



**"Evaluación de procesos químicos y biológicos para el tratamiento interno de los residuos peligrosos generados en Cenicafé".**

**Elsa Natalia Quintero Castro**

**Cohorte VIII**

Director:

Nelson Rodríguez Valencia. PhD.

Investigador Científico III. Cenicafé

Universidad de Manizales

Facultad de Ciencias Contables Económicas y Administrativas

Maestría en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente

Manizales, Colombia

Enero del 2017



**“Evaluación de procesos químicos y biológicos para el tratamiento interno de los residuos peligrosos generados en Cenicafé”.**

**Elsa Natalia Quintero Castro**

Tesis de investigación presentada como requisito parcial para optar al título de:

**Magister en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente**

Director:

Nelson Rodríguez Valencia. PhD.

Investigador Científico III. Cenicafé

Línea de Investigación:

Biosistemas Integrados

Director: Dr. JhonFredy Betancur PhD.

Universidad de Manizales

Facultad de Ciencias Contables Económicas y Administrativas

Maestría en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente

Manizales, Colombia

Enero del 2017



*Dedico este trabajo a todas las personas que contribuyeron con su tiempo y conocimiento para que se pudiese realizar.*



*Dios, gracias a ti por haberme permitido cumplir este logro, por prestarme personas tan maravillosas en este caminar. Gracias a mi familia, mi hijo Juan Miguel quien me impulsa a seguir adelante, a mi esposo Julián por ser mi compañía y apoyo. A mis padres por estar siempre conmigo.*

|   |    |
|---|----|
| 1. INTRODUCCIÓN   | 13 |
| 2. JUSTIFICACIÓN  | 15 |
| 3. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN  | 17 |
| 3.1. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN  | 17 |
| 4. OBJETIVOS  | 18 |
| 4.1. Objetivo General   | 18 |
| 4.2. Objetivos específicos  | 18 |
| 5. HIPÓTESIS DE TRABAJO   | 19 |
| 6. MARCO TEÓRICO  | 20 |
| 6.1. Marco Conceptual   | 20 |
| 6.1.1. Productos químicos   | 20 |
| 6.1.2. Residuo o desecho  | 20 |
| 6.1.3. Clasificación  | 22 |
| 6.1.4. Métodos para el tratamiento y disposición final de Residuos Peligrosos | 28 |
| 6.2. Marco Normativo  | 34 |
| 6.2.1. Tratados internacionales   | 34 |
| 6.2.2. Reglamentación en Colombia   | 35 |
| 6.3 Marco contextual  | 38 |
| 6.3.1. Estado del arte de la generación de Respel en Colombia.                | 38 |
| 6.3.2. Identificación de los aspectos ambientales                             | 39 |
| 6.3.3. Experiencias a escala nacional e internacional                         | 45 |
| 7. MATERIALES Y MÉTODOS   | 46 |
| 8. RESULTADOS Y DISCUSIÓN   | 59 |
| 9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES   | 71 |
| 10. LITERATURA CITADA   | 72 |
| 11. ANEXOS  | 78 |



## LISTADO DE TABLAS

|  |    |
|--|----|
| Tabla 1 Pruebas de lixiviación .....   | 25 |
| Tabla 2 Beneficios de la disminución de los residuos peligrosos. Fuente (mavdt, 2005) .....            | 27 |
| Tabla 3 cifras en kilogramos de residuos peligrosos generados por cenicafé el periodo 2009 - 2012..... | 39 |
| Tabla 4 ejemplo de la matriz de aspectos ambientales significativos.....                               | 42 |
| Tabla 5 nivel de significancia .....   | 43 |
| Tabla 6 estructura programa de gestión ambiental - manejo de residuos peligrosos .....                 | 44 |
| Tabla 7 residuos peligroso generados en el periodo de la investigación. ....                           | 58 |
| Tabla 8 Resultados de los ensayos de Compostaje y Lombricompostaje . ....                              | 63 |
| Tabla 9. Eficiencia de los ensayos de Compostaje y Lombricompostaje                                    | 64 |
| Tabla 10. Volúmenes y Características de los lixiviados generados                                      | 64 |
| Tabla 11. Volúmenes y Características del biogás proveniente del acetato de sodio                      | 66 |
| Tabla 12. Eficiencia del proceso de degradación del acetato de sodio.                                  | 67 |
| Tabla 13. Características finales de los reactores con acetato de sodio a 6000 ppm                     | 68 |
| Tabla 14. Características finales de los reactores con acetato de sodio a 12000 ppm                    | 69 |

## LISTADO DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 1 generación de residuos peligrosos en el periodo 2009 - 2011                      | 37 |
| Figura 2 distribución geográfica de los residuos peligrosos generados en 2011             | 38 |
| Figura 3 montaje para la evaluación de la degradación anaeróbica                          | 48 |
| Figura 4 detalle de los reactores anaeróbicos   | 48 |
| Figura 5 medición de la cantidad de biogás.   | 49 |
| Figura 6 toma de muestra del biogás generado para determinar la calidad del metano.       | 52 |
| Figura 7 prueba de combustión del biogás.   | 52 |
| Figura 8 etiquetado de los contenedores.  | 53 |
| Figura 9 adición de la base fuerte y el ácido fuerte a los contenedores.                  | 54 |
| Figura 10 montaje final para llevar a cabo la neutralización.                             | 54 |
| Figura 11 mezclado y medición de pH de la solución.                                       | 54 |
| Figura 12 tratamiento 1 en proceso.   | 55 |
| Figura 13 tratamiento 2 en proceso.   | 54 |
| Figura 14 tratamiento 3 en proceso.   | 54 |
| Figura 15 tratamiento 4 en proceso.   | 54 |
| Figura 16 determinación del pH.   | 55 |
| Figura 17 determinación de la conductividad.  | 55 |
| Figura 18 determinación de la temperatura.  | 56 |
| Figura 19 determinación de la turbiedad y el color.                                       | 56 |
| Figura 20 determinación de la DQO.  | 56 |
| Figura 21 determinación de sólidos totales y sólidos suspendidos.                         | 57 |
| Figura 22 sustratos del tratamiento 1, antes y después del proceso de compostaje.         | 61 |
| Figura 23 sustratos del tratamiento 3, antes y después del proceso de compostaje.         | 61 |
| Figura 24 sustratos del tratamiento 2, antes y después del proceso de lombricompostaje.   | 62 |
| Figura 25 . Sustratos del tratamiento 4, antes y después del proceso de lombricompostaje. | 62 |

## RESUMEN

Con el fin de implementar alternativas para el manejo interno de los residuos peligrosos, tanto químicos como biológicos, generados en mayor cantidad en el Centro Nacional de Investigaciones del Café, Cenicafé, se realizó un diagnóstico, en el cual se cuantificó y calificó los diferentes residuos peligrosos generados en el año. El manejo interno de los residuos peligrosos, tuvo como objetivo disminuir los impactos ambientales mediante una disminución en las huellas de carbono (transporte, incineración) y agua (lavado y dilución), generadas en la disposición a través de las empresas gestoras externas.

Los resultados permitieron identificar 16 residuos peligrosos y seleccionar 4 categorías como las de mayor importancia para realizarles un tratamiento interno, en orden descendente de cantidad generada: Agares residuales, Soda cáustica, Ácido acético y Ácido clorhídrico. Con base en la composición química de los residuos peligrosos se propusieron el compostaje y lombricompostaje para el manejo de los agares, la digestión anaerobia para el manejo de ácidos orgánicos y la neutralización para el manejo de los ácidos y las bases fuertes.

Se determinó que el proceso de compostaje de los agares residuales mezclado con pulpa de café en relación 1:1, permite la mineralización de los mismos y la obtención de un abono orgánico estable con los mayores rendimientos de proceso (14,4% en base húmeda y 24,14% en base seca), al compararlos con los agares sin mezclar y con el proceso de lombricompostaje.

