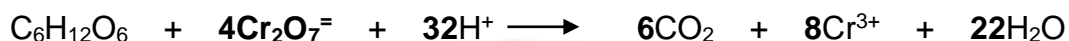
En las pruebas de DQO se acelera artificialmente el proceso de biodegradación que realizan los microorganismos, mediante un proceso de oxidación forzada,

utilizando oxidantes químicos y métodos debidamente estandarizados, que tienen por objeto garantizar la reproducibilidad y comparabilidad de las mediciones:

Así las cosas, la degradación biológica de un carbohidrato, en condiciones aeróbicas puede expresarse como:



Mientras que la degradación química de esta misma sustancia (acelerada con dicromato de potasio y medida bajo la forma de DQO) puede expresarse como¹:



Las condiciones oxidantes en las pruebas de DQO pueden ser, la ebullición de una alícuota de muestra con mezcla sulfocromica 0.25 N en un sistema reaccionante abierto (a reflujo) o la digestión de la muestra a 150 °C durante dos horas con mezcla sulfocromica 0.1 N, en un sistema cerrado.

La DQO así determinada se expresa como “el oxígeno equivalente al contenido de la materia orgánica”, en miligramos por litro. En este trabajo se presenta y se discute el método de sistema cerrado para que, de acuerdo con la disponibilidad del laboratorio y/o la experiencia o preferencia del analista, se elija en cada caso el método mas adecuado.

Aunque en las pruebas de DQO las condiciones de oxidación son bastante energéticas, este ensayo no representa una medida exacta del contenido total de materia orgánica en la muestra. En efecto, ciertos compuestos orgánicos (volátiles, principalmente) tales como los alcanos, la piridina y ciertas ligninas, son particularmente resistentes a este proceso de oxidación. Pese a ello y para efectos prácticos, puede asumirse que para la gran mayoría de las muestras la oxidación de la materia orgánica bajo estas condiciones alcanza una extensión de por lo menos el 95 %, en relación con el total de la materia orgánica existente en la muestra.

¹ A manera de ejercicio, demuestre (balancee) que la ecuación efectivamente representa la oxidación de la glucosa con dicromato de potasio en medio ácido.



Figura 3.1. Reactor típico para pruebas de DQO en sistema cerrado
Fuente: CPTS

La oxidación de la mayor parte de los componentes orgánicos es del 95 al 100 % del valor teórico. La piridina y los compuestos relacionados con ella resisten la oxidación, y los compuestos orgánicos volátiles sólo son oxidados en la medida en que permanecen en contacto con el oxidante. Los compuestos alifáticos de cadena lineal se oxidan con mayor eficacia cuando se añaden sulfato de plata (Ag_2SO_4) como catalizador. Sin embargo, el Ag_2SO_4 reacciona con el cloro, el bromo y el yodo para producir precipitados oxidados sólo parcialmente. Las dificultades causadas por la presencia de cloruros pueden ser superadas en gran medida, aunque no del todo, mediante la formación de un complejo con el sulfato de mercurio (HgSO_4) antes del procedimiento de reflujo. Aunque 1 g de HgSO_4 es especificado para una muestra de 50 ml, una cantidad menor puede ser usada cuando se sabe que la concentración de Cl^- es menor a 2 000 mg/l, tanto como se mantenga una relación 10:1 en peso entre HgSO_4 : Cl^- . No usar el test para muestras que contienen más de 2 000 mg/l. Las interferencias por haluros pueden ser removidas por precipitación con ión plata y filtración antes de la digestión. Esta operación puede introducir errores sustanciales debido a la oclusión y pérdidas por precipitación de la materia orgánica.²

² NOTA Especialmente en aguas residuales provenientes de la industria textil, el contenido de cloruros Cl^- , por lo tanto en este caso es conveniente determinar con anterioridad a la determinación de la DQO la concentración de cloruros.

El amoníaco y sus derivados, presente en la materia orgánica que contiene nitrógeno, o liberado desde ella, no son oxidados. Sin embargo, el cloro reacciona con estos compuestos. Por lo tanto las correcciones para interferencias por cloruro son dificultosas.

El nitrito (NO_2^-) ejerce una DQO de 1,1 mg O_2 /mg de NO_2^- - N. Ya que las concentraciones de NO_2^- en el agua raramente exceden de 1 ó 2 mg de NO_2^- - N/l, la interferencia se considera no significativa y suele ser ignorada. Para eliminar una interferencia significativa debida al NO_2^- , añádanse 10 mg de ácido sulfámico por cada mg de NO_2^- -N presente en el volumen de muestra utilizado; añádase la misma cantidad de ácido sulfámico al vaso de reflujo que contenga el blanco de agua destilada.

Las especies inorgánicas reducidas, tales como el hierro ferroso, el sulfuro, el ión manganoso, etc., resultan oxidadas cuantitativamente bajo las condiciones de la prueba. Para muestras que contengan niveles significativos de estas especies, puede suponerse una oxidación estequiométrica a partir de la concentración inicial conocida de las especies que interfieren, y se pueden hacer las correcciones para el valor de DQO obtenido. La plata, Cr (VI) y las sales de mercurio utilizadas en las determinaciones de DQO generan residuos peligrosos. El mayor problema está en el uso del mercurio. Si la contribución del cloruro a la DQO es despreciable, el sulfato de mercurio puede ser omitido. Tamaños de muestras más pequeñas reducen la cantidad de residuo. La recuperación del material residual puede ser factible si es permitida por la autoridad reguladora.

3.2. DQO Sistema cerrado – Método Colorimétrico

La mayor parte de la material orgánica resulta oxidada por una mezcla a ebullición de los ácidos crómico y sulfúrico. Se somete a digerir una muestra en una solución ácida fuerte con un exceso conocido de dicromato de potasio ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$). El tiempo estándar de digestión de 2 horas puede reducirse si se ha demostrado que un periodo mas corto produce los mismos resultados.

El ion dicromato ($\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$) oxida al material DQO en la muestra, reduciéndose a Cr^{3+} . El ion $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ presenta un máximo de absorción a 420 nm y el Cr^{3+} tiene su máximo a 600 nm. El valor de DQO puede determinarse ya sea siguiendo colorimétricamente la disminución del ion $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ o el aumento del ion Cr^{3+} . Para valores de DQO mayores de 100 utilizar 600 nm como longitud de onda analítica. Para valores menores se utiliza 440 nm. El estándar utilizado es el ftalato ácido de potasio (KHK) certificado, trazable con NIST u otro equivalente.

Si las muestras, estándares, y blancos son corridos bajo las mismas condiciones de volumen y de paso óptico, calcular la DQO como sigue:

$$\text{DQO como mg O}_2/\text{L} = \text{mg O}_2 \text{ en el volumen final} \times 1000 / \text{ml de la muestra}$$

Preferiblemente analizar las muestras en duplicado, a causa del pequeño tamaño de la muestra. Las muestras que están no homogéneas pueden requerir múltiples

determinaciones para obtener análisis precisos. Estas no deberían diferir de su promedio en más del +/- 5% para altos niveles de DQO, a menos que la condición de la muestra dictara de otro modo. En el procedimiento de bajo nivel, los resultados por debajo de 25 mg/l pueden tender a ser cualitativos más que cuantitativos.

3.3. DQO Sistema abierto

Este método se diferencia del anterior en que la cantidad de muestra utilizada es mayor, 50 -100 ml y en que la digestión se realiza a la presión atmosférica. La consecuencia de una menor temperatura de digestión en el sistema abierto, se compensa en este con una mayor concentración en la solución digestora.

El método es aplicable a muestras con DQO relativamente alto (mayores de 10,0 mg O₂/L). Para muestras con bajos valores de DQO, se deben emplear alícuotas de solución digestora de 5 ml y reducir todas las proporciones en esta misma escala, en balones de reacción de 50 ml de capacidad.

La mayor parte de la materia orgánica resulta oxidada por una mezcla a ebullición de los ácidos crómico y sulfúrico. Se somete a reflujo una muestra en una solución ácida fuerte con un exceso conocido de dicromato de potasio (K₂Cr₂O₇). Después de la digestión, el K₂Cr₂O₇ no reducido (equivalente a la cantidad de este reactivo no consumido) se determina (cuantifica) con sulfato de amonio ferroso (Fe(NH₄)₂(SO₄)₂) (SAF) para determinar la cantidad de K₂Cr₂O₇ consumido y calcular la materia orgánica oxidable en términos de equivalente de oxígeno.³ Manténganse constantes las proporciones de pesos de reactivos, de volúmenes y de concentraciones cuando se utilicen volúmenes de muestra distintos de 50 ml. El tiempo estándar de reflujo de 2 horas puede reducirse si se ha demostrado que un periodo mas corto produce los mismos resultados.

$$\text{DQO en mg O}_2\text{/L} = (A - B) \times M \times 8000 / \text{ml de la muestra}$$

Donde:

A = ml de SAF utilizados para el blanco

B = ml de SAF utilizados para la muestra

M = molaridad de la sal

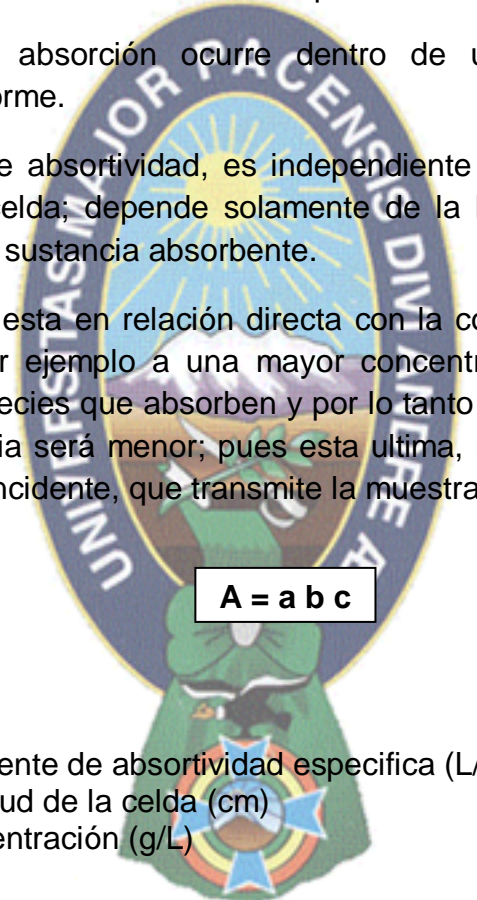
³ **NOTA:** El valor exacto de la normalidad del FAS se mide junto con el DQO en cada set de muestras, con referencia a la normalidad de la solución patrón de dicromato de potasio. Durante estas valoraciones, se debe procurar colocar exactamente la misma cantidad de indicador en todas las muestras, (2 gotas). Una vez logrado el viraje a color salmón, es posible que la reacción se devuelva, pero en todo caso, el punto final de la valoración se registra en el primer cambio sostenido a color salmón.

3.4. Análisis Cuantitativo DQO por Absorción de la Radiación Electromagnética

Previamente al desarrollo de los problemas, es conveniente recordar algunas consideraciones que efectúa la Ley de Beer, así como expresiones concernientes a la misma.

La Ley de Beer, considera los siguientes aspectos:

- 1) La radiación es monocromática.
- 2) Las especies absorbentes actúan independientemente unas de las otras.
- 3) El proceso de absorción ocurre dentro de un volumen de sección transversal uniforme.
- 4) El coeficiente de absorción, es independiente de la concentración y la longitud de la celda; depende solamente de la longitud de onda y de la naturaleza de la sustancia absorbente.
- 5) La absorbancia esta en relación directa con la concentración y la longitud de la celda, por ejemplo a una mayor concentración, existe una mayor cantidad de especies que absorben y por lo tanto la absorbancia es mayor, y la transmitancia será menor; pues esta ultima, representa la fracción del poder radiante incidente, que transmite la muestra.


$$A = a b c$$

Donde:

a = coeficiente de absorción específica (L/g*cm)

b = longitud de la celda (cm)

c = concentración (g/L)

Cuando:

$$c = (\text{mol/L}) \longrightarrow A = \epsilon b c$$

ϵ = coeficiente de absorción molar (L/mol*cm)

3.5. Definición de Producción Más Limpia (PML)⁴

3.5.1. Que es la Producción Más Limpia (PML)

⁴ Centro de Promoción de Tecnologías Sostenibles (CPTS) Guía Técnica de Producción Más Limpia. 2005

La Producción Mas Limpia es la aplicación continua de una estrategia ambiental, preventiva e integrada, a los procesos productivos, los productos y a los servicios para incrementar la eficiencia global y reducir riesgos para los seres humanos y el ambiente. La Producción Más Limpia puede ser aplicada a los procesos empleados en cualquier industria, a los productos mismos y a los diferentes servicios prestados en una sociedad.

3.5.2. En los procesos productivos

La Producción Más Limpia consiste en el ahorro de materias primas, agua y/o energía; la eliminación de materias primas tóxicas y peligrosas; y la reducción, en la fuente, de la cantidad y toxicidad de todas las emisiones y desechos asociados al proceso de producción.

3.5.3. En los productos

La Producción Mas Limpia busca reducir los impactos negativos de los productos sobre el ambiente, la salud y la seguridad, durante todo su ciclo de vida, desde la extracción de las materias primas, pasando por la transformación y uso, hasta la disposición final del producto.

3.5.4. En los servicios⁵

La Producción Mas Limpia implica integrar los asuntos ambientales en la concepción y prestación de servicios.

La PML incrementa la eficiencia productiva debido a que su aplicación conduce a la empresa a hacer un uso óptimo de materias primas, agua y energía, entre otros insumos, permitiéndole producir la misma cantidad de productos con una cantidad menor de insumos. El efecto es la disminución del costo unitario de producción y, al mismo tiempo, la reducción de la cantidad de residuos generada. Al necesitar una menor cantidad de insumos para generar la misma cantidad de productos, también se está permitiendo el uso de esos insumos en otras actividades (industriales, residenciales u otras), o simplemente al dejar de utilizarlas se está ayudando a la preservación de estos (por ejemplo, acuíferos).

Mas aun, se produce la reducción tanto del costo de tratamiento de desechos como de los impactos negativos en el medio ambiente. Por lo tanto, el incremento de la eficiencia productiva, implica beneficios económicos y ambientales simultáneos, que pueden no solo solventar las acciones de PML, si no mejorar la competitividad de las empresas. Por lo tanto, la PML debe concebirse como una estrategia empresarial que, al minimizar los daños ambientales y maximizar los

⁵ Esta es una traducción, realizada por el CPTS, de la definición oficial, en ingles, de Producción Mas Limpia, adoptada por el Programa de las Naciones Unidas para el medio Ambiente * PNUMA (United Nations Environment Program – UNEP)

rendimientos económicos, es ambiental y económicamente sostenible, por lo que puede, y debe, ser aplicada por cualquier tipo de empresa.

3.6. Sistema de Tratamiento de Residuos Sólidos Biodegradables en Efluentes Industriales

Los niveles de tratamiento se agrupan según los diferentes grados de eficiencia alcanzados en la remoción de los contaminantes existente en los líquidos residuales. Estos niveles se conocen usualmente como: pretratamiento, tratamiento primario, tratamiento secundario, tratamientos avanzados o terciarios.

El pretratamiento como su nombre lo indica se trata de un tratamiento previo, diseñado para remover partículas grandes, tales como plásticos, pelos, papeles, etc., ya sea que floten o se sedimenten, antes de que lleguen a las unidades de tratamiento posteriores. Aquí se emplean mayoritariamente rejillas o tamices.

Seguido de un desarenador para la eliminación de materias en suspensión gruesa que puede causar problemas en el mantenimiento de la planta de tratamiento y por último en este nivel de tratamiento un desengrasador para la eliminación de aceites y/o grasas principalmente grasa cárnico.

En el tratamiento primario se elimina un gran porcentaje de sólidos en suspensión, sobrenadante y materia inorgánica. En este nivel se hace sedimentar los materiales suspendidos usando tratamientos físicos o fisicoquímicos. También se utiliza la flotación. En algunos casos el tratamiento se hace dejando simplemente las aguas residuales un tiempo en grandes tanques o, en el caso de los tratamientos primarios mejorados, añadiendo al agua contenida en estos grandes tanques, sustancias químicas floculantes que hacen más rápida y eficaz la sedimentación.

También se incluyen en estos tratamientos la neutralización del pH y la eliminación de contaminantes volátiles como el amoníaco (desorción). Las operaciones que incluye son el desaceitado y desengrase, la sedimentación primaria, la filtración, neutralización y la desorción.

En el tratamiento secundario se trata de reducir el contenido en materia orgánica acelerando los procesos biológicos naturales. En esta fase del tratamiento se eliminan las partículas coloidales y similares. Puede incluir procesos biológicos y químicos. El tipo de tratamiento más empleado es el biológico, en el que se facilita que bacterias digieran la materia orgánica que llevan las aguas. Este proceso se suele hacer llevando el efluente que sale del tratamiento primario a tanques en los que se mezcla con agua cargada de microorganismos.

3.6.1. Propiedades biológicas de los residuos sólidos orgánicos

Excluyendo el plástico, la goma y el cuero, la fracción orgánica de la mayoría de los residuos se puede clasificar de la forma siguiente:

- Constituyentes solubles en agua, tales como azúcares, féculas, aminoácidos y diversos ácidos orgánicos.
- Hemicelulosa, un producto de condensación de azúcares con cinco y seis carbonos.
- Celulosa, un producto de condensación de glucosa de azúcar con seis carbonos.
- Grasas, aceites y ceras, que son ésteres de alcoholes y ácidos grasos de cadena larga.
- Lignina, un material polímero presente en algunos productos de papel como periódicos.
- Lignocelulosa, una combinación de lignina y celulosa.
- Proteínas, que están formadas por cadenas de aminoácidos.

La característica biológica más importante de la fracción orgánica de los residuos de las ciudades, es que casi todos los componentes orgánicos pueden ser convertidos biológicamente en gases y sólidos orgánicos relativamente inertes. La producción de olores y la generación de moscas están relacionadas también con la naturaleza putrefactible de los materiales orgánicos encontrados en este tipo de residuos (por ejemplo los residuos industriales líquidos).

3.7. Elaboración de Compost y Lombricultura⁶

En promedio, los desechos orgánicos equivalen al 40% o 50% de la producción de desechos por peso, en América Latina y el Caribe, aunque esto varía según el estrato del barrio, la región o el país (CITA/PNUMS 1996). Si se recuperara y procesara este porcentaje de residuos para su reutilización en la elaboración de compost, lombricultura o digestión anaerobia (reactores de biogás), se reduciría considerablemente el impacto adverso de los rellenos sanitarios. Estos requerirían menos espacio y/o tendrían un promedio de vida más prolongado. Además producirían menos lixiviados y metanos. No obstante, en la actualidad, es poco el grado de recuperación y procesamiento de desechos orgánicos (CITA/PNUMA 1996; Bartone 1997).

3.7.1. Elaboración de Compost

⁶ Guía Ambiental para Actividades de Desarrollo en Latinoamérica y el Caribe

En América latina y Caribe se han hecho intentos de producir compost tanto a pequeña como a gran escala. Los esfuerzos por producir compost a gran escala de forma centralizada. Han fracasado en toda América Latina, lo que sugiere que este enfoque debería evitarse (CITA/PNUMA 1996). En estos programas generalmente se hicieron esfuerzos por separar el componente orgánico de los desechos mixtos. La causa del fracaso ha sido principalmente la imposibilidad de recuperar los costos. Los estudios de factibilidad gubernamentales fueron inadecuados o inexistentes y las plantas no pudieron generar los ingresos suficientes para amortizar los costos de operación.

Las empresas pequeñas dedicadas a la elaboración de compost a pequeña escala han tenido resultados apenas un poco mejores. Aun el compost de mas alta calidad producido en estas plantas a partir de desechos seleccionados en la fuente, no puede venderse a un precio suficientemente alto para sostener holgadamente las operaciones y estos negocios experimentan grandes problemas económicos (CITA/PNUMA 1996).

La rentabilidad podría mejorarse si los clientes estuvieran mejor informados de las ventajas del compost. Se requiere mercadeo y concientización para crear una mayor demanda urbana, por ejemplo, a través de la promoción de la agricultura urbana. Como otra alternativa, las municipalidades podrían subsidiar la elaboración de compost a pequeña escala mediante garantías de precio/compra o pagos basados en las toneladas de material que no se depositan en los rellenos sanitarios. (Los subsidios son económicamente viables se basan en costos evitados en el proceso de manejo de desechos). La utilización de subsidios puede ser la única forma de garantizar que este servicio esencial se sostenga en tiempos de recesión económica (*Enterprises for the Recycling and Composting of Municipal Solid Waste 1993*).

Debe observarse que el proceso de elaboración de compost puede producir lixiviados que no deben verterse directamente a cuerpos de agua y que pueden requerir un tratamiento simple, por ejemplo, el uso de tanques de evaporación (*Enterprises for the Recycling and Composting of Municipal Solid Waste 1993*).



Figura 3.2. Residuos lombricompostados en 3 semanas
Fuente: Fotografía, cortesía del Ing. Alberto Pati.



Figura 3.3. Lombricompost cernido
Fuente: Fotografía, cortesía del Ing. Alberto Pati.



Figura 3.4. Pila de compost en relleno sanitario de Mallasa, para el tratamiento de residuos orgánicos biodegradables.

Fuente: Fotografía, Alberto Calle 2011

Las figuras 3.2., 3.3. y 3.4. Muestran el compostaje es un proceso para la producción de compost, el cual es un producto intermedio en el proceso de la mineralización de la materia orgánica antes de llegar a transformarse en humus.

3.7.2. Lombricultura

Las pequeñas granjas de lombricultura, manejadas por 5 o 6 personas, han demostrado más éxito que la elaboración de compost, aunque su aceptación no es aun muy extensa. La lombricultura se beneficia de un mejor control de calidad y del concepto de que el estiércol (los excrementos) de las lombrices se deriva de los desechos vegetales “limpios” mientras que el compost se deriva de la “basura”. Además, los excrementos de lombriz son mas ricos en nutrientes que el compost (CITA/PNUMA 1996).



Figura 3.5. Tratamiento de residuos sólidos orgánicos biodegradables mediante técnicas de lombricultura

Fuente: Fotografía, cortesía del Ing. Alberto Pati.

4. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El aumento en la generación de descarga al alcantarillado de aguas residuales con incorporación de residuos sólidos orgánicos biodegradables disueltos y suspendidos, asociado al crecimiento de pedidos y la globalización que genera cultura consumista de industrias de alimento, ha llevado a la aplicación de tecnologías apropiadas para la disposición final de residuos sólidos biodegradables que permitan un control racional de los impactos producidos por los residuos sólidos biodegradables disueltos en el efluente, sin que se ponga en alto riesgo el medio ambiente y la salud pública. El Alto, La Paz - Bolivia, con base en esta problemática ha venido diseñando que el Centro de Promoción de Tecnologías Sostenibles (CPTS) mediante aplicación de técnicas de Diagnóstico de Producción Más Limpia (DPML) e implementando nuevas políticas tendientes a la gestión integral de aguas residuales, las cuales sólo se pueden materializar mediante el seguimiento estricto del Reglamento de Descargas Industriales a Sistemas de Alcantarillado EPSAS. IIS 022/2009. Es por esto que la implementación de acciones para el aprovechamiento de los residuos sólidos biodegradables (RD) y (RS) que están incorporados en el agua, es fundamental para el cumplimiento de los objetivos de Reglamento de Descargas Industriales a Sistemas de Alcantarillado EPSAS.

Según caracterizaciones de residuos sólidos industriales en Bolivia, alcanza mayor a 55% de la producción per cápita (ppc). La disposición indiscriminada de éstos residuos en rellenos sanitarios se traduce en pérdida de nutrientes y contaminación ambiental. Esta, por las características fisicoquímicas de los residuos sólidos orgánicos industriales y los procesos de descomposición que le son propios, se corresponde con la generación de gases y lixiviados con altas cargas contaminantes, creando la necesidad de sistemas de tratamiento costosos y complejos, necesarios para realizar la remoción de contaminantes que exige la normatividad, de tal manera que se evite un mayor deterioro de los recursos agua, aire y suelo.

De igual manera, el no aprovechamiento implica que la vida útil de los rellenos sanitarios se agote de manera más rápida. Se sabe hoy que sitios aptos para tal fin escasean y que además, el montaje y operación de estas infraestructuras es inductor de graves conflictos ambientales y sociales.

Esta realidad no es ajena al emplazamiento y operación de los rellenos sanitarios, cuyos impactos ambientales sobre el agua y el aire se agravan por el importante contenido de residuos sólidos biodegradables que, bajo las condiciones de pluviosidad propias de latitudes intertropicales, incrementa la producción de gases, lixiviados y olores ofensivos, situación inductora de conflictividad ambiental en localidades y regiones del país. Es claro que, desde el propósito de reducir el impacto ambiental inducido por los rellenos sanitarios y contaminaciones en lagos

y ríos (Ejemplo lago Titi-Caca), el aprovechamiento de residuos sólidos biodegradables también configura una prioridad en materia de gestión ambiental en el país y en la región.



5. JUSTIFICACIÓN

La composición física de los residuos sólidos orgánicos biodegradables generados por las industrias de bebidas y alimentos en la Ciudad de El Alto está constituida en más del 50% por residuos orgánicos biodegradables en el efluente; es por esto CPTS con la medida de PML conlleva al máximo aprovechamiento de los mismos para disminuir en gran medida la presión sobre el medio ambiente como soporte de actividades antrópicas. Sólo apuntando a una eficiente gestión integral de residuos sólidos en los efluentes industriales desde la presentación hasta la disposición final, se implementarán los instrumentos de manejo basados en principios de eficiencia, eficacia y efectividad que generen una sostenibilidad ambiental. El estudio de la relación de los procesos adecuados para la transformación de los residuos sólidos orgánicos biodegradables se convierte en el factor primordial para crear los escenarios que determinen la viabilidad técnica, y ambiental asociada al tema.

Esta medida de PML conduce y conlleva al máximo aprovechamiento de manera directa a la disminución de impactos ambientales y sociales generados, lo cual es competencia de la gestión ambiental. La disposición final y la aplicación de los planes de manejo ambiental a este componente, a la luz de la exigente normatividad ambiental generarán seguramente en un futuro cercano incrementos tarifarios que afectarán la economía de la empresa, o por el contrario, de no aplicarse pondrían en riesgo la viabilidad económica y financiera de las empresas prestadoras del servicio público domiciliario del aseo.

Se pretende consolidar y sistematizar la información existente para hacer un análisis reflexivo en torno al aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos generados por las industrias que sirva de insumo en la formulación de lineamientos y directrices para los entes reguladores.

6. OBJETIVOS

6.1. General

- ✓ Contribuir a reducir la contaminación hídrica proveniente de residuos orgánicos biodegradables contenidos en los efluentes de los sectores industriales de bebidas y alimentos.

6.2. Específicos

- ✓ Establecer la carga orgánica contaminante en el efluente de la empresa de productos cárnicos Tusequis (Stege) y en las operaciones productivas donde se genera, mediante determinaciones de DQO y de cantidad de sólidos totales.
- ✓ Contribuir a reducir la contaminación hídrica proveniente de residuos orgánicos biodegradables disueltos (RD) y suspendidos (RS) en el efluente Tusequis, empleando técnicas de Producción Más Limpia (PML).
- ✓ Contribuir a reducir, en por lo menos 50%, la DQO del efluente de la empresa Tusequis, mediante técnicas de compostaje y lombricultura.



7. METODOLOGÍA

El presente título muestra la metodología general empleada en el trabajo, así mismo los métodos usados en este trabajo de investigación. Además se incluye la calibración de una solución patrón de Ftalato ácido de potasio (FHK) para la validación de la DQO. Los planes de muestreo y el detalle de los análisis aplicados a cada muestra.