La digestión anaerobia del ácido acético en su forma de acetato de sodio a una concentración de 6000 ppm, permitió la transformación del mismo en metano, con una eficiencia del 95,37%, evitando su impacto ambiental y transformándolo en bioenergía.

El proceso químico de Neutralización, permitió la desactivación de los ácidos y bases fuertes generados como residuos peligrosos, al poder utilizarlos mutuamente, pues las cantidades generadas fueron suficientes para realizar la neutralización.

La presente investigación permitió identificar y evaluar los procesos de compostaje, digestión anaeróbica y neutralización, como los apropiados para realizar el tratamiento interno de los principales residuos peligrosos generados en Cenicafé, disminuyendo los costos ambientales de disposición de los residuos peligrosos en la empresa y generando coproductos (bioenergía y bioabonos) de aplicabilidad para las diferentes actividades que se realizan en el Centro de Investigación.

**Palabras clave:** Residuos peligrosos, Tratamientos biológicos, Compostaje, Lombricompostaje, Digestión anaeróbica, Neutralización química, impacto ambiental.

## ABSTRACT

In order to implement alternatives to the internal management of chemical hazardous waste and biological, generated most in the National Center for Coffee Research, Cenicafé, a diagnosis was made, which was quantified and qualified him different residues hazardous generated in the year. The internal management of hazardous waste, aimed to reduce environmental impacts by a decrease in carbon footprint (transport, incineration) and water (washing and dilution), generated through the provision of external management companies.

The results allowed the identification of 16 hazardous waste and select 4 categories as the most important to have a follow internal treatment, in descending order of quantity generated: Waste agars, Caustic soda, acetic acid and hydrochloric acid. Based on the chemical composition of the hazardous waste composting and vermicomposting for handling agars, anaerobic digestion for handling organic acids and neutralization for handling acids and strong bases were proposed.

It was determined that the composting process of waste agars mixed with coffee pulp in 1: 1 ratio, it allows the mineralization thereof and obtaining a stable compost with higher process yields (14,4% wet basis and 24,14% dry basis), when compared with agars unmixed and with the process of vermicomposting.

Anaerobic digestion of acetic acid in form of sodium acetate at a concentration of 6000 ppm allowed transforming it into methane, with an efficiency of 95,37%, avoiding environmental impact and transforming bioenergy.

The chemical process Neutralization allowed deactivating strong acids and bases as hazardous waste generated, to be able to use each other as the quantities generated were sufficient for neutralization.

This research allowed to identify and evaluate the processes of composting, anaerobic digestion and neutralization, as appropriate for the internal processing of the main hazardous waste generated in Cenicafé, reducing the environmental costs of disposal of hazardous waste in the company and generating coproducts (bioenergy and biofertilizers) applicability for the various activities conducted in the Research Center.

**Keywords:** Hazardous waste, biological treatment, composting, vermicomposting, anaerobic digestion, chemical neutralization, environmental impact.

## 1. INTRODUCCIÓN

El uso de productos químicos y biológicos, forma parte de las actividades cotidianas del ser humano, estos productos desempeñan un rol importante en la economía del mundo. Según su composición, los productos químicos y biológicos impactan de forma negativa o positiva al medio ambiente y a la salud de las personas; de esta interacción entre el hombre y los productos químicos y biológicos se generan unos residuos, que definidos por su composición química son no peligrosos o peligrosos. La generación de Residuos Peligrosos – Respel, son una consecuencia de la industrialización y la interacción del hombre y la economía, lo que ha llevado a que se establezcan acuerdos mundiales, en los cuales se definan criterios claros, que buscan la buena gestión de estos residuos con el fin de minimizar su impacto ambiental en los ecosistemas.

A medida que el mundo evoluciona, las sociedades cambian sus estructuras y sus esquemas de producción y de consumo, este desarrollo trae como consecuencia un aumento en la generación de residuos, que impactan el agua, suelo, aire y la salud humana. Por los anterior, algunos países se han unido a través de tratados, convenios y acuerdos internacionales para buscar el control y la buena gestión de los residuos peligrosos; los que, a lo largo de la historia han generado impactos ambientales negativos y la muerte de miles de seres vivos (MAVDT, 2007).

En Colombia la gestión de los residuos peligrosos se encuentra reglamentada por un gran marco normativo, que obliga a las organizaciones a realizar una buena gestión de ellos. Está claro que cualquier empresa, sin importar su actividad económica y su tamaño, genera una gran variedad de residuos peligrosos; por esta razón el Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé, a través de la práctica responsable en sus procesos de investigación y generación de conocimiento, está comprometida con la preservación, cuidado y mantenimiento del medio ambiente y por eso da cumplimiento a las exigencias de la legislación Colombiana. Pero su interés va más allá del cumplimiento de lo que es obligatorio, por ello busca trabajar en la evaluación de diferentes métodos de tratamiento internos que permitan la gestión

integral de los residuos peligrosos que se generan como resultado de sus actividades de investigación, no solo buscando la protección del medio ambiente y la salud de las personas, sino la disminución de costos por los tratamientos que realiza a través de las empresas gestoras, con las que se contrata los servicios de transporte y disposición final. Con todo lo anterior y como resultado de esta investigación en residuos peligrosos y dejando claro que la razón de ser de Cenicafé es la Generación tecnologías apropiadas, competitivas y sostenibles para los caficultores colombianos ([www.cenicafe.org](http://www.cenicafe.org), 2016), se busca generar una alternativa interna de disposición de algunos residuos peligrosos biológicos y químicos resultantes de las actividades realizadas en los laboratorios, de manera que permita el aprovechamiento de los recursos que se tienen en el Centro. Esta investigación experimental, se realiza a través de procesos anaeróbicos, compostaje y lombricompostaje, procedimientos de desactivación, neutralización, sustitución y eliminación de productos químicos.

En principio se revisaron las bases de datos internas de los años 2011 y 2012, en las cuales se registró semanalmente la entrega de los residuos peligrosos por parte de los diferentes usuarios, los residuos variaron dependiendo los experimentos desarrollados. Después de la revisión de las bases de datos se eligieron los productos con los cuales se decidió trabajar.

El primer criterio de selección fue elegir los residuos que se generaron en mayor cantidad, una vez identificados y con base en su composición química se determinó el tipo de tratamiento interno a aplicar.

## 2. JUSTIFICACIÓN

Los productos químicos y biológicos son un insumo importante en los procesos investigativos, estos permiten llevar a cabo las propuestas de investigación, sin la utilización de productos químicos y biológicos son pocos los proyectos de investigación que se pueden desarrollar; ya sea en laboratorio o en campo. En Cenicafé, se manipulan alrededor de 2000 sustancias químicas y biológicas en los diferentes procesos investigativos.

Según la composición química de cada sustancia, se establece su grado de peligrosidad, este permite definir la forma correcta de manipulación, almacenamiento y disposición final, buscando siempre la protección de las personas que las manipulan y la disminución del impacto que puedan generar los residuos peligrosos al medio ambiente. Las descripciones de las definiciones de peligrosidad se encuentran establecidas en el Marco legal colombiano. Otra fuente de información importante en este momento es el Sistema Globalmente Armonizado – SGA. Cenicafé además de cumplir con la nutrida normativa legal Colombiana en materia de Residuos peligrosos, también tiene como base el SGA, sin embargo su pretensión no es solo el cumplimiento de lo que establecen la normativa y el Sistema, sino, que quiere ir más allá. Por esto, en el año 2011, la organización tomó la decisión de buscar la Certificación en la Norma ISO 14001:2004 Sistema de Gestión Ambiental, este es un plus que se da al proceso de Investigación científica y tecnológica, ya el cumplimiento estricto de la norma obliga a desarrollar procesos organizados, en los cuales se definen los impactos que dichos procesos puedan causar al medio ambiente.

Dentro del mejoramiento continuo que está inmerso en las Normas de certificación, Cenicafé tiene el compromiso de generar sistemas de tratamiento y disposición interna de los residuos peligrosos biológicos y químicos, dado que su disposición final a través de empresas externas, no solo incrementa los costos de disposición, sino también los impactos ambientales a través de un incremento a través de las huellas de agua y carbono.