7.1. Metodología general

El trabajo desarrollado pretende determinar la carga orgánica contaminante del efluente de Tusequis a través de la norma boliviana NB 64009 Calidad del agua - Determinación de la Demanda Química de Oxígeno DQO en efluentes industriales – Métodos de reflujos abiertos y de reflujos cerrados (ICS 13.060.30 Aguas residuales), donde participaron en la elaboración de la norma; CPTS, ABLEA – IIQ y otras entidades. En este trabajo se aplicará el método de reflujos cerrados.

La **Figura 7.1** muestra un esquema general de la metodología seguida en la ejecución de este trabajo. En un inicio, se realizó una revisión bibliográfica del tema, posteriormente se realizó la validación del método estandarizado para la determinación de la DQO (Método de Reflujo Cerrado NB 64009); que se empleó en las determinaciones del efluente de agua residual industrial de alimentos. Los métodos analíticos fueron empleados en el desarrollo de la técnica colorimétrica y espectrofotométrica.

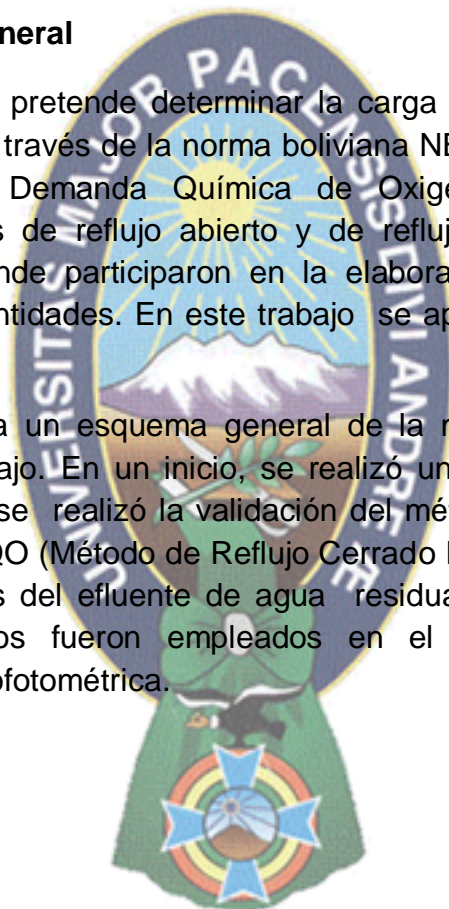
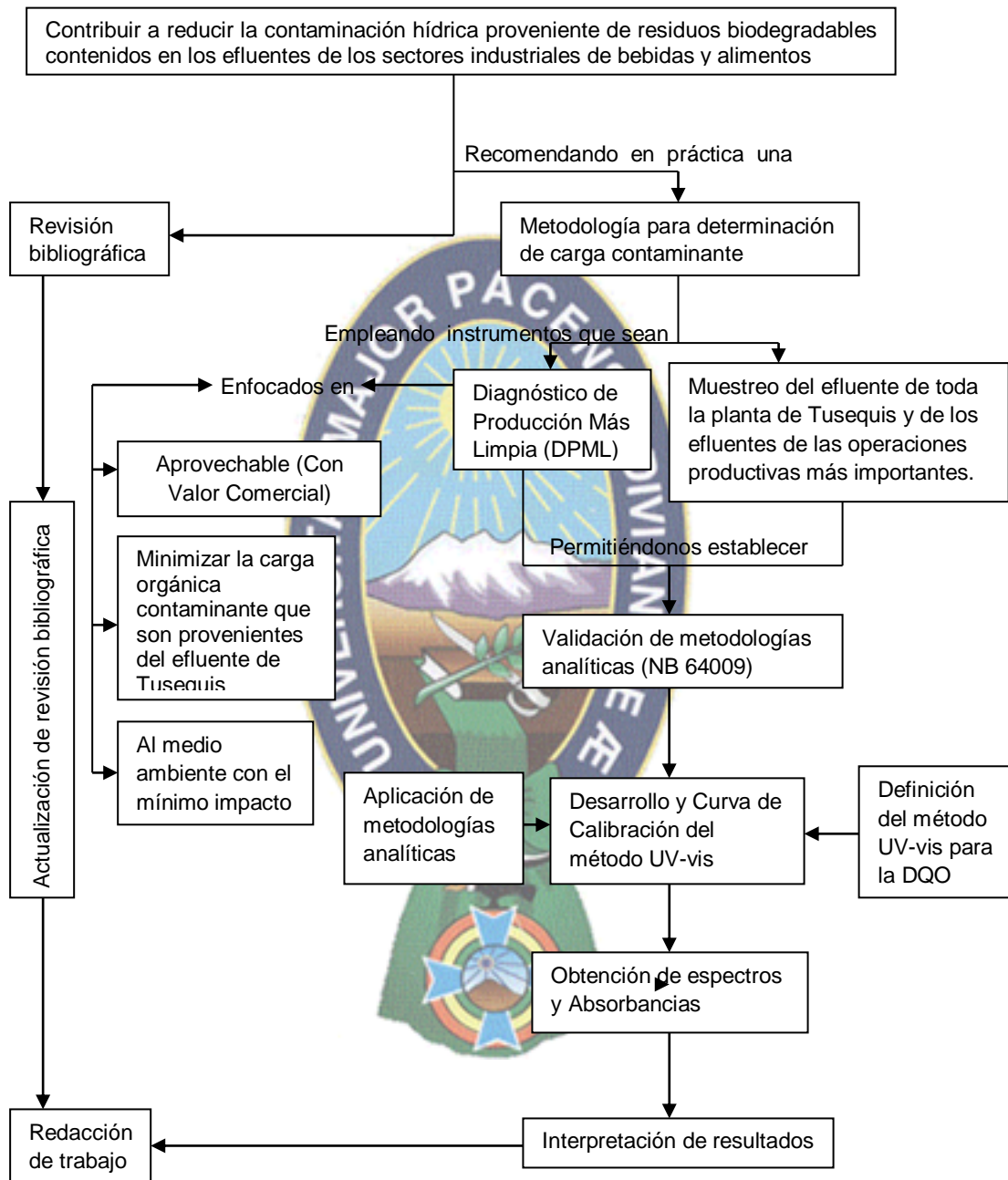


Figura 7.1. Metodología general de la ejecución del trabajo



7.2. Metodología para la determinación de la DQO

7.2.1. Métodos de muestreo

Se obtuvieron muestras de la descarga de Tusequis (**Figura 7.2.**) al alcantarillado y de las descargas de las operaciones productivas más importantes en la generación de residuos sólidos orgánicos biodegradables.

Las muestras de agua residual fueron obtenidas tomando en cuenta las siguientes precauciones:

- En la numeración de recipientes de muestreo, como son las botellas plásticas utilizados, se debe tener números distintos para cada sitio de muestreo.
- No se debe renumerar las botellas sobre los números ya establecidos y el muestreador deberá verificar que las botellas plásticas poseen números claros y legibles. Se debe descartar botellas renumerados y con otras señas distintas, tales como asteriscos, letras y pedazos de cintas adhesivas, etc. Las tapas de las botellas no se identificaran con ninguna numeración.
- Se debe tener diseñada una hoja para el muestreo. Esta hoja permitirá registrar la información de sitios distintos de muestreo, es de fácil entendimiento y resume la información necesaria para la confección posterior de los reportes operacionales.

Seguidamente se presenta una hoja para el monitoreo para la realización de las labores de muestreo (**Ver anexo 10.2.**).



Figura 7.2. Imagen satelital de la ubicación de la planta industrial de Tusequis (Stege)

Fuente: GoogleEartch

7.2.2. Toma de muestras y almacenamiento

Preferiblemente, recójense las muestras en frascos de cristal. Ensáyense las muestras inestables sin demora. Si es inevitable el retraso antes del análisis, consérvese la muestra por acidificación a un pH 2 utilizando H_2SO_4 concentrado. Mézclense las muestras que contengan sólidos precipitables antes del análisis. Se dan detalles en la (NB 64002).

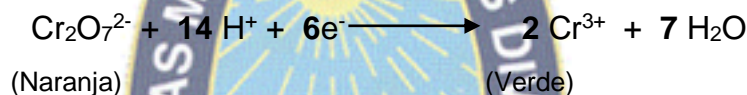
7.2.3. Parámetros Químicos (DQO)

Determinación del contenido total de materia orgánica en muestras acuosas a partir de la cantidad de oxígeno necesaria para su completa oxidación.

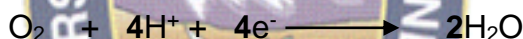
La Demanda Total de Oxígeno (DTO) indica la cantidad de O₂ requerida para la oxidación completa de los contaminantes de un vertido. Además de las especies carbonadas, compuestos de nitrógeno y azufre con carácter reductor, como NH₃ y H₂S, también contribuyen a la DTO.

Muchos contaminantes se pueden oxidar en caliente con dicromato (Cr₂O₇²⁻), lo cual constituye un método analítico habitual para la determinación de materia orgánica en residuos. Se define la Demanda Química de Oxígeno (DQO) como la cantidad de O₂ químicamente equivalente al Cr₂O₇²⁻ consumido en este proceso. Dicha equivalencia queda establecida a partir de las reacciones de reducción-oxidación correspondientes (en medio ácido):

Semireacción para el dicromato:



Semireacción para el oxígeno:



Como se puede observar, cada Cr₂O₇²⁻ consume 6 electrones al reducirse, mientras que cada molécula de oxígeno consume 4 electrones. Por consiguiente, el consumo de 1 mol de Cr₂O₇²⁻ en la oxidación es equivalente al consumo de 1.5 moles de O₂.

La determinación de la DQO se utiliza para la caracterización y regulación de la emisión de desechos orgánicos biodegradables industriales como en el caso de Tusequis. El campo normal de variación de la DQO en este tipo de vertidos oscila típicamente en el intervalo 200-4000 mg de O₂/L.

La DQO se utiliza también para estimar la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), en residuos que son demasiado tóxicos para la determinación de esta última. La DBO se define a partir del oxígeno consumido por microorganismos para la degradación de la materia orgánica en la muestra. La DQO es, normalmente, más alta que la DBO, aunque la cantidad variará de unas aguas a otras.

El método empleado se basa en la reacción de una muestra de agua contaminada (por ejemplo, efluente de Tusequis, vertido industrial de alimento)

con un oxidante enérgico, como es el dicromato potásico⁷, en medio ácido sulfúrico con Ag^+ como catalizador y la determinación por colorimetría de la cantidad de dicromato consumida en este proceso.

Los compuestos orgánicos oxidables actúan reduciendo el dicromato, $Cr(VI)$, a ion crómico $Cr(III)$. La cantidad de dicromato consumido proporciona una medida de la concentración de contaminantes en el agua.

La utilización de la colorimetría (absorción visible-ultravioleta) para la determinación de la DQO en este trabajo se basa en los diferentes espectros de absorción del $Cr(VI)$ (de color naranja, absorbe en longitudes de onda en torno a 420 nm) y del $Cr(III)$ (de color verde, absorbe en torno a 600 nm), por lo que ambas especies se pueden detectar independientemente.

Realizaremos la curva de calibración de la técnica con disoluciones patrón de Ftalato ácido potásico (sustancia orgánica reductora), cuya DQO es bien conocida.

7.2.4. DQO por el método de oxidación por reflujo cerrado – Método colorimétrico

El método estándar utiliza sulfato de plata como catalizador para la oxidación de los compuestos alifáticos lineales y sulfato mercurico como inhibidor de los haluros⁸, que de estar presentes en la muestra, sufrirían oxidación al halógeno respectivo y alterarían las mediciones. Interfieren en la determinación de DQO, los haluros, los nitritos, el ion ferroso y, en general, cualquier sustancia inorgánica oxidable bajo las condiciones del trabajo.

El método de digestión en sistema cerrado es aplicable a muestras previamente homogenizadas o de naturaleza muy homogénea y/o cuando la disponibilidad de muestra es escasa. Esto, porque debido al pequeño tamaño de las muestras (2 ml), los errores implícitos en alícuotas que no representan adecuadamente el cuerpo de las muestras, conducen a resultados que pueden ser muy diferentes de los reales.

No sobra advertir que por la misma razón anterior, los tubos de reacción, sus tapas y todos los materiales utilizados en la medición, deben estar escrupulosamente “limpios de materia orgánica”, situación que conduce con frecuencia a errores “inexplicables”, causados por el exceso de confianza que deriva del trabajo rutinario con series de muestras.

⁷ Existe un método clásico (volumétrico) para evaluar la DQO en aguas, el cual utiliza también dicromato (en exceso) como oxidante y sulfato amónico ferroso como reactivo volumétrico. El permanganato potásico también se usa habitualmente como agente oxidante.

⁸ Sin embargo, téngase esta información presente a la hora de realizar pruebas de DQO sobre muestras con altas concentraciones de ion cloruro tales como las provenientes de aguas marinas o aguas residuales del petróleo.

7.2.4.1. Reactivos, materiales y/o equipos

Equipos

- Digestor de marca Hach, modelo 45600 para tubos de ensayo “termobloque”) regulada a 150°C (ver figura 7.4.)
- Colorímetro portátil de un solo haz de marca Hach, modelo DR 890 (ver figura 7.3.)
- Espectrofotómetro UV-visible de marca CECIL, modelo CE 7400 (ver figura 7.5.)



Figura 7.3. Colorímetro modelo DR 890

Fuente: CPTS

Fotografía: Alberto Calle 2011

Figura 7.4. Digestor modelo 45600

Fuente: CPTS

Fotografía: Alberto Calle 2011



Figura 7.5. Espectrofotómetro UV-vis modelo CE 7400

Fuente: Laboratorio Bioorgánica Carrera de Ciencias Químicas

Fotografía: Alberto Calle 2011

Materiales

2 Matraces aforados de 50 ml
 3 Matraces aforados de 100 ml
 6 Matraces aforados de 25 ml
 1 Pizeta de 500 ml
 2 Vasos de precipitados de 100 ml
 2 Vasos de precipitados de 50 ml
 Tubos de ensayo de vidrio con tapón de rosca
 1 gradilla para tubos de ensayo
 1 varilla de vidrio
 Pipetas graduadas de 0.5 mL, 2 mL y 10 mL

Reactivos

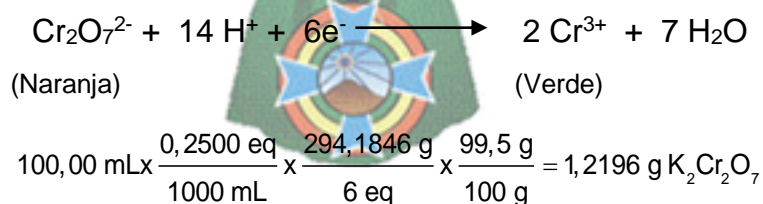
- * Dicromato potasico ($K_2Cr_2O_7$) 99.5%
- * Ftalato acido de potasio ($KC_8H_6O_4$)
- * Sulfato de plata (Ag_2SO_4) 99.1%
- * Ácido sulfúrico concentrado (H_2SO_4) 98% (d=1.84 g/mL)
- * Sulfato mercúrico ($HgSO_4$)

7.2.4.2. Preparación de soluciones

- **Solución catalizadora**

Ag_2SO_4 al 1,0 % en H_2SO_4 . Se pesa aproximadamente 2.75 g de Ag_2SO_4 al miligramo y se afora a 275,00 mL con H_2SO_4 98 % (d=1,84 g/mL).

- **Solución patrón de dicromato de potasio 0.25 N (Solución Digestora)**



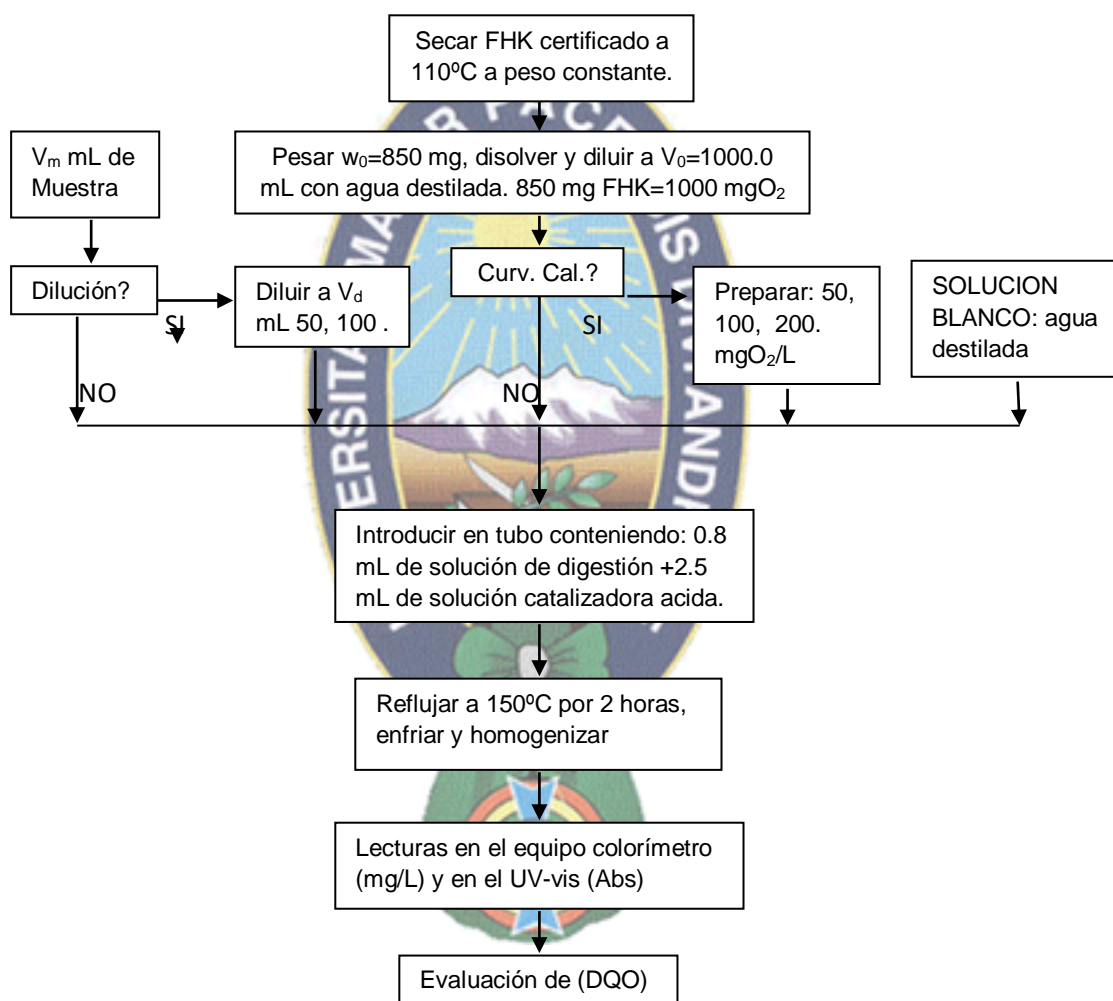
Se pesa aproximadamente 1,2196 g de $K_2Cr_2O_7$, secado a 103 °C/2 h, al miligramo y se afora a 100,00 mL con agua destilada.

- **Solución patrón de Ftalato ácido de potasio (FHK)**

Disolución patrón de Ftalato ácido de potasio, 850 mg/L. Pesar 0.085 g del reactivo, disolver en agua destilada y diluir a 100 mL en matraz aforado.

7.2.4.3. Procedimiento para la validación de metodologías analíticas (NB 64009)

Figura 7.6. Flujoograma del procedimiento para la validación de metodologías analíticas (NB 64009)



- I. El análisis de la DQO de la muestra compuesta diaria en el efluente de Tusequis. La determinación se realizó por el método de reactor típico para pruebas de DQO en sistema cerrado, (marca Hach, modelo 45600) y luego lectura de las muestras digeridas en un colorímetro portátil de un solo haz (marca Hach, modelo DR 890), y análisis en un espectrofotómetro UV-visible de marca CECIL, modelo CE 7400. El análisis se realizó según la norma boliviana para la determinación de DQO en efluentes industriales⁹.
- II. Añadir en cada uno de los tubos de ensayo una punta de espátula (unos 0.03 g, pesados en la balanza de precisión) de sulfato mercúrico (HgSO₄). los iones mercurio (Hg²⁺) actuarán como complejante del ion cloruro (Cl⁻), evitando que éste interfiera en la medida colorimétrica, ya que concentraciones elevadas de Cl⁻ libre en disolución consume oxidante.



- III. Preparación de disoluciones estándar y muestras problema totalmente homogeneizadas.

a) Numerar claramente los tubos de ensayo con rotulador de vidrio.

b) Añadir en los tubos de ensayo los siguientes volúmenes de estándar de ftalato ácido de potasio (FHK 850 mg/L):

Tubo 1: 00 mL; **Tubo 2:** 0.25 mL; **Tubo 3:** 0.50 mL, **Tubo 4:** 1.00 mL

En los últimos **Tubos 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14 y 15**, añadir 1.00 mL de disolución problema de la muestra diaria.

- IV. Adición de la solución oxidante (K₂Cr₂O₇ 0.25 N)

a) Añadir a cada uno de los Tubos, 0.8 mL de disolución de dicromato potásico (K₂Cr₂O₇ 0.25 N).

b) Enrasar cada tubo de ensayo hasta 2.5 mL con agua destilada, agitación vigorosa.

Ejemplo del proceso de preparación:

Tubo 1: 0.00 mL (solución FHK) + 0.8 mL (K₂Cr₂O₇ 0.25 N)+ 1.7 mL (agua)

Tubo 2: 0.25 mL (solución FHK) + 0.8 mL (K₂Cr₂O₇ 0.25 N)+ 1.45 mL (agua)

.....

Tubo 4: 1.00 mL (solución FHK) + 0.8 mL (K₂Cr₂O₇ 0.25 N)+ 0.20 mL (agua)

⁹ NB 64009

Tubo 5-15: 1 mL (disolución problema) + 0.8 mL ($K_2Cr_2O_7$ 0.25 N)+ 0.7 mL (agua)

V. Adición de la solución catalizadora (Ag_2SO_4 al 1,0 % en H_2SO_4)

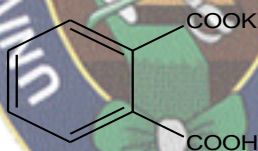
Añadir 2.5 mL de solución catalizadora en cada tubo de ensayo.¹⁰

VI. Concluidas las anteriores operaciones, se cierran bien los tubos, se limpian y secan por fuera y, finalmente, se agitan e introducen en los depósitos de la digestión a 150°C.

VII. Digestión durante 2 horas, a 150 °C, de los patrones, las muestras y el blanco.

VIII. Mientras se refluja los tubos, **se realizó el cálculo de la DQO de los tubos de ensayo con las disoluciones patrón.** Seguir para ello el siguiente esquema:

La reacción de oxidación de Ftalato es:



Ftalato ácido de potasio

por lo que una disolución de 850 mg/L de ftalato ácido de potasio requiere 1000 mg/L de O_2 para su oxidación (esto es, la DQO de 850 mg/L de ftalato es de 1000 mg/L).¹¹

Teniendo en cuenta la concentración real de la disolución patrón y la dilución hasta 5 mL realizada en cada tubo de ensayo, se calculo la DQO de cada tubo de acuerdo con la anterior equivalencia y completando la siguiente tabla:

Cuadro 7.1. DQO (mg/L O_2) de las disoluciones estándar FHK.

¹⁰ Esta reacción es exotérmica, se realizará en la campana extractora utilizando gafas de protección y guantes. Añadir la solución catalizadora con una pipeta poco a poco. Finalmente, limpiar bien los restos de la solución ácido en el exterior de los tubos y en la campana.

¹¹ Por lo que, según la estequiometria de la reacción :

$0.850 \text{ g-FHK} * 1\text{mol-FHK} / 204\text{g-FHK} * 0.7\text{mol-O}_2 / 1\text{mol-FHK} * 32\text{g-O}_2 / 1\text{mol-O}_2 = 1 \text{ g-O}_2$

| Tubo N° | Tubo 1 | Tubo 2 | Tubo 3 | Tubo 4 |
|-----------------------------|--------|--------|--------|--------|
| mL patrón añadidos | 0.00 | 0.25 | 0.50 | 1.00 |
| Concentración de FHK (mg/L) | 0.00 | 42.50 | 85.00 | 170.0 |
| DQO (mg/L O ₂) | 0.00 | 50.00 | 100.0 | 200.0 |

- IX. A continuación, pasar los tubos de ensayo a una gradilla, enfriamiento de los tubos durante 20 min. a temperatura ambiente.
- X. calibración del colorímetro a cero, utilizando el blanco, tubo nº 1.
- XI. Toma de diez lecturas del blanco. Para cada una, se sacaba el tubo de la puerta muestra del colorímetro y se volvía a colocar en la misma posición.
- XII. Toma de diez lecturas de cada patrón y muestra, de la misma forma para el blanco.
- XIII. Lecturas de absorción UV-visible.
- a. Preparación de la curva de calibración: Se preparó por lo menos cuatro soluciones estándares de Ftalato ácido de potasio con equivalentes concentraciones de DQO para cubrir el rango de concentraciones. Preparar curvas de calibración para cada nuevo lote de tubos o ampollas o cuando los estándares preparados en la sección difieren en valores de >5% de la curva de calibración. Las curvas deberían ser rectas. Sin embargo, alguna no linealidad puede ocurrir, dependiendo del instrumento empleado y de la precisión total necesitada.

En el espectrofotómetro, medir el espectro de absorción UV-visible en el intervalo 370-670 nm de las muestras estándar de ftalato más diluida y más concentrada.

Localizar las longitudes de onda de máxima absorción a 420 nm (Cr(VI)) y 600 nm (Cr(III)). Utilizar agua destilada como cubeta de referencia del aparato.

- b. Medición de la Reducción de dicromato: Enfriar la muestra a temperatura ambiente lentamente para evitar la formación de precipitado. Una vez que las muestras han sido enfriadas, ventilarlas, si fuera necesario, para liberar cualquier presión generada durante la digestión. Mezclar el contenido del

vaso de reacción para combinar el agua condensada y desagregar la materia insoluble. Dejar que la materia suspendida se sedimente y asegurarse que el paso óptico este limpio. Medir la absorción de cada muestra, blanco y estándar a la longitud de onda seleccionada (420 nm o 600 nm). A 600 nm, use un blanco no digerido como solución de referencia. Analice un blanco digerido para confirmar la calidad analítica de los reactivos y determinar la DQO del blanco, sustraer la DQO del blanco de cada una de las muestras problema. Alternativamente, use el blanco digerido como solución de referencia una vez que se ha establecido que el blanco tiene una baja. A 420 nm, usar agua como solución de referencia. Medir todas las muestras, blancos y estándares contra la solución. La medida de absorción de un blanco no digerido conteniendo dicromato, con agua grado reactivo reemplazando a la muestra, dará la absorción inicial del dicromato. Cualquier muestra digerida, blanco, o estándar que tenga un valor de DQO dará una absorbancia menor a causa de la disminución en la concentración del ión dicromato. Analizar el blanco digerido con agua grado reactivo reemplazando la muestra, para asegurar la calidad de los reactivos y determinar la contribución de los reactivos al decremento en la absorbancia durante la digestión realizada. La diferencia entre la absorbancia de una muestra digerida dada y el blanco digerido es una medida de la DQO de la muestra¹².

- c. Efectuar lecturas de absorbancia de las 15 muestras a cada una de las dos longitudes de onda correspondientes a los máximos encontrados. De nuevo, utilizar agua destilada para poner a cero el aparato.