Por lo anterior la disposición interna de los Respel con el objetivo de generar coproductos de utilidad para la empresa como son los bioabonos y los biocombustibles y la disminución de los costos de tratamiento, justifican la búsqueda de alternativas para el manejo interno de los Respel generados en los procesos de investigación de la empresa.

Cenicafé a través de esta propuesta de Investigación, busca aportar a la disminución de los pasivos ambientales que genera la disposición convencional de los Residuos Peligrosos y busca minimizar los costos económicos por el pago de los tratamientos.



### **3. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

La generación de residuos peligrosos es un problema mundial que se viene tratando desde hace más de 20 años. Colombia ha sido uno de los países que se ha unido a los esfuerzos internacionales para contribuir con la buena gestión de los residuos peligrosos, a través de estrategias que contribuyen a la conservación y protección del medio ambiente. Teniendo en cuenta esta problemática, y con el fin de contribuir en la generación de conocimiento en el manejo apropiado de los residuos peligrosos, en Cenicafé se pretende evaluar procesos químicos y biológicos para el tratamiento interno de los residuos peligrosos que se generan, lo anterior dado que la disposición final de estos residuos genera altos gastos económicos y de una u otra forma siguen generando impactos ambientales. Cualquier porcentaje de generación de residuos peligrosos que se logre reducir en Cenicafé (por cambio en materias primas o por manejo interno de los mismos) se verá reflejado en la disminución de gastos en el manejo y entrega para disposición final de estos residuos con las empresas gestoras y contribuirá a la disminución en la carga de incineración y disposición en celdas de seguridad, que es la forma convencional de manejo de los mismos.

#### **3.1. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN**

¿Cuáles procesos químicos y biológicos pueden ser implementados en Cenicafé, para el tratamiento interno de los residuos peligrosos?

## **4. OBJETIVOS**

### **4.1. Objetivo General**

Cuantificar y clasificar los residuos peligrosos generados en el proceso de investigación en Cenicafé y evaluar procesos químicos y biológicos para el tratamiento interno de los residuos peligrosos más importantes, según su cantidad y grado de peligrosidad..

### **4.2. Objetivos específicos**

- Seleccionar los residuos biológicos y químicos generados en Cenicafé, que de acuerdo a su composición química, sean factibles de tratamiento interno
- Evaluar los procesos de compostaje, lombricompostaje, digestión anaerobia y neutralización para el tratamiento interno de los residuos biológicos y químicos generados en Cenicafé como peligrosos.

## **5. HIPÓTESIS DE TRABAJO**

5.1. Los procesos de compostaje y lombricompostaje permiten tratar internamente el residuo biológico peligroso generado en mayor cantidad en Cenicafé.

5.2. La digestión anaeróbica permite tratar internamente el residuo químico peligroso generado en mayor cantidad en Cenicafé.

5.3. Las cantidades de ácidos y bases fuertes generados como residuos peligrosos, son suficientes para ser inactivados mediante la neutralización.

## **6. MARCO TEÓRICO**

### **6.1. Marco Conceptual**

Para comprender la gestión de los Residuos Peligrosos, se debe entender primero de donde proceden; por esta razón, es necesario tener claridad de algunos conceptos importantes para el desarrollo de esta investigación. Adicionalmente, tener presente, que los residuos peligrosos de los que trata este proceso investigativo están asociados 100% a los resultantes de la manipulación de los productos Químicos y Biológicos en Cenicafé.

#### **6.1.1. Productos químicos**

La ley 55 de 1993 en su artículo 2 describe en su literal a) “La expresión productos químicos designa los elementos y compuestos químicos, y sus mezclas, ya sean naturales o sintéticos”, es decir qué; la mayor parte de nuestra relación con este planeta tiene relacionado el uso de productos químicos. Para tal efecto los Residuos son descritos por la legislación Colombiana como:

#### **6.1.2. Residuo o desecho**

Es cualquier objeto, material, sustancia, elemento o producto que se encuentra en estado sólido o semisólido, o es un líquido o gas contenido en recipientes o depósitos, cuyo generador descarta, rechaza o entrega porque sus propiedades no permiten usarlo nuevamente en la actividad que lo generó o porque la legislación o la normatividad vigente así lo estipula” (MAVDT, 2005).

Se entiende como residuo a materias, disoluciones, mezclas u objetos que no pueden ser utilizados tal cual, pero que son retirados y transportados para luego ser depositados en vertederos o eliminados por incineración o por otro método (ONU, 2003).

Sin embargo en el año 2007 la Organización de las Naciones Unidas - ONU definió residuo como todo material que no tiene un valor de uso directo y que es descartado por su propietario. La dificultad principal de esta definición es que existe el potencial de reciclaje, ya que el residuo es al mismo tiempo una materia prima. Este problema se encuentra en todos los países y ha sido resuelto en diferentes formas (Yakowitz, 1988).

Los **Residuos peligrosos**, también conocidos como Respel, son definidos por las diferentes organizaciones internacionales como:

**Organización de las Naciones Unidas;** todo material que no tiene un valor de uso directo y que es descartado por su propietario.

**Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente;** incluye cualquier material descrito como tal en la legislación nacional, cualquier material que figura como residuo en las listas o tablas apropiadas, y en general cualquier material excedente o de desecho que ya no es útil ni necesario y que se destina al abandono.

**Convenio de Basilea;** las sustancias u objetos a cuya eliminación se procede, se propone proceder o se está obligado a proceder en virtud de lo dispuesto en la legislación nacional.

**Comunidad Europea, Directiva 75/442/CEE, 91/156/CEE, 94/3/CE y 2000/532/CE.;** cualquier sustancia u objeto perteneciente a una de las categorías listadas en el Anexo 1 y del cual su poseedor se desprenda o del cual tenga la intención u obligación de desprenderse.

**Programa Regional de Manejo de Residuos Peligrosos del CEPIS;** todo material que no tiene un valor de uso directo y que es descartado por su propietario.

**Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA);** todo material (sólido, semisólido, líquido o contenedor de gases) descartado, es decir que ha sido abandonado, es reciclado o considerado inherentemente residual. (Martínez, 2005).

La legislación Colombiana define Residuos Peligrosos como: “Aquel residuo o desecho que por sus características corrosivas, reactivas, explosivas, tóxicas, inflamables, infecciosas o radiactivas puede causar riesgo o daño para la salud humana y el ambiente. Así mismo, se considera residuo o desecho peligroso los envases, empaques y embalajes que hayan estado en contacto con ellos” (MAVDT, 2005).

Para realizar una correcta gestión de estos residuos se debe analizar cada sustancia química que se manipule en los procesos de investigación, teniendo presente sus características físico-químicas.

### 6.1.3. Clasificación

Los residuos se pueden clasificar en las siguientes categorías:

**Corrosiva:** “Característica que hace que un residuo o desecho por acción química, pueda causar daños graves en los tejidos vivos que estén en contacto o en caso de fuga puede dañar gravemente otros materiales, y posee cualquiera de las siguientes propiedades:

- a) Ser acuoso y presentar un pH menor o igual a 2 o mayor o igual a 12,5 unidades.
- b) Ser líquido y corroer el acero a una tasa mayor de 6,35 mm por año a una temperatura de ensayo de 55 °C. ” (MAVDT, 2005)

**Reactiva:** “Es aquella característica que presenta un residuo o desecho cuando al mezclarse o ponerse en contacto con otros elementos, compuestos, sustancias o residuos tiene cualquiera de las siguientes propiedades:

- a) Generar gases, vapores y humos tóxicos en cantidades suficientes para provocar daños a la salud humana o al ambiente cuando se mezcla con agua.