7.2.4.4. Precauciones

- Una excesiva ebullición puede producir una descomposición del $K_2Cr_2O_7$, inclusive en el blanco, con lo que se obtendrán resultados erróneos, como se muestra en la siguiente ecuación:



- El método es satisfactorio para DQO's superiores a 50 mg/L y contenidos de Cl^- (expresados como Cl^-) inferiores a 1,5 g/L.
- Si el contenido de Cl^- es superior a 1,5 g/L se debe aumentar la cantidad de $HgSO_4$ para tener una relación $HgSO_4/Cl^-$ próxima a 10. Las DQO's obtenidas en presencia de contenidos superiores a este límite no son muy confiables, por la siguiente reacción:

¹² NB 60049



- El método permite oxidar la mayor parte de los compuestos orgánicos al 95 %. Sin embargo, algunos de ellos, muy volátiles, pueden eliminarse en el momento de la adición de H_2SO_4 y del calentamiento. Otros, se oxida parcialmente (metionina, ácido cítrico, ácido láctico, etc) o muy poco (piridina, pirimidina, purina, así como en general las funciones amidas o imidas)

7.3. Metodología para el seguimiento del Diagnóstico de Producción Más Limpia (DPML)

Como metodología del DPML, se adoptará prácticas de PML en el manejo de cargas contaminantes y en el proceso productivo. La mayor parte se orientan a lograr que los contaminantes de los residuos líquidos industriales de Tusequis estén en niveles menores a los permitidos por los convenios con EPSAS (Empresa Pública Social de Aguas y Saneamiento S.A.). El cuadro 7.2. muestra la metodología que se empleará en la ejecución del trabajo, así mismo todas los procesos de PML a efectuarse, incluyendo beneficios ambientales, y el detalle de las mismas se encuentra en resultados y discusiones, resultados de las recomendaciones de PML planteadas en el presente trabajo.

Para realizar una buena producción más limpia se recomienda en el presente trabajo, teniendo un propósito, prevenir la contaminación ambiental. En general, la mayor parte de los resultados que se obtendrán mediante una aplicación de PML se dirige a disminuir la carga contaminante del efluente proveniente de los residuos biodegradables mediante la biodegradación de la materia orgánica utilizando la técnica de la lombricultura (**ver figura 7.7.**). Esta técnica está descrita en el proyecto que viene elaborado por el CPTS del cual Tusequis forma parte.

Cuadro 7.2. Plantiamiento para el seguimiento de Producción Más Limpia (PML)

| Procesos de PML | Beneficios ambientales |
|---|--|
| Implementar técnicas de lombricultura para el tratamiento de residuos sólidos y residuos industriales líquidos. | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Disminución de DQO en el efluente, por lo menos 50%. ▪ Disminución de sólidos en el botadero de Villa Ingenio |
| Recuperar residuos biodegradables disueltos en el efluente de Tusequis. | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Disminución de carga orgánica contaminante la DQO, además de N y P. |
| En recepción de cerdos, segregar los primeros lavados y enviarlos al lombrario o al tratamiento de lombricompost. | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Disminución de carga orgánica contaminante en el efluente de Tusequis. |
| En la sección cocidos, recuperar | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Se reducirá la carga |

| | |
|---|--|
| el colágeno vertido y solidificado y enviarlos al lombrario o al tratamiento de lombricompost.. | orgánica contaminante en el efluente de Tusequis y se remueve una causa de contaminación hídrica. |
| En el lavado de equipos, incrementar la recuperacion de sólidos biodegradables (residuos feculosos) y enviar al tratamiento de lombricompost. | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Se reducirá la DQO del efluente debido a que se descargará menos material fino (feculosos) biodegradables. |
| En toda la planta de producción de Tusequis se recomienda esta técnica de PML. | <ul style="list-style-type: none"> ▪ En lo ambiental, se disminuiría el DBO/DQO/N/P del efluente. |

7.4. Metodología para la elaboración de Compost y Lombricultura

¿Qué es la Lombricultura?

Se entiende por Lombricultura las diversas operaciones relacionadas con la cría y producción de lombrices, y el tratamiento, por medio de éstas, de residuos orgánicos para su reciclaje en forma de abonos y proteínas.

Es una tecnología basada en la cría intensiva de lombrices para la producción de humus a partir de un sustrato orgánico. Es un proceso de descomposición natural, similar al compostaje, en el que el material orgánico además de ser atacado por los microorganismos (hongos, bacterias, actinomicetos, levaduras, ect.) existentes en el medio natural, también lo es por el complejo sistema digestivo de la lombriz.

En el intestino de la lombriz ocurren procesos de fraccionamiento, desdoblamiento, síntesis y enriquecimiento enzimático y microbiano, lo cual tiene como consecuencia un aumento significativo en la velocidad de degradación y mineralización del residuo, obteniendo un producto de alta calidad.

Esta tecnología consiste en construir una fosa, en donde se colocan capas de sustrato donde crecen y viven las lombrices (Lombrario) **(ver figura 7.7.)**, las cuales serán alimentadas periódicamente con residuos orgánicos (sólidos y líquidos) en combinaciones tales que permiten un hábitat adecuado para su crecimiento. Las lombrices transforman la materia orgánica en dióxido de carbono y agua y sus excretas denominadas “humus”.

De esta manera es posible tratar una gran parte de los residuos sólidos biodegradables generados en el efluente de Tusequis (Stege), principalmente de aquéllos que sean extraídos mediante la aplicación de técnicas de PML, y también, de una parte de los residuos industriales líquidos concentrados y el

detalle de las mismas se encuentra en resultados y discusiones, resultados de las recomendaciones de PML planteadas en el presente trabajo.



Figura 7.7. Tratamiento de residuos orgánicos biodegradables mediante técnicas de lombricultura.

Fuente: Fotografía, Alberto Calle 2011

Humo – compostaje

el compostaje es un proceso natural y bioxidativo, en el que intervienen numerosos y variados microorganismos aerobios que requieren una humedad adecuada y sustratos orgánicos heterogéneos en estado sólido (**ver figura 7.8.**), implica el paso por una etapa termófila dando al final como producto de los procesos de degradación de dióxido de carbono, agua y minerales, como también una materia orgánica estable, libre de patógenos y disponible para ser utilizada en la agricultura como abono acondicionador de suelos sin que cause fenómenos adversos.

En el presente de la ejecución del trabajo, el proceso de compostaje consiste en mezclar los residuos orgánicos con humus de lombriz. La biodegradación se produce inmediatamente, lo que elimina los olores, lixiviados y evita la proliferación de moscas. Al cabo de unas semanas será posible observar que la materia compostable se ha transformado en lombricompost o vermicompost (**ver figura 7.9.**) que es la materia orgánica procesada por los microorganismos / habitat de la lombriz pero que por su estado de madurez no alcanza a ser humus. Esta tecnología su mayor ventaja es que puede biodegradar sustratos difíciles como la sangre, principalmente de aquéllos que sean extraídos mediante la aplicación de técnicas de PML, y también, de una parte de los residuos

industriales líquidos concentrados y el detalle de las mismas se encuentra en resultados y discusiones.



Figura 7.8. Pila de compost, para el tratamiento de residuos industriales líquidos concentrados.

Fuente: Fotografía, Alberto Calle 2011



Figura 7.9. Apariencia de la vermicompost o lombricompost

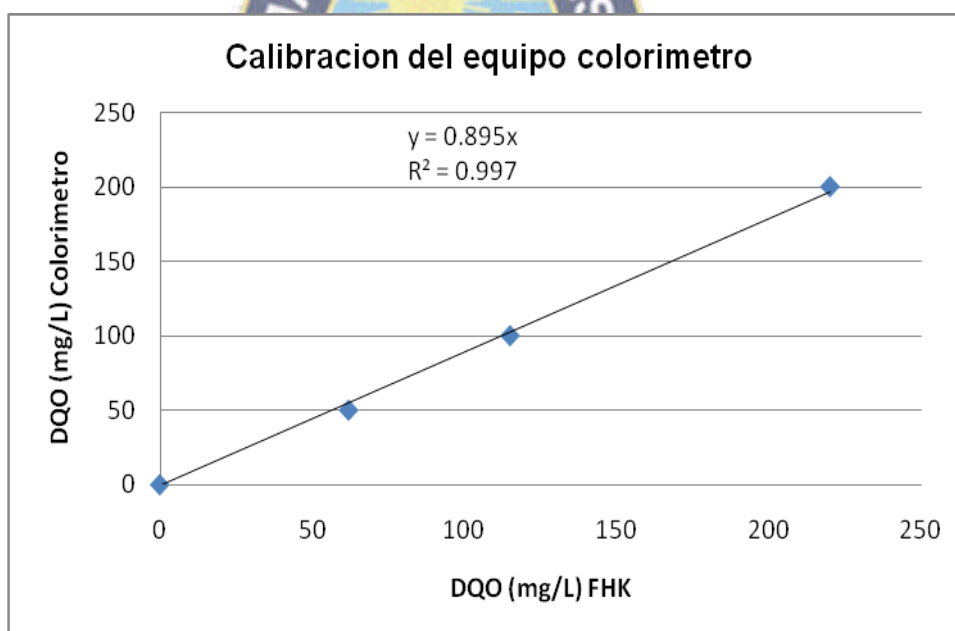
Fuente: Fotografía, Alberto Calle 2011

8. RESULTADOS Y DISCUSIONES

Cuadro 8.1. Lectura de resultados de análisis de DQO de la muestra estándar (FHK) en el colorímetro para su respectiva análisis de regresión lineal.

| Tubo Nº | (mL) patrón añadido | Concentración de FHK (mg/L) | DQO (mg O ₂ /L) del estándar FHK | DQO (mg O ₂ /L) en Colorímetro |
|---------|---------------------|-----------------------------|---|---|
| 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | 0,25 | 42,5 | 50 | 62 |
| 3 | 0,5 | 85 | 100 | 115 |
| 4 | 1 | 170 | 200 | 220 |

Figura 8.1. Gráfico de análisis de regresión lineal del equipo colorímetro



En seguida se realiza la corrección de la DQO de la muestra estándar de Ftalato ácido de potasio (FHK) según la obtención de calibración del equipo colorímetro, multiplicando por $x=0.895$, se tiene el siguiente cuadro.

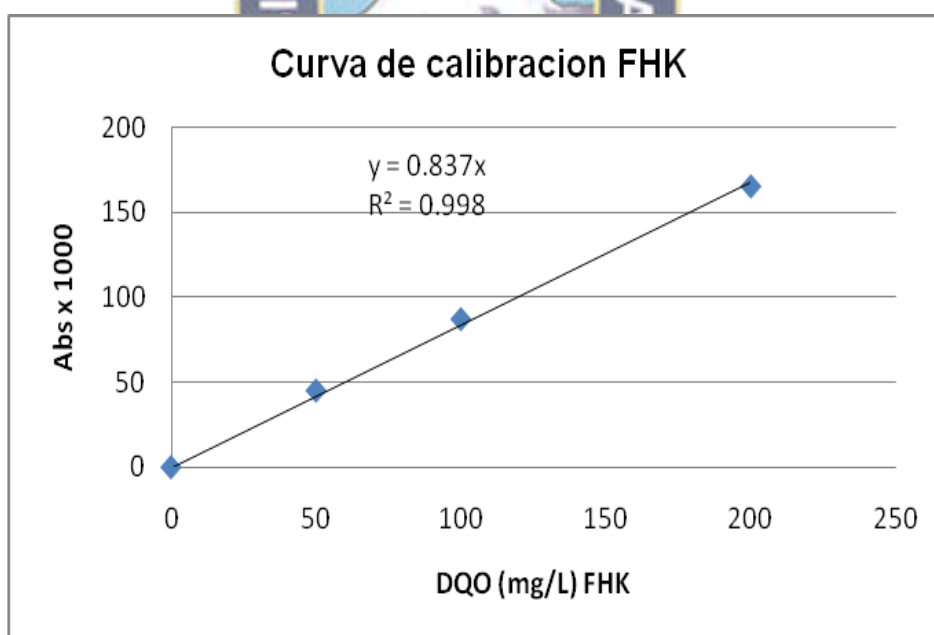
Cuadro 8.2 Corrección de la Lectura de resultados de análisis de DQO de la muestra estándar (FHK) en el colorímetro, utilizando la recta de calibración del equipo.

| Tubo Nº | (mL) patrón añadido | Concentración de FHK (mg/L) | DQO (mg O ₂ /L) del estándar FHK | Corrección de la DQO (mg O ₂ /L) |
|---------|---------------------|-----------------------------|---|---|
| 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | 0,25 | 42,5 | 50 | 55.5 |
| 3 | 0,5 | 85 | 100 | 103 |
| 4 | 1 | 170 | 200 | 197 |

Cuadro 8.3. Resultados en el UV-vis para obtener una recta patrón de la muestra estándar (FHK) a 600 nm.

| Tubo N° | mL patrón añadido | Concentración de FHK (mg/L) | DQO (mg O ₂ /L) del estándar FHK | Abs a 600 nm | DQO (mg/L) en UV-vis de FHK |
|---------|-------------------|-----------------------------|---|--------------|-----------------------------|
| 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | 0,25 | 42,5 | 50 | 0,05 | 54 |
| 3 | 0,5 | 85 | 100 | 0,09 | 104 |
| 4 | 1 | 170 | 200 | 0,17 | 97 |

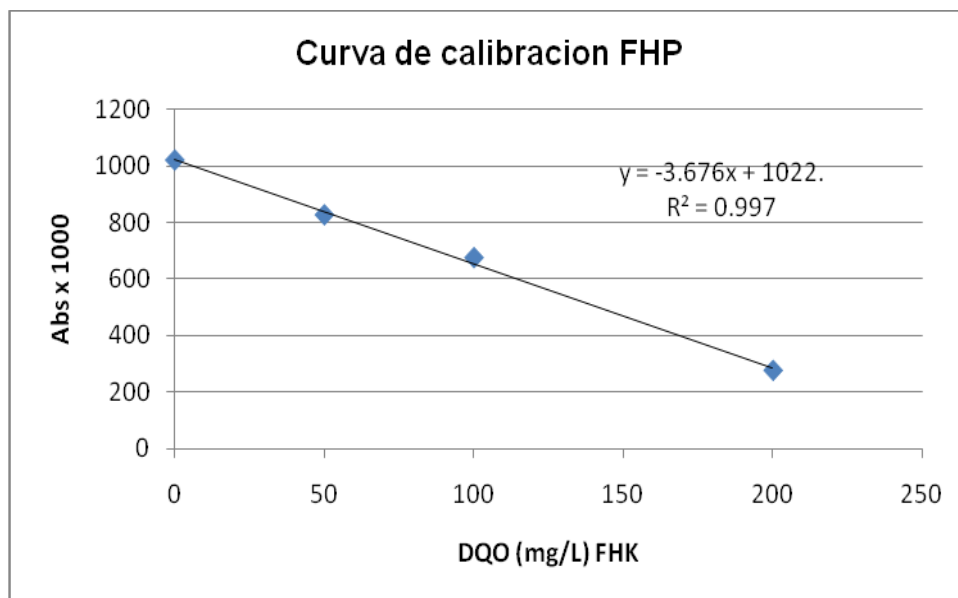
Figura 8.2. Curva de análisis de regresión lineal de la muestra estándar (FHK) a 600 nm.



Cuadro 8.4. Resultados en el UV-vis para obtener una recta patrón de la muestra estándar (FHK) a 420 nm.

| Tubo N° | (mL) patrón añadido | Concentración de FHK (mg/L) | DQO (mg O ₂ /L) del estándar FHK | Abs a 420 nm |
|---------|---------------------|-----------------------------|---|--------------|
| 1 | 0 | 0 | 0 | 1,02 |
| 2 | 0,25 | 42,5 | 50 | 0,827 |
| 3 | 0,5 | 85 | 100 | 0,676 |
| 4 | 1 | 170 | 200 | 0,279 |

Figura 8.3. Curva de calibración de la muestra estándar (FHK) a 420 nm



(Véase figura 8.4) cuando una muestra es digerida, el ión dicromato oxida a la materia orgánica (DQO) en la muestra esto resulta en el cambio del cromo del estado hexavalente Cr (VI) al estado trivalente Cr (III). Ambas especies de cromo son coloridas y absorben en la región visible del espectro. El ión dicromato absorbe fuertemente en la región de 400 nm, donde la absorción del ión (Cr^{3+}) es mucho menor. El ión crómico absorbe fuertemente en la región de 600 nm, donde el dicromato tiene una absorción cercana a cero. La absorptividad molar para estas especies de cromo son las siguientes: Cr^{3+} 50 l/mol cm a 600 nm; $\text{Cr}_2\text{O}_7^{-2}$ 380 l/mol cm a 444 nm. El ión Cr^{3+} tiene un mínimo en la región de 400 nm. Por tanto absorción máximo es a 420 nm. Para valores de DQO en el intervalo de 100 mg/l a 900 mg/l, el incremento en Cr^{3+} en la región de 600 nm es determinado. Valores mas altos pueden ser determinados por simple dilución. Valores de DQO de 90 mg/l o menores pueden ser determinados siguiendo la disminución en $\text{Cr}_2\text{O}_7^{-2}$ a 420 nm. La correspondiente generación de Cr^{3+} proporciona un pequeño incremento en la absorción a 420 nm, pero esto es compensado por el procedimiento de calibración. El estándar utilizado es el Ftalato acido de potasio (FHK) como se observan los resultados de análisis (ver cuadros 8.3. y 8.4.). Los resultados obtenidos de la dilución de la muestra problema se interpola (ver cuadros 8.6. y 8.8.) en una recta patrón que se logró construir a partir de la solución patrón de ftalato ácido potasio (ver las figuras 8.2. y 8.3.) de demanda química teórica de oxígeno conocida. Cada miligramo de FHK es equivalente a 1.176 mg de oxígeno (O_2).

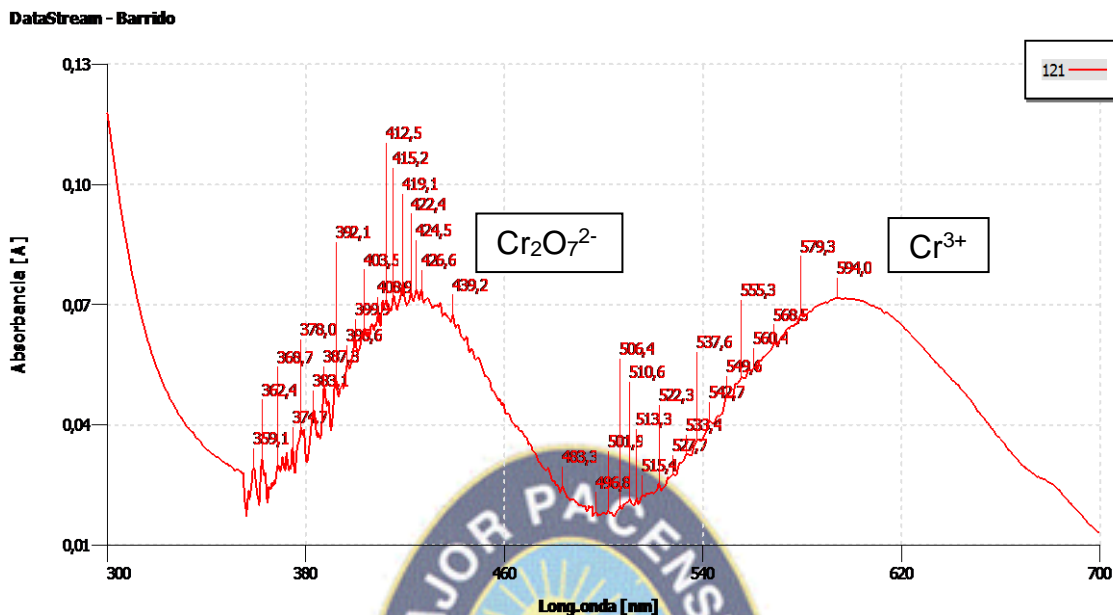


Figura 8.4. Espectro de absorción del cromo del estado hexavalente Cr (VI) al estado trivalente Cr (III).

Fuente: Análisis de DQO, Alberto Calle

La industria de alimento Tusequis Ltda. (Stege) descarga al alcantarillado las aguas residuales industriales. La presencia de materia orgánica disuelta y en suspensión, en el efluente hace que los límites de descargas establecidos para parámetros de importancia ambiental no estén plenamente satisfechos, por tal razón se aplicará una metodología para la determinación de carga contaminante, empleando como instrumento la Producción Más Limpia (PML).

Cuantitativamente, En el efluente (**ver figura 8.5**) de Tusequis la carga orgánica contaminante que se genera tendrían las siguientes magnitudes:

Cuadro 8.5. Resultados de análisis de la DQO en el efluente de Tusequis debido a residuos orgánicos biodegradables disueltos (RD) y suspendidos (RS), en colorímetro

| Fecha de analisis | DQO (mg/L) x=0.895 |
|-------------------|-----------------------|
| 4 / may / 2011 | 147 |
| 15 / may / 2011 | 142 |
| Promedio | 145 |

Volumen de efluente = 71 m³/día

Factor de dilución = 1/10

DQO en efluente debido a (RD)y (RS) = 145 mg/L ≈ 1450 mg/L

$$\begin{aligned} \text{DQO total/día} &= 1450 \text{ mg/L} \times 1000 \text{ L/m}^3 \times 1 \text{Kg} / 1.000.000 \text{ mg} \times 71 \text{ m}^3/\text{día} \\ &= 103 \text{ Kg DQO/día (RD y RS)} \end{aligned}$$

$$\text{DQO en efluente debido a RD} = 826 \text{ mg/L}$$

$$\begin{aligned} \text{Fracción de DQO en RD} &= (826 \text{ mg/L} / 1450 \text{ mg/L}) \times 100\% \\ &= 56.1\% \end{aligned}$$

Cuadro 8.6. Resultados de análisis del efluente de Tusequis en el UV-visible (empleando la curva de calibración, (ver figura 8.2.), para la dicha determinación de la concentración de carga contaminante)

| Fecha de análisis | Volumen de efluente (m ³ /día) | Factor de dilución (ppm) | Abs a 600 nm | DQO (mg/L) | DQO (g/L) | DQO (Kg/día) |
|-------------------|---|--------------------------|--------------|------------|-----------|--------------|
| 5/may/11 | 71 | 1/10 | 0.13 | 153 | 1.53 | 109 |
| 16/may/11 | 71 | 1/10 | 0.11 | 135 | 1.35 | 95,9 |
| Promedio | 71 | | 0.12 | 144 | 1.44 | 102 |

Alrededor de 102 Kg de DQO/día de la concentración de carga orgánica contaminante se genera en el efluente de Tusequis como se muestra en el cuadro 8.6. los resultados de análisis que son más fiables según las lecturas del equipo espectrofotómetro UV-visible, esta concentración de contaminante será enviado al lombrario y/o a mezclarse con humus para obtener humo-compost como lo es planteado en el trabajo.

Alrededor del 56.1% de la DQO del efluente de Tusequis se genera en residuos biodegradables disueltos en el efluente. Esto significa:

- En términos de concentración, alrededor de 826 mg de DQO de los 1440 mg de DQO determinados para el efluente.
- En términos de masa, al rededor de 57.2 Kg/día de material biodegradable soluble de un total de 102 Kg/día de material biodegradable.



Figura 8.5. Cámara de colección de residuos disueltos y suspendidos desde la planta hasta el punto de descarga a la alcantarilla de Tusequis

Fuente: Fotografía, Alberto Calle 2011

Básicamente en todas las secciones, se segregó las primeras aguas de lavado de equipo en general, obteniendo soluciones acuosas con altos contenidos de carga contaminante que son descargadas al efluente, y estos fueron analizados por el método de oxidabilidad con dicromato, para la dicha determinación de la DQO, como se muestran los resultados de análisis en los cuadros 8.7. y 8.8.

Cuadro 8.7. Resultados de análisis de las primeras aguas de lavado en las operaciones de Tusequis en el colorímetro, multiplicando por la $x=0.895$.

| Operación | Volumen de agua (L) | Factor de dilución (ppm) | DQO (mg/L) Colorímetro | DQO (g/L) | DQO (Kg/día) | % error en la lectura |
|---------------------|---------------------|--------------------------|------------------------|-----------|--------------|-----------------------|
| cocido Cuero | 310 | 1/1000 | 119 | 119 | 37,0 | 2,89 |
| cocido P. Hígado | 480 | 1/500 | 111 | 55,2 | 26,5 | 2,64 |
| Recepción 60 cerdos | 40 | 1/500 | 101 | 54,9 | 2,20 | 1,74 |
| cocido C. Cabeza | 290 | 1/500 | 106 | 52,8 | 15,3 | 3,29 |

| | | | | | | |
|--------------------|-----|-------|------|------|------|------|
| cocido Morcilla | 290 | 1/500 | 49,4 | 24,7 | 7,17 | 2,72 |
| Lavado Abatanadora | 140 | 1/500 | 47,6 | 23,8 | 3,33 | 11,4 |
| Lavado Mezcladora | 100 | 1/500 | 48,0 | 24 | 2,4 | 9,05 |
| Lavado Cutter | 70 | 1/500 | 42,7 | 21,4 | 1,49 | 5,18 |
| Embutidora 1 | 70 | 1/500 | 36,9 | 18,5 | 1,29 | 11,4 |
| Embutidora 2 | 60 | 1/500 | 37,8 | 18,9 | 1,13 | 12,9 |
| Lavado Moledora | 60 | 1/500 | 15,4 | 7,7 | 0,46 | 10,6 |

Fuente: Análisis de DQO, Alberto Calle

Cuadro 8.8. Resultados de análisis de las primeras aguas de lavado en las operaciones de Tusequis en el UV-vis (empleando la recta patrón, (ver figura 8.2.), para la dicha determinación de la concentración de carga contaminante)

| Operación | Volumen de agua (L) | Factor de dilución (ppm) | Absorbancia a 600 nm | DQO (mg/L) en UV-vis | DQO (g/L) | DQO (Kg/día) |
|---------------------|---------------------|--------------------------|----------------------|----------------------|-----------|--------------|
| cocido Cuero | 310 | 1/1000 | 0,09 | 114 | 114 | 35,2 |
| cocido P. Hígado | 480 | 1/500 | 0,09 | 103 | 51,4 | 24,7 |
| Recepción 60 cerdos | 40 | 1/500 | 0,08 | 94,4 | 47,2 | 1,88 |
| cocido C. Cabeza | 290 | 1/500 | 0,08 | 91,1 | 45,1 | 13,3 |
| cocido Morcilla | 290 | 1/500 | 0,04 | 46,6 | 23,3 | 6,75 |
| Lavado Abatanadora | 140 | 1/500 | 0,04 | 45,4 | 22,7 | 3,17 |
| Lavado Mezcladora | 100 | 1/500 | 0,04 | 43,0 | 21,5 | 2,15 |
| Lavado Cutter | 70 | 1/500 | 0,03 | 38,2 | 19,1 | 1,33 |
| Embutidora 1 | 70 | 1/500 | 0,03 | 31,1 | 15,5 | 1,08 |
| Embutidora 2 | 60 | 1/500 | 0,03 | 32,3 | 16,1 | 0,96 |
| Lavado Moledora | 60 | 1/500 | 0,01 | 13,1 | 6,57 | 0,39 |

Fuente: Análisis de DQO, Alberto Calle

Empleando Diagnóstico de Producción Más Limpia (DPML) y poniendo en práctica de recuperar los residuos orgánicos biodegradables disueltos y suspendidos en el efluente de Tusequis, mediante la discusión de las recomendaciones que a continuación se dan, permitirían el reciclaje de algunos insumos/productos que serán tratados mediante técnicas de PML, lombricultura y humo-compostaje.

- En recepción de 60 cerdos/día, se segregó los primeros lavados en una menor cantidad de agua 40 litros/día que tendría la mayor concentración de sangre y sólidos, los mismos que caen sobre el piso y son descargados al efluente (**ver figura 8.6.**). En lo ambiental, se tendría una disminución de 1,88 Kg/día (94,38 mg DQO/L), ver cuadro 8.8., los resultados de análisis que son más fiables.
- Se llevará el líquido segregado al lombrario y/o a mezclarse con humus para obtener humo-compost.