- b) Poseer, entre sus componentes, sustancias tales como cianuros, sulfuros, peróxidos orgánicos que, por reacción, liberen gases, vapores o humos tóxicos en cantidades suficientes para poner en riesgo la salud humana o el ambiente.
- c) Ser capaz de producir una reacción explosiva o detonante bajo la acción de un fuerte estímulo inicial o de calor en ambientes, confinados.
- d) Aquel que produce una reacción endotérmica o exotérmica al ponerse en contacto con el aire, el agua o cualquier otro elemento o sustancia.
- e) Provocar o favorecer la combustión” (MAVDT, 2005)

**Explosiva:** “Se considera que un residuo (o mezcla de residuos) es explosivo cuando en estado sólido o líquido de manera espontánea, por reacción química, puede desprender gases a una temperatura, presión y velocidad tales que puedan ocasionar daño a la salud humana y/o al ambiente, y además presenta cualquiera de las siguientes propiedades:

- a) Formar mezclas potencialmente explosivas con el agua.
- b) Ser capaz de producir fácilmente una reacción o descomposición detonante o explosiva a temperatura de 25 °C y presión de 1,0 atmósfera.
- c) Ser una sustancia fabricada con el fin de producir una explosión o efecto pirotécnico” (MAVDT, 2005)

**Tóxica:** “Se considera residuo o desecho tóxico aquel que en virtud de su capacidad de provocar efectos biológicos indeseables o adversos puede causar daño a la salud humana y/o al ambiente. Para este efecto se consideran tóxicos los residuos o desechos que se clasifican de acuerdo con los criterios de toxicidad (efectos agudos, retardados o crónicos y ecotóxicos) definidos a continuación y para los cuales, según sea necesario, las autoridades competentes establecerán los límites de control correspondiente:

- a) Dosis letal media oral (DL50) para ratas menor o igual a 200 mg/kg para sólidos y menor o igual a 500 mg/kg para líquidos, de peso corporal.
- b) Dosis letal media dérmica (DL50) para ratas menor o igual de 1000 mg/kg de peso corporal.

- c) Concentración letal media inhalatoria (CL50) para *ratas* menor o igual a 10 mg/l.
- d) Alto potencial de irritación ocular, respiratoria y cutánea, capacidad corrosiva sobre tejidos vivos.
- e) Susceptibilidad de bioacumulación y biomagnificación en los seres vivos y en las cadenas tróficas.
- f) Carcinogenicidad, mutagenicidad y teratogenicidad.
- g) Neurotoxicidad, inmunotoxicidad u otros efectos retardados.
- h) Toxicidad para organismos superiores y microorganismos terrestres y acuáticos,
- i) Otros que las autoridades competentes definan como criterios de riesgo de toxicidad humana o para el ambiente” (MAVDT, 2005)

Además, se considera residuo o desecho tóxico aquel que, al realizársele una prueba de lixiviación para característica de toxicidad (conocida como prueba TCLP), contiene uno o más de las sustancias, elementos o compuestos que se presentan en la Tabla 1 en concentraciones superiores a los niveles máximos permisibles en el lixiviado establecidos”.

**Inflamable:** “Característica que presenta un residuo o desecho cuando en presencia de una fuente de ignición, puede arder bajo ciertas condiciones de presión y temperatura, o presentar cualquiera de las siguientes propiedades:

- a) Ser un gas que a una temperatura de 20 °C y 1.0 atmósfera de presión arde en una mezcla igual o menor al 13% del volumen del aire.
- b) Ser un líquido cuyo punto de inflamación es inferior a 60 °C de temperatura, con excepción de las soluciones acuosas con menos de 24% de alcohol en volumen.
- c) Ser un sólido con la capacidad bajo condiciones de temperatura de 25 °C y presión de 1.0 atmósfera, de producir fuego por fricción, absorción de humedad o alteraciones químicas espontáneas y quema vigorosa y persistentemente dificultando la extinción del fuego.
- d) Ser un oxidante que puede liberar oxígeno y, como resultado, estimularla combustión y aumentar la intensidad del fuego en otra materia” (MAVDT, 2005)



Tabla 1: Pruebas de lixiviación,

Fuente: Decreto 4741 de 2005, MAVDT, 2005

| CONTAMINANTE                | NUMERO CAS <sup>1</sup> | NIVEL MAXIMO PERMISIBLE EN EL LIXIVIADO (mg/L) |
|-----------------------------|-------------------------|--|
| Arsénico                    | 7440-38-2               | 5.0  |
| Bario                       | 7440-39-3               | 100.0  |
| Benceno                     | 71-43-2                 | 0.5  |
| Cadmio                      | 7440-43-9               | 1.0  |
| Tetracloruro de carbono     | 56-23-5                 | 0.5  |
| Clordano                    | 57-74-9                 | 0.03   |
| Clorobenceno                | 108-90-7                | 100.0  |
| Cloroformo                  | 67-66-3                 | 6.0  |
| Cromo                       | 7440-47-3               | 5.0  |
| o-Cresol                    | 95-48-7                 | 200.0  |
| m-Cresol                    | 108-39-4                | 200.0  |
| p-Cresol                    | 106-44-5                | 200.0  |
| Cresol                      | -                       | 200.0  |
| 2,4-D                       | 94-75-7                 | 10.0   |
| 1,4-Diclorobenceno          | 106-46-7                | 7.5  |
| 1,2-Dicloroetano            | 107-06-2                | 0.5  |
| 1,1-Dicloroetileno          | 75-35-4                 | 0.7  |
| 2,4-Dinitrotolueno          | 121-14-2                | *0.13  |
| Endrin                      | 72-20-8                 | 0.02   |
| Heptacloro (y sus epóxidos) | 76-44-8                 | 0.008  |
| Hexaclorobenceno            | 118-74-1                | <sup>2</sup> 0.13                              |
| Hexaclorobuiadieno          | 87-68-3                 | 0.5  |
| Hexacloroetano              | 67-72-1                 | 3.0  |
| Plomo                       | 7439-92-1               | 5.0  |
| Lindano                     | 58-89-9                 | 0.4  |
| Mercurio                    | 7439-97-6               | 0.2  |
| Metoxiclor                  | 72-43-5                 | 10.0   |
| Metil etil cetona           | 78-93-3                 | 200.0  |
| Nitrobenceno                | 98-95-3                 | 2.0  |
| Pentaclorofenol             | 87-86-5                 | 100.0  |
| Piridina                    | 110-86-1                | 5.0  |
| Selenio                     | 7782-49-2               | 1.0  |
| Plata                       | 7440-22-4               | <sup>3</sup> 5.0                               |
| Tetracloroetileno           | 127-18-4                | 0.7  |
| Toxafeno                    | 8001-35-2               | 0.5  |
| Tricloroetileno             | 79-01-6                 | 0.5  |
| 2,4,5-Triclorofenol         | 95-95-4                 | 400.0  |
| 2,4,6-Triclorofenol         | 88-06-2                 | 2.0  |
| 2,4,5-TP (silvex)           | 93-72-1                 | 1.0  |
| Cloruro de vinilo           | 75-01-4                 | 0.2  |

**Infeciosa:** “Un residuo o desecho con características infecciosas se considera peligroso cuando contiene agentes patógenos; los agentes patógenos son microorganismos (tales como bacterias, parásitos, virus, rickettsias y hongos) y otros

agentes tales como priones, con suficiente virulencia y concentración como para causar enfermedades en los seres humanos o en los animales” (MAVDT, 2005).

**Radiactiva:** “Se entiende por residuo radioactivo, cualquier material que contenga compuestos, elementos o isótopos, con una actividad radiactiva por unidad de masa superior a 70 K Bq/Kg (setenta kilo becquerelios por kilogramo) o 2nCi/g (dos nanocuries por gramo), capaces de emitir, de forma directa o indirecta, radiaciones. Ionizantes de naturaleza corpuscular o electromagnética que en su interacción con la materia produce ionización en niveles superiores a las radiaciones naturales de fondo (MAVDT, 2005).

La Política ambiental para la Gestión Integral de Residuos o Desechos Peligrosos publicada en el año 2005, realiza un análisis acerca de la problemática que se refiere a la generación de Respel y establece lineamientos Nacionales, para que los involucrados en los procesos productivos produzcan menos residuos, a través de los métodos de producción más limpia. Sin embargo la adopción de este método no es 100% viable porque de una u otra forma se genera algún tipo de Respel, por esta razón es posible generar otros métodos para minimizar la disposición tradicional de los Residuos, como son; el Reciclaje, la recuperación y el aprovechamiento. Si todas las propuestas anteriores no son viables, se realiza tratamiento y disposición de los Respel, a través de métodos seguros, los cuales se describen más adelante.

Como lo muestra esta tesis, Cenicafé busca a través de esta investigación, con procesos como la Digestión Anaerobia, el Compostaje, Lombricompostaje y la Neutralización y Desactivación de los residuos peligrosos, disminuir costos en el tratamiento de sus residuos peligrosos, disminuir la huella de carbono en el manejo de los mismos y generar coproductos en forma de bioabonos y bioenergía que no es posible obtener mediante el proceso convencional de incineración (consume energía en lugar de generarla) y disposición en celda. Lo anterior con el fin de generar valor agregado a los procesos de investigación propios del centro, como es el disponer de bioenergía y bioabonos como insumos en los procesos investigativos.

En la tabla 2 se describen algunos Beneficios descritos en la Política Ambiental para la Gestión Integral de Residuos o Desechos Peligrosos del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Territorial, 2005

**Tabla 2 Beneficios de la disminución de los Residuos Peligrosos.**

Fuente: Política Ambiental para la Gestión de Residuos o Desechos Peligrosos - MAVDT, 2005.

|             |   |   |
|-------------|---|---|
| Económicos  | Ahorros por aprovechamiento de materias primas, insumos, servicios.<br>Reducción de costos por disposición o tratamiento.<br>Mejora la competitividad.<br>Acceso a beneficios económicos por programas de mejoramiento ambiental. | Garantiza continuidad de la actividad productiva. |
| Legales     | Ayuda a cumplir la normatividad ambiental.<br>Disminución de costos por sanciones   |   |
| Imagen      | Imagen ante la comunidad y los empleados por el respeto al medio ambiente.<br>Reconocimiento nacional e internacional.  |   |
| Ambientales | Base fundamental para garantizar el mejoramiento continuo de la gestión ambiental.<br>Reducción de Impactos Ambientales.  |   |
| Técnico     | Mejora la eficiencia en los procesos productivos, en los productos y en los servicios.  |   |
| Sociales    | Disminución de riesgos a la salud de la población.<br>Mejora de la calidad de vida.   |   |

**6.1.4. Métodos para el tratamiento y disposición final de Residuos Peligrosos.**

El tratamiento de residuos consiste en un proceso de transformación cuyos objetivos son:

- Reducir el volumen y disminuir la peligrosidad.
- Destruir sustancias peligrosas que no es posible confinar.
- Contener y aislar los materiales peligrosos. (MAVDT, 2007)

Cualquier tipo de tratamiento y disposición final de los Respel, va a generar otros residuos, que impactará la salud de las personas y la sostenibilidad del medio ambiente.

La literatura habla de los siguientes procesos de tratamiento para los Respel:

**Químicos**, transformación mediante la adición de compuestos químicos para alcanzar el objetivo deseado.

**Físico-químicos**, involucra procesos físicos y químicos para modificar las propiedades físicas y químicas del residuo.

**Biológicos**, es la descomposición de contaminantes por acción de un conjunto de microorganismos.

**Térmicos**, a través de la utilización de hornos a altas temperaturas que destruyen los residuos.

**Estabilización**, transformación de los Respel, en formas menos tóxicas, menos movibles o menos solubles.

**Solidificación**, generación de una masa sólida monolítica de residuos tratados.

*Sin embargo ningún tipo de tratamiento es perfecto, pues cada proceso, producirá otros residuos como, emisiones atmosféricas, efluentes o residuos sólidos.*

En Colombia, el tratamiento y disposición de los Respel, normalmente es a través de disposición final con empresas Gestoras y poco, es pensando en la prevención y el aprovechamiento.

Con todo lo descrito, esta investigación se encuentra enmarcada en la experimentación, con procesos como la digestión anaeróbica, el compostaje, lombricompostaje y el establecimiento de procedimientos para la neutralización y desactivación de los residuos peligrosos.

Estos procesos son:

### **Digestión anaerobia**

La digestión anaerobia es una fermentación microbiana en ausencia de oxígeno que da lugar a una mezcla de gases (principalmente metano y dióxido de carbono),

conocida como "biogás" y a una suspensión acuosa o "lodo" que contiene los microorganismos responsables de la degradación de la materia orgánica. La materia prima preferentemente utilizada para ser sometida a este tratamiento es cualquier biomasa residual que posea un alto contenido en humedad (Obaya *et al.*, 2005)

Es una vía de manejo de residuos orgánicos, líquidos o semisólidos, que presenta varias ventajas sobre otros procesos más convencionales. El no requerir energía externa para su realización, la producción limitada de lodos y la generación de metano, susceptible de ser aprovechado, la hacen una tecnología sustentable, atributo que cada vez será máspreciado en la construcción de un nuevo modelo de desarrollo (Noyola, 1995).

La Digestión anaerobia, degrada microbiológicamente cualquier materia orgánica hasta gas metano, en ambientes carentes de oxígeno. (Howell, 1987).

La Digestión anaerobia incluye la ruptura de casi todos los tipos de materia orgánica por la acción concertada de una amplia variedad de microorganismos (principalmente bacterias) en ausencia de oxígeno u otros agentes oxidantes fuertes, el metano y el dióxido de carbono son los principales productos generados del proceso anaerobio.

### **Compostaje**

El proceso de compostaje es la transformación biológica de los residuos orgánicos llevada a cabo por los microorganismos debido a la cual, elementos químicos como el N, C, K, P y S de compuestos complejos se liberan; sustancias como la celulosa y las proteínas entre otras se degradan en otras simples sin olor desagradable.

La descomposición en general se logra de 2 formas:

Aeróbica o rápida, con liberación de CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O y energía calórica (1g. de glucosa = 500 Kcal.)

Anaeróbica o lenta, libera  $H_2S$ ,  $CH_4$ ,  $NH_3$ , poco  $CO_2$ , menos energía (1 g. de glucosa = 26 Kcal.)

El compostaje es un método biológico que transforma restos orgánicos de distintos materiales (paja, lodos cloacales, residuos domiciliarios, cortezas y estiércol, entre otros) en un producto relativamente estable, cuyo uso se ha incrementado en los últimos años como una alternativa efectiva para mejorar la productividad y la calidad de los suelos (Claassen *et al.*, 2004).

Es un proceso bio-oxidativo controlado, que requiere un grado de oxigenación y humedad adecuados y que implica el paso por un proceso de higienización a través de una etapa termófila (García, 1990).

El compostaje es un proceso donde los residuos orgánicos biodegradables se descomponen mediante una oxidación bioquímica, bajo condiciones controladas, generando  $CO_2$  y  $H_2O$ , energía calórica y materia orgánica estabilizada o “compost” (Varnero *et al.*, 2007).

De acuerdo con las investigaciones realizadas en Cenicafé, se ha encontrado que la aplicación entre 0,5 y 3 kilogramos de abono orgánico por planta de café al año reemplaza la fertilización convencional, aspecto de vital importancia económica ahora que los fertilizantes químicos han alcanzado un costo alto, lo que encarece los costos de producción del café. Actualmente el costo de fertilización por planta es del orden de \$ 500 COP/año

### **Lombricompostaje**

Es un proceso fisiológico de digestión de los residuos orgánicos, sin dejar fuera la participación de los microorganismos. De esta manera la materia orgánica contenida en los lodos residuales es fragmentada, descompuesta y estabilizada (Pastorelly, 2001). Vera *et al.*, 2006, mencionan que la lombriz, estabiliza a neutro los valores

de pH, airea el sustrato y favorece la proliferación de una importante población microbiana.

El lombricompostaje es una biotecnología que se apoya en seres vivos para transformar la materia orgánica. Además es una técnica con un proceso limpio, de bajo costo y no ocupa mucho espacio para su aplicación (Röben, 2002).

### **Neutralización Química**

Una reacción ácido-base o reacción de neutralización es una reacción química que ocurre entre un ácido y una base produciendo una sal y agua. La palabra "sal" describe cualquier compuesto iónico cuyo catión provenga de una base, por ejemplo ( $\text{Na}^+$  del  $\text{NaOH}$ ) y cuyo anión provenga de un ácido, por ejemplo ( $\text{Cl}^-$  del  $\text{HCl}$ ). Las reacciones de neutralización son generalmente exotérmicas, lo que significa que desprenden energía en forma de calor. Se les suele llamar de neutralización porque al reaccionar un ácido con una base, estos neutralizan sus propiedades mutuamente (Wikipedia, 2016).

Existen varios conceptos que proporcionan definiciones alternativas para los mecanismos de reacción involucrados en estas reacciones, y su aplicación en problemas en disolución relacionados con ellas. La palabra Neutralización se puede interpretar como una eliminación de la peligrosidad, lo cual no está muy lejano a la realidad. Cuando un ácido se mezcla con una base ambas especies reaccionan en diferentes grados que dependen en gran medida de las concentraciones y volúmenes del ácido y la base. A modo ilustrativo se puede considerar la reacción de un ácido fuerte que se mezcla con una base débil, esta última será neutralizada completamente, mientras que permanecerá en disolución una porción del ácido fuerte, dependiendo de las moles que reaccionaron con la base. Pueden considerarse 3 alternativas adicionales que surgen de la mezcla de un ácido con una base (Wikipedia, 2016):



1. *Mezcla de un ácido fuerte con una base fuerte*: Cuando esto sucede, la especie que quedará en disolución será la que esté en mayor cantidad respecto de la otra (este es el proceso que se trata en la investigación)
2. *Mezcla un ácido débil con una base fuerte*: La disolución será básica, ya que será la base la que permanezca en la mezcla.
3. *Mezcla un ácido débil con una base débil*: Si esto sucede, la acidez de una disolución dependerá de la constante de acidez del ácido débil y de las concentraciones tanto de la base como del ácido.

A pesar de las diferencias en las definiciones, su importancia se pone de manifiesto en los diferentes métodos de análisis, cuando se aplica a reacciones ácido-base de especies gaseosas o líquidas, o cuando el carácter ácido o básico puede ser algo menos evidente (Wikipedia, 2016).

## **6.2. Marco Normativo**

La Normativa ambiental colombiana se traduce a múltiples leyes, decretos, resoluciones y otras, emitidas por el Gobierno Nacional a través de sus Ministerios y demás delegados, entes departamentales y municipales que buscan la protección integral de los recursos naturales y por ende la del Medio ambiente. En la Constitución Política de Colombia se establece que todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano; que la ley garantizará la participación de la comunidad en las decisiones que puedan afectarlo y que es deber del Estado proteger la diversidad e integridad del ambiente, conservar las áreas de especial importancia ecológica y fomentar la educación para el logro de estos fines; que el Estado planificará el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución; que deberá prevenir y controlar los factores de deterioro ambiental, imponer las sanciones legales y exigir la reparación de los daños causados. Que la misma Carta Política consagra entre los deberes de las personas y del ciudadano proteger los recursos naturales del país y velar por la conservación de un ambiente sano. (RESOLUCIÓN 1754, 2011). Es así como se articulan un sinnúmero de derechos ambientales para cada uno de los recursos naturales, suelo, aire, agua, biodiversidad en flora y fauna.

Para este caso se realiza una revisión Normativa en el tema de residuos peligrosos, pues Colombia tiene un amplio marco legal que busca a través de la Política Ambiental para la Gestión Integral de Residuos o Desechos peligrosos, prevenir la generación de los residuos peligrosos y promover el manejo ambientalmente adecuado de los que se generen, con el fin de minimizar los riesgos sobre la salud humana y el ambiente contribuyendo al desarrollo sostenible. (MAVDT, 2005)

### **6.2.1. Tratados internacionales**

Un gran número de tratados en torno a la protección del medio ambiente, han sido celebrados desde hace más de 4 décadas, para los países que deciden formar parte

de estas propuestas, adquieren obligaciones ambientales que deben ser tomadas para el diseño de políticas Nacionales y promover así su cumplimiento.

Dentro de estos tratados se pueden mencionar algunos como son:

- Convenio de Viena para la Protección de la Capa de Ozono, 1969.
- Convenio de Estocolmo sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes, 1972.
- Protocolo de Montreal relativo a las sustancias agotadoras de la capa de ozono, 1987.
- Programa 21, 1989.
- Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático, 1992.
- Convenio de Basilea para el Control de los Movimientos Transfronterizos de Desechos Peligrosos y su Eliminación, 1992.
- Cumbre para la tierra Rio de Janeiro, 1992.
- Protocolo de Kioto, 1997.
- Cumbre de Johannesburgo, 2002.
- Acuerdo internacional de Copenhague, 2009.
- Cumbre de Rio + 20, 2012.
- Conferencia sobre cambio climático de Paris, 2015.

### **6.2.2. Reglamentación en Colombia**

Colombia no ha sido ajena a los esfuerzos de las organizaciones internacionales, que voluntariamente han formado parte de los tratados y de las agendas que se han celebrado en diferentes lugares del mundo, en estas reuniones se buscan los mecanismos para trabajar en pro de la protección y recuperación del medio ambiente y se constituyen como una fuente importante del Derecho Ambiental, a través de la generación de las políticas ambientales.

Se resalta que desde 1973 con la Ley 23, con la cual se expide el Código de Recursos Naturales y de Protección al Medio Ambiente y se dictan otras disposiciones

En Colombia existe una “Política para la Gestión Integral de Residuos” publicada en 1998 que se fundamenta principalmente en la Constitución Política, las leyes 99 de 1993 y 142 de 1994, que están enfocadas a residuos sólidos no peligrosos.

Como complemento a la Política anterior, el Consejo Nacional Ambiental aprobó el 15 de diciembre de 2005, la Política Ambiental para la Gestión Integral de Residuos o Desechos Peligrosos, cuyo objetivo es, en el marco de ciclo de vida, prevenir la generación de residuos peligrosos y promover el manejo ambientalmente adecuado de los que se generen, con el fin de minimizar los riesgos sobre la salud y el ambiente contribuyendo al desarrollo sostenible.

A continuación se realiza un resumen del marco normativo.

- Ley 430 del 16 de Enero de 1998 del Congreso de la República. Por la cual se dictan normas prohibitivas en materia ambiental, referentes a los desechos peligrosos y se dictan otras disposiciones.
- Decreto 2676 del 22 de Diciembre del 2000 del Ministerio del Medio Ambiente y Ministerio de Salud. Por el cual se reglamenta la gestión integral de los residuos hospitalarios y similares.
- Resolución 0058 del 21 de enero de 2002, modificada por la Resolución 0886 del 27 de julio de 2004, del MAVDT, por la cual se establecen normas y límites máximos permisibles de emisión para incineradores y hornos crematorios de residuos sólidos y líquidos.
- Decreto 1609 de 31 de Julio del 2002 del Ministerio de Transportes. Donde se estipulan las condiciones para el envasado, etiquetado y demás ítems concernientes a la presentación de residuos peligrosos.
- Norma Técnica Colombiana ISO 14001:2004 Garantiza la calidad de un producto mediante la implementación de controles exhaustivos, asegurándose de que todos los procesos que han intervenido en su fabricación operan dentro de las características previstas y bajo el cumplimiento de la legislación ambiental vigente.
- Decreto 4126 del 16 Noviembre del 2005 del Ministerio de Protección Social. Por el cual se modifica parcialmente el decreto 2676 de 2000, modificado por el decreto 2763 de 2001 y el decreto 1669 de 2002, sobre la gestión integral de los residuos hospitalarios y similares.

- Decreto 4126 del 16 Noviembre del 2005 del Ministerio de Protección Social. Por el cual se modifica parcialmente el decreto 2676 de 2000, modificado por el decreto 2763 de 2001 y el decreto 1669 de 2002, sobre la gestión integral de los residuos hospitalarios y similares.
- Decreto 4741 del 30 de diciembre del 2005 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, Por el cual se reglamenta parcialmente la prevención y manejo de los residuos y desechos peligrosos en el marco de la gestión integral.
- Resolución 0043 del 23 de Marzo del 2007 del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Por la cual se establecen los estándares generales para el acopio de datos, procesamiento, transmisión y difusión de información para el Registro de Generadores de Residuos o Desechos Peligrosos.
- Resolución 1362 del 2 de agosto de 2007 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Por la cual se establecen los requisitos y el procedimiento para el Registro de Generadores de Residuos o Desechos Peligrosos, a que hacen referencia los artículos 27 y 28 del Decreto 4741 del 30 de diciembre de 2005.
- Resolución 0062 de 2007 del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia. Por la cual se adoptan los protocolos de muestreo y análisis de laboratorio para la caracterización fisicoquímica de los residuos o desechos peligrosos en el país.
- Ley 1252 del 27 de noviembre de 2008 del Congreso de la Republica. Por la cual se dictan normas prohibitivas en materia ambiental, referentes a los residuos y desechos peligrosos y se dictan otras disposiciones.
- Resolución 482 del 11 de marzo de 2009 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Por la cual se reglamenta el manejo de bolsas o recipientes que han contenido soluciones para uso intravenoso, intraperitoneal y en hemodiálisis, generados como residuos en las actividades de atención de salud, susceptibles de ser aprovechados o reciclados.
- Resolución 1511 del 5 de Agosto del 2010 de Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Por el cual se establecen los Sistemas de Recolección Selectiva y Gestión Ambiental de Bombillas y se adoptan otras disposiciones.

- Resolución 1297 del 8 de Julio del 2010 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Por el cual se establecen los Sistemas de Recolección Selectiva y Gestión Ambiental de Pilas y/o Acumuladores y se adoptan otras disposiciones.
- Resolución 1457 del 29 Julio de 2010 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Por el cual se establecen los Sistemas de Recolección Selectiva y Gestión Ambiental de Llantas usadas y se adoptan otras disposiciones.
- Resolución 0222 del 15 de diciembre de 2011 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Por la cual se establecen requisitos para la gestión ambiental integral de equipos y desechos que consisten, contienen o están contaminados con Bifenilos Policlorados (PCB)

La normativa colombiana en Residuos Peligrosos es bastante extensa y se puede observar su evolución a lo largo de la historia.

### **6.3 Marco contextual**

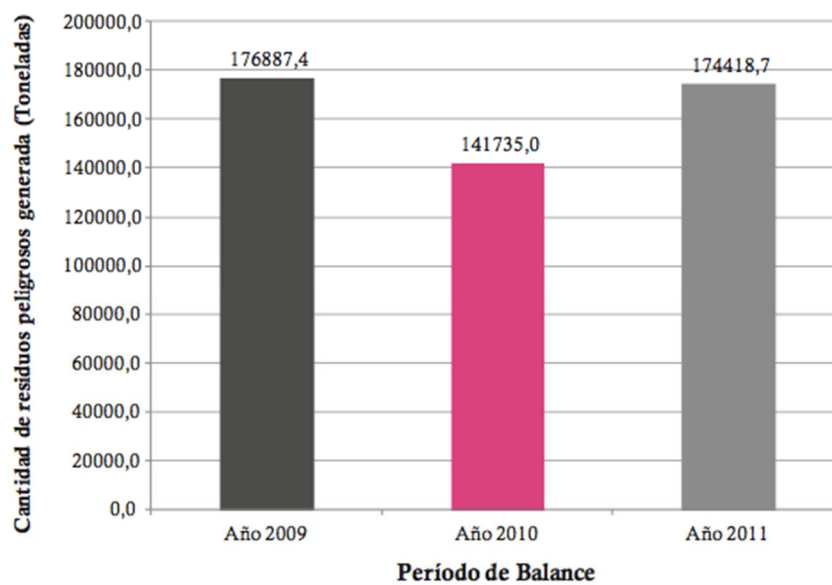
#### **6.3.1. Estado del arte de la generación de Respel en Colombia.**

En el año 1989 se suscribió el Convenio de Basilea y en 2008 el convenio de Estocolmo. Sus objetivos son; Proteger la salud de las personas y del medio ambiente de los efectos nocivos de los residuos peligrosos y los compuestos orgánicos persistentes.

Hasta 1996 Colombia ratificó el convenio de Basilea; después de esta ratificación ha venido generado un gran marco legislativo en materia de Gestión de Residuos Peligrosos.

Los Países que se suscribieron a estos convenios adquirieron unas obligaciones, una de ellas es la de reportar los inventarios de los Residuos Peligrosos y Productos orgánicos persistentes con el fin de conocer la problemática ambiental y realizar seguimiento a la Gestión de los Residuos Peligrosos.

El Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM, en su “Informe Nacional Generación y Manejo de Residuos o Desechos Peligrosos en Colombia – Año 2011”, indicó que “En el año 2011 la generación de residuos fue de 174.418,7 toneladas, cifra superior a las 141.735,0 toneladas generadas en 2010, e inferior al año 2009”, Figura 1 El incremento entre los años 2010 y 2011 podría atribuirse por una parte al crecimiento de la economía en Colombia en 2011 respecto a 2010 (5,9%)(IDEAM, 2011).



**Figura 1** Generación de residuos peligrosos en el periodo 2009 - 2011

**Fuente:** Informe Nacional Generación y Manejo de Residuos o Desechos Peligrosos en Colombia, IDEAM, 2011.

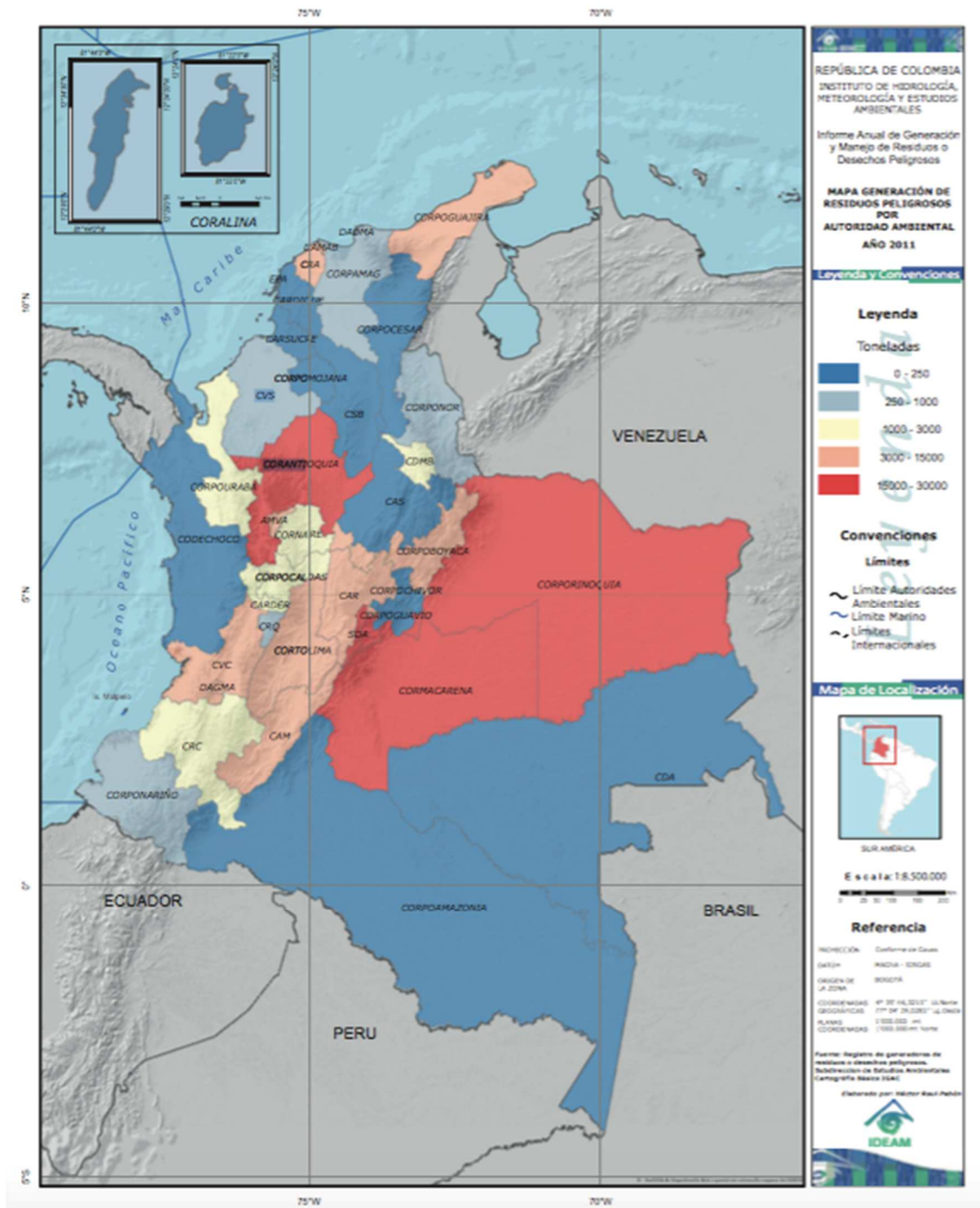


Figura 2 Distribución Geográfica de los Residuos Peligrosos generados en 2011

Fuente: Informe Nacional Generación y Manejo de Residuos o Desechos Peligrosos en Colombia, IDEAM, 2011.



En la figura 2, se muestra el aporte del Departamento de Caldas en el consolidado Nacional de la generación de residuos peligrosos. Como se puede observar Caldas se encontraba en el grupo de los generadores entre 1000 y 3000 toneladas anuales, a las cuales Cenicafé aportó aproximadamente 3170 kilogramos en el año 2011 (aproximadamente 0.3% del total), lo cual se describe en el Tabla 3.

**Tabla 3 Cifras en kilogramos de residuos peligrosos generados por Cenicafé el periodo 2009 - 2012**

| AÑO 2009<br>(Kg) | AÑO 2010<br>(Kg) | AÑO 2011<br>(Kg) | AÑO 2012<br>(Kg) |
|------------------|------------------|------------------|------------------|
| 4854,3           | 3154,4           | 3177,5           | 3136,3           |

La disposición externa de los Respel, no solo implica un costo económico en el pago a las empresas gestoras, sino también que implica unos costos de almacenamiento (mientras se realiza la caracterización y entrega a la empresa gestora) y unos riesgos a la salud de las personas que los manipulan, y a las personas cercanas a los sitios de almacenamiento. La disposición interna de los Respel, puede dar solución a los inconvenientes mencionados anteriormente.

### **6.3.2. Identificación de los aspectos ambientales**

Cenicafé en el año 2011 inició el trabajo para la búsqueda de la certificación en la norma ISO 14001 que establece todo lo referente al ambiente.

La primera tarea fue reconocer todo el marco normativo ambiental que le aplicaba para cada uno de sus procesos de investigación. Luego realizó la identificación y valoración de los Aspectos Ambientales teniendo como criterio el efecto negativo o positivo al suelo, aire y agua que estos podían generar; para esto un grupo interdisciplinario de colaboradores de la Organización, realizó sesiones de trabajo y estructuraron estructuración la matriz de Aspectos Ambientales Significativos. Lo cual permitió establecer con claridad las tareas para la priorización de las actividades, productos y servicios que la organización podía controlar y aquellos

sobre los que podía influir. Entre los Aspectos Ambientales identificados, se encuentran el derrame de productos químicos y la generación de residuos peligrosos, los dos relacionados al uso de productos químicos. Tabla 4.

**Tabla 4 Ejemplo de la Matriz de Aspectos Ambientales Significativos**

| MATRIZ DE ASPECTOS AMBIENTALES SIGNIFICATIVOS - CENICAFÉ |   |   |   |                         |          |                         |         |   |                        |    |     |                        |   |   |   |   |     |
|--|---|---|---|-------------------------|----------|-------------------------|---------|---|------------------------|----|-----|------------------------|---|---|---|---|-----|
| ÁREA   | ACTIVIDAD, PRODUCTO, SERVICIO, PROYECTO | DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDAD, PRODUCTO, SERVICIO, PROYECTO  | ASPECTO   | IMPACTO                 | TIPO     | CONDICIÓN DE OCURRENCIA | GESTIÓN | CONTROL OPERACIONAL O MECANISMO DE CONTROL  | VALORACIÓN DEL ASPECTO |    |     | NIVEL DE SIGNIFICANCIA |   |   |   |   |     |
|  |   |   |   |                         |          |                         |         |   | CL                     | CA | CPI |                        |   |   |   |   |     |
| Edificio 1   | Servicio Médico                         | Atención médica y enfermería<br>Almacenamiento de medicamentos, equipos médicos, equipos de gimnasia              | Generación residuos peligrosos-<br>Biologicos         | Contaminación del suelo | Negativo | Normal                  | Control | FE-AM-P-0007<br>Procedimiento de recolección de RESPEL<br>FE-AM-P-0031 Normas generales para la manipulación de productos químicos .<br>FE-AM-P-0028<br>Procedimiento operacional almacenamiento con base en la matriz guía de almacenamiento químico | 5                      | 1  | 5   | 3                      | 1 | 1 | 5 | 1 | 4.6 |
| Edificio 2 y 3   | Labores de investigación                | Procesamiento de muestras, uso de equipos, lavado de material, análisis de laboratorio, uso de productos químicos | Generación residuos peligrosos. Químicos y biológicos | Contaminación del suelo | Negativo | Normal                  | Control | FE-AM-P-0007<br>Procedimiento de recolección de RESPEL<br>FE-AM-P-0031. Normas generales para la manipulación de productos químicos<br>FE-AM-P-0028.<br>Procedimiento operacional almacenamiento con base en la matriz guía de almacenamiento químico | 5                      | 1  | 5   | 5                      | 1 | 1 | 7 | 3 | 5.7 |
| Sistema septico de aguas domésticas y de laboratorio     | Tratamiento de aguas residuales         | Tratamiento de las aguas residuales domesticas  | Generación residuos peligrosos                        | Contaminación del agua  | Negativo | Normal                  | Control | FE-AM-P-0007.<br>Procedimiento de recolección de RESPEL<br>FE-AM-P-0031. Normas generales para la manipulación de productos químicos<br>FE-AM-P-0028<br>Procedimiento operacional almacenamiento con base en la matriz guía de almacenamiento químico | 5                      | 1  | 5   | 3                      | 1 | 1 | 5 | 1 | 4.6 |

En la Tabla 5, se describen los niveles de significancia o valoraciones, con el fin de que el lector comprenda como se califican los Aspectos Ambientales.

Tabla 5 Nivel de significancia

| Nivel de Significancia | Nivel   | Decisión Aspecto Negativo   | Decisión Aspecto Positivo   |
|------------------------|---------|---|---|
| Baja                   | 0 a 7   | Evaluar en la siguiente actualización de la matriz de aspectos ambientales  | Fortalecer las acciones que generan un impacto ambiental positivo, teniendo en cuenta la disponibilidad de recursos humanos, financieros y tecnológicos |
| Media                  | 8 a 12  | Evaluar en la siguiente actualización de la matriz de aspectos ambientales  | Fortalecer las acciones que generan un impacto ambiental positivo, teniendo en cuenta la disponibilidad de recursos humanos, financieros y tecnológicos |
| Alta