Figura 8.6. Carga contaminante de sangre y sólidos del lavado de cerdos durante la recepción de cerdos
Fuente : Fotografía, Alberto Calle 2011

- En la sección de cocidos y ahumados, alrededor de 1370 litros/día de caldos provenientes del cocimiento de cueros de cerdo, cuero cabeza, panceta hígado y morcilla son descargados al efluente. Estos caldos son ricos en material colágeno, que contribuye a elevar la DQO de los efluentes (**ver figura 8.7.**) (asumiendo que el mayor constituyente del colágeno es el aminoácido prolina $C_5H_9O_2N$). En lo ambiental se estaría evitando la entrada de 80.53 Kg/día de DQO al efluente, lo que en un volumen de 71 m³ de efluente implicaría una remoción en el orden de 355 mg DQO/L de los cuatro principales de caldo del cocimiento mencionados en la sección de cocidos y ahumados, ver cuadro 8.8. los resultados de análisis que son más fiables.
- Esta cantidad de concentración de carga orgánica contaminante removido será enviado al lombrario y/o a mezclarse con humus para obtener humo-compost.



a) Tanque del cocimiento de cueros b) Colágeno vertido y solidificado, por enfriamiento, sobre el piso en la sección de cocidos y ahumados.

Figura 8.7. Residuos producidos en la sala de cocimiento

Fuente: Fotografía, Alberto Calle 2011

- En el lavado de equipos, se emplean mangueras de cierre automático y de alta presión, se segregó las primeras aguas de lavado en un menor cantidad de agua 500 litros/día, el cual conteniendo la mayor cantidad de carga orgánica contaminante, realizados en los siguientes equipos Abatanadora, Cutter, Moledora, Mezcladora, Embutidora 1 y Embutidora 2. Estos aguas de lavado son ricos en material orgánico (residuos feculosos), que contribuye a elevar la DQO de los efluentes (**ver figura 8.8.**). En lo ambiental, se remueve una causa de contaminación hídrica de 9.08 Kg/día (203.09 mg DQO/L), ver cuadro 8.8. los resultados de análisis que son más fiables.
- DQO removido (residuos feculosos) disponerlo en el lombrario.



Figura 8.8. Descargas feculosas generadas en equipos de Tusequis
Fotografía: Alberto Calle 2011

Cuadro 8.9. Medidas de PML: resultados de mayor cantidad de DQO en la menor cantidad de agua

| Operación | Volumen de agua (L) | DQO (Kg/día) |
|------------------------------------|--|---------------------|
| cocido Cuero | 310 | 35,2 |
| cocido P. Hígado | 480 | 24,6 |
| Recepción 60 cerdos | 40 | 1,88 |
| cocido C. Cabeza | 290 | 13,3 |
| cocido Morcilla | 290 | 6,75 |
| Lavado Abatanadora | 140 | 3,17 |
| Lavado Mezcladora | 100 | 2,15 |
| Lavado Cutter | 70 | 1,33 |
| Embutidora 1 | 70 | 1,08 |
| Embutidora 2 | 60 | 0,96 |
| Lavado Moledora | 60 | 0,39 |
| TOTAL PML | 1910 | 90,8 |
| En el efluente de la planta | | |
| | Volumen de agua (m³/día) | DQO (Kg/día) |
| Canal de entrada a cámara | 71 | 102 |

Cuadro 8.10. Medidas de PML: resultados de mayor cantidad de DQO en la menor cantidad de agua (% de DQO en función de porcentaje de volumen total de efluente)

| Operación | %volumen de agua | %total DQO |
|------------------------------------|--|---------------------|
| cocido Cuero | 0,44 | 34,4 |
| cocido P. Hígado | 0,68 | 24,1 |
| Recepción 60 cerdos | 0,06 | 1,84 |
| cocido C. Cabeza | 0,41 | 13,0 |
| cocido Morcilla | 0,41 | 6,60 |
| Lavado Abatanadora | 0,2 | 3,10 |
| Lavado Mezcladora | 0,14 | 2,10 |
| Lavado Cutter | 0,1 | 1,30 |
| Embutidora 1 | 0,1 | 1,06 |
| Embutidora 2 | 0,08 | 0,94 |
| Lavado Moledora | 0,08 | 0,38 |
| Total PML | 2,7 | 88,9 |
| En el efluente de la planta | | |
| | Volumen de agua (m³/día) | DQO (Kg/día) |
| Canal de entrada a cámara | 71 | 102,215 |

De pruebas realizadas durante el DPML en Tusequis , se estima que al rededor de un 88.9 % que fueron analizados en espectrofotómetro UV-visible (**ver cuadro 8.10.**), que esta porcentaje de carga orgánica contaminante producidos en los equipos de producción y en tanques de cocimiento, podría ser removido con al rededor del 2.7 % del volumen de agua empleado en las operaciones de lavado y utilizados para el cocimiento de diferentes productos. Donde se contribuirá a reducir la contaminación hídrica proveniente de los equipos de producción y en tanques de cocimiento, debido a que se descarga el material de carga orgánica contaminante en efluente de Tusequis, los 102 Kg/día (1440 mg DQO/L) que tiene una equivalencia al 100% que son generados en el efluente de Tusequis.

Los resultados obtenidos fueron de empleo de un menor cantidad de volumen de agua, que son las primeras aguas de lavado conteniendo la mayor cantidad de carga orgánica contaminante, estas aguas de lavado se segregó en cada sección durante esta investigación del trabajo empleando la técnica de PML, la cantidad de concentración de carga orgánica contaminante es de 90.8 Kg de DQO/día obtenidos como resultados que contribuyen a elevar la DQO en el efluente de Tusequis, será enviado a la fosa de lombrices que actualmente funciona (**ver figuras 8.9.; 8.10. y 8.11.**) y/o a mezclarse con humus para obtener humo-compost, esta técnica está descrita en el proyecto que viene elaborado por el CPTS del cual Tusequis forma parte.

Con la información analizada se puede concluir que la lombricultura ofrece innumerables ventajas, ya que mediante la producción de vermicomposta o lombricomposta podemos transformar residuos orgánicos contaminantes en productos y servicios útiles al hombre, tal como será resuelto el problema de contaminación hídrica por los contenidos de residuos orgánicos biodegradables, provenientes de los equipos de producción y especialmente en tanques de cocimiento donde más se genera la carga contaminante.



Figura 8.9. Fosa en la empresa Tusequis (Stege), para lombricultura de residuos industriales biodegradables, 74 m³ de volumen y 120 m².



Figura 8.10. Distribución de lombrices en la cama de estiércol



Figura 8.11. Penetración de la lombriz en el alimento (residuos sólidos orgánicos biodegradables)

9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- En este trabajo se validó la metodología analítica (NB 64009), por el Método del reflujo cerrado – Método Colorimétrico, al ser digerida una muestra, El ion dicromato ($\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$) oxida al material DQO en la muestra, reduciéndose a Cr^{3+} . El ion $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ presenta un máximo de absorción a 420 nm y el Cr^{3+} tiene su máximo a 600 nm. El valor de DQO puede determinarse colorimétricamente por la disminución del ion $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ o por el aumento del ion Cr^{3+} , ya que ambas especies de cromo son coloridas y absorben en la región visible del espectro, **(ver figura 8.4.)**. El ion dicromato tiene una absortividad molar de 380 L/mol a 440 nm, mientras que el Cr^{3+} es 50 L/mol a 600 nm.
- Para valores de DQO en el intervalo de 100 mg/l a 900 mg/l, el incremento en Cr^{3+} en la región de 600 nm es determinado. Valores mas altos pueden ser determinados por simple dilución. Valores de DQO de 90 mg/l o menores pueden ser determinados siguiendo la disminución en $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ a 420 nm.
- El estándar utilizado es el Ftalato ácido de potasio (FHK), como se puede ver los resultados de análisis de DQO en los cuadros 8.3. y 8.4. para su respectiva curva de calibración **(ver las figuras 8.2. y 8.3.)**. Cada miligramo de FHK es equivalente a 1.176 mg de oxígeno (O_2).
- Se recomienda, para que el procedimiento por el Método del reflujo cerrado – Método Colorimétrico sea aplicable, todos los interferentes absorbentes de luz deben estar ausentes o ser compensados. Esto incluye a la materia insoluble suspendida como a los componentes coloreados. Si cualquiera de estas interferencias ocurre, el ensayo de DQO, no es necesariamente descartado, porque puede ser determinado titulométricamente.
- Cuantitativamente, en el efluente de Tusequis se tendría alrededor de 102 Kg de DQO/día de la concentración de carga orgánica contaminante debido a (RD) y (RS), que estos resultados es dado según las lecturas del equipo espectrofotómetro UV-visible.
- Prácticamente en todas las secciones, se segregó las primeras aguas de lavado de equipo en general, empleando la técnica de Diagnóstico de Producción Más Limpia (DPML), y poniendo en práctica la recuperación de los residuos orgánicos biodegradables disueltos y suspendidos en el efluente de Tusequis, se estima que al rededor de un 90.8 Kg de DQO/día, que equivale el 88.9 % que fueron analizados en espectrofotómetro UV-visible **(ver cuadro 8.10.)**, que esto porcentaje de carga orgánica contaminante producidos en los equipos de producción y en tanques de cocimiento, en lo ambiental, se remueve una causa de contaminación

hídrica con al rededor del 2.7 % del volumen de agua empleado en las operaciones de lavado y utilizados para el cocimiento de diferentes productos.

- Alrededor de 1370 litros/día de caldos provenientes del cocimiento de cuero de cerdo, cuero cabeza, panceta hígado y morcilla son descargados al efluente con la mayor carga contaminante determinado en este trabajo. Estos caldos son ricos en material colágeno, que contribuye a elevar la DQO de los efluentes (**ver figura 8.7.**) En lo ambiental se estaría evitando la entrada al efluente de 80.5 Kg/día de DQO que equivale el 78.8%, lo que en un volumen de 71 m³ de efluente implicaría una remoción en el orden de 1.93% de los cuatro principales de caldo del cocimiento mencionados en la sección de cocidos y ahumados, ver cuadro 8.8. los resultados de análisis que son más fiables.
- Se contribuirá a reducir la contaminación hídrica proveniente de los equipos de producción y en tanques de cocimiento por lo menos el 88.9% de la DQO, debido a que se descarga el material de carga orgánica contaminante en efluente de Tusequis, los 102 Kg/día (1440 mg DQO/L) que tiene una equivalencia al 100% que son generados en el efluente de Tusequis.
- La cantidad de concentración de carga orgánica contaminante es de 90.8 Kg de DQO/día obtenidos como resultados que contribuyen a elevar la DQO en el efluente de Tusequis, será enviado a la fosa de lombrices que actualmente funciona (**ver figuras 8.9.; 8.10. y 8.11.**) y/o a mezclarse con humus para obtener humo-compost, esta técnica está descrita en el proyecto que viene elaborado por el CPTS del cual Tusequis forma parte.
- Por otra parte se puede concluir que la lombricultura ofrece innumerables ventajas, ya que mediante la producción de vermicomposta o lombricomposta podemos transformar residuos orgánicos contaminantes en productos y servicios útiles al hombre, tal como será resuelto el problema de contaminación hídrica por los contenidos de residuos orgánicos biodegradables, provenientes de los equipos de producción y especialmente en tanques de cocimiento donde más se genera la carga contaminante.

10. ANEXOS

Anexo 10.1. Residuos biodegradables que se desechan al relleno sanitario de Villa Ingenio.



Anexo 10.2. Hoja diseñada para sitios de muestreo en los sistemas operados.

| N | Tipo de agua | Detalle sobre localización del muestreo |
|----|--------------|---|
| 1 | | |
| 2 | | |
| 3 | | |
| 4 | | |
| 5 | | |
| 6 | | |
| 7 | | |
| 8 | | |
| 9 | | |
| 10 | | |
| 11 | | |
| 12 | | |
| 13 | | |
| 14 | | |
| 15 | | |
| 16 | | |
| 17 | | |

Anexo 10.3. Evaluación de la incertidumbre tomando en cuenta el modelo de calibración

En los métodos espectrofotométricos, la varianzas de la absorbancias no es homogénea a diferentes concentraciones. A mayor concentración mayor varianza.

De acuerdo a la teoría estadística la suma de las desviaciones cuadrática se minimiza si introducimos un factor de ponderación, el cual definimos como el inverso de las varianzas:

$$w_i = k/S_i^2$$

$$k = \frac{n}{\sum \left(\frac{1}{s_i^2} \right)}$$

$$\frac{\partial (\sum w_j (y_{ij} - \hat{y}_{ij})^2)}{\partial b_h} = 0$$

$$h: 0, 1$$

Intercepto

$$b_1 = \frac{n \sum w_i x_i y_i - \sum w_j x_j \sum w_i y_i}{n \sum w_i x_i^2 - (\sum w_i x_i)^2}$$

Pendiente

$$b_0 = \frac{\sum w_i y_i - b_1 \sum w_i x_i}{n}$$

Varianza residual

$$s_{x/y}^2 = \frac{\sum w_i (y_i - \hat{y}_i)^2}{n-2}$$

Varianza de pendiente

$$S_{b1}^2 = \frac{S_{x/y}^2}{\sum w_i (x_i - \bar{x})^2}$$

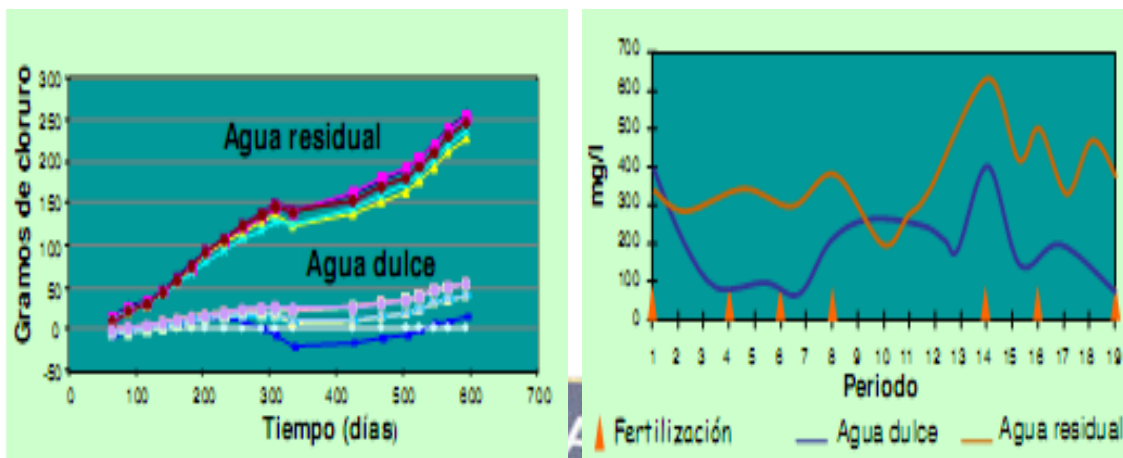
Varianza del intercepto

$$S_{b0}^2 = S_{x/y}^2 \frac{\sum w_i x_i^2}{\sum w_i [\sum w_i (x_i - \bar{x})^2]}$$

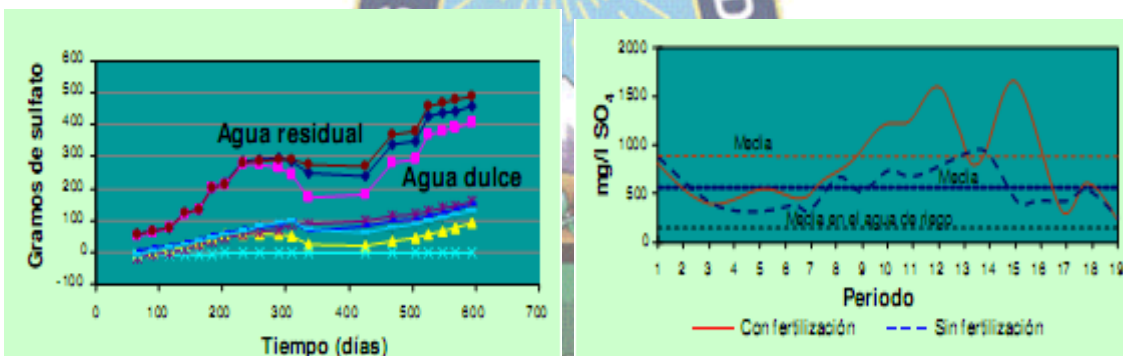
Coefficiente de determinación

$$r^2 = \frac{\sum w_i (\hat{y}_i - \bar{y}_w)^2}{\sum w_i (y_i - \bar{y}_w)^2}$$

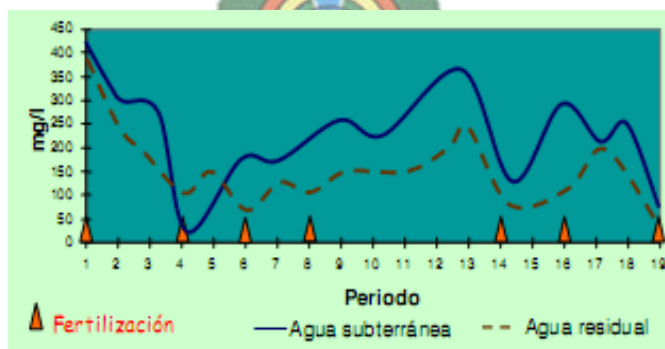
Anexo 10.4. Contenidos de salinización (Cl⁻) en los líquidos industriales



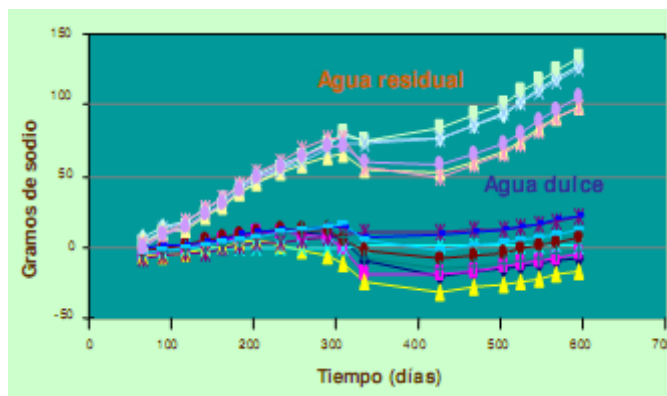
Anexo 10.5. Contenidos de sulfatos (SO₄²⁻) en los líquidos industriales



Anexo 10.6. Contenidos de nitratos (NO₃⁻) en los líquidos industriales



Anexo 10.7. Contenidos de sodios (Na) en los líquidos industriales

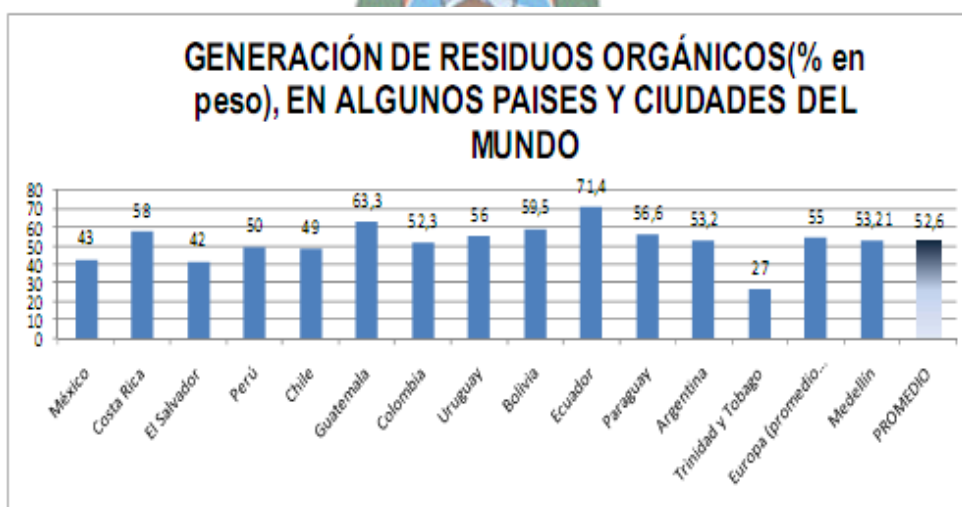


Anexo 10.8. Composición de los residuos sólidos municipales en diversos países de América Latina (porcentaje en peso)

| PAÍS | % de MATERIA ORGÁNICA |
|-------------------|-----------------------|
| México | 43 |
| Costa Rica | 58 |
| El Salvador | 42 |
| Perú | 50 |
| Chile | 49 |
| Guatemala | 63,3 |
| Colombia | 52,3 |
| Uruguay | 56 |
| Bolivia | 59,5 |
| Ecuador | 71,4 |
| Paraguay | 56,6 |
| Argentina | 53,2 |
| Trinidad y Tobago | 27 |

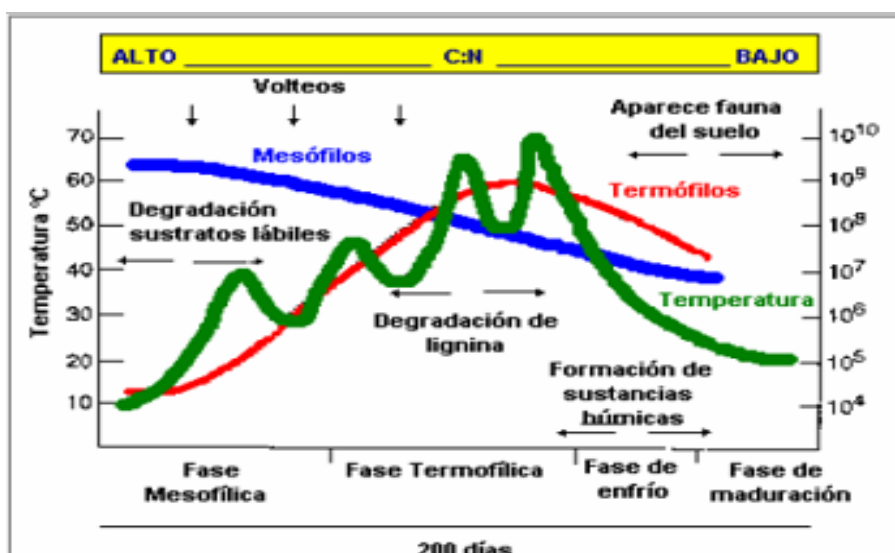
Fuente: Diagnóstico de la situación del manejo de los Residuos Sólidos Municipales en América Latina y El Caribe. BID, OPS/OMS, 1997.

Anexo 10.9. Relación de porcentajes en peso de generación de residuos sólidos orgánicos en algunos países y ciudades del mundo.



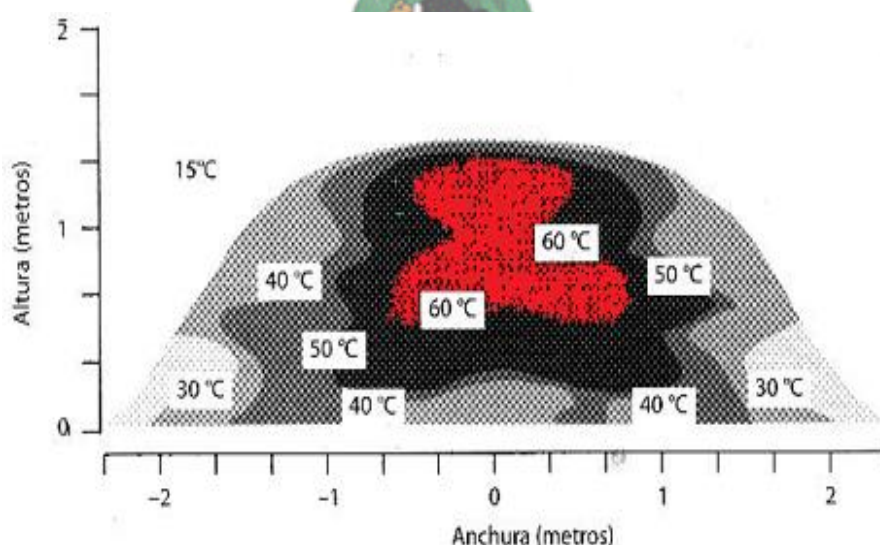
Relación de porcentajes en peso de generación de residuos sólidos orgánicos en algunos países y ciudades del mundo. Muestra que el porcentaje promedio de generación de residuos sólidos orgánicos urbanos es de 52% en la mayoría de lugares del mundo.

Anexo 10.10. El proceso de compostaje. Tomado de Paul y Clark, 1996 por Soto M., Graciela. El proceso de compostaje, 2003



FUENTE: PUERTA ECHEVERRI, Silvia. Evaluación física, química y microbiológica del proceso del compostaje de residuos sólidos urbanos, con microorganismos nativos y comerciales en el municipio de Venecia (Ant). Medellín: Tesis de Maestría en Biotecnología. 2007. p.63.

Anexo 10.11. Perfil de temperatura de una pila de compost estática



FUENTE: DIAZ, et al. Tomado de ATLAS, Ronald M. y BARTHA, Richard. Ecología y microbiología ambiental. Citado por PUERTA ECHEVERRI, Silvia.

Evaluación física, química y microbiológica del proceso del compostaje de residuos sólidos urbanos, con microorganismos nativos y comerciales en el municipio de Venecia (Ant). Medellín: Tesis de Maestría en Biotecnología. 2007. p.65.

Anexo 10.12. Condiciones para el establecimiento de la lombriz

| PARAMETRO | RANGO | OPTIMO |
|-------------|-----------|-----------|
| Temperatura | 20 - 23 | 25 - 28 |
| pH | 5.5 – 9.0 | 6.8 - 7.2 |
| Humedad | 65 - 80 | 70 - 75 |

Fuente: SOTO. Gabriela, El proyecto NOS de CATIE/GTZ, el centro de investigaciones agronómicas de la Unidad de Costa Rica de insumos agropecuarios no sintéticos. En: Taller de abonos orgánicos. Costa Rica, 3 y 4 de marzo de 2003, p.21



11. BIBLIOGRAFIA

1. Standard Methods for Waste and Wastewater 15th Edition. 1995.
2. Standard Methods for Waste and Wastewater 20th Edition. 2000.
3. NMX-AA-030-SCFI -2001 Análisis de agua – Determinación de la Demanda Química de Oxígeno en aguas naturales y residuales.
4. Guía Ambiental para Actividades de Desarrollo en Latinoamérica y el Caribe
5. Centro de Promoción de Tecnologías Sostenibles (CPTS). Manual de Producción Más Limpia, Uso Eficiente del Agua en los Sectores Industrial y de Servicios. 2009.
6. Centro de Promoción de Tecnologías Sostenibles (CPTS). Guía Técnica de Producción Más Limpia. 2005.
7. Cumbre de Rio, Informe de la conferencia de las naciones unidas sobre el medio ambiente y el desarrollo, Rio de Janeiro (Junio 1992).
8. Estrategias de desarrollo sostenible, Revisión de las Estrategias Nacionales de Desarrollo Sostenible, Bolivia (Marzo 2001).
9. Congreso Nacional de la República de Bolivia, Ley del Medio Ambiente, Ley N° 1333 del 27 de abril de 1992.
10. Consejo de Ministros de la República de Bolivia, Reglamento a la Ley del Medio Ambiente, Decreto Supremo N° 24176 de 8 de diciembre de 1995, Gaceta Oficial de Bolivia (1996).
11. Ministerio de Desarrollo Económico, Viceministerio de Industria y Comercio Interno – Unidad de Medio Ambiente (Bolivia), Reglamento Ambiental para el Sector Industrial Manufacturero – RASIM, Decreto Supremo N° 26763 de 30 de Julio de 2002, Gaceta Oficial de Bolivia (2002).
12. ONUDI – PNUMA, Manual de Auditoria y Reducción de Emisiones y Residuos Industriales, Informe Técnico N° 7 (1994).
13. Mattos, Roger & Crespo, Alberto, Informe Nacional sobre la Gestión del Agua en Bolivia (2000) www.aguabolivia.org/situacionaguaX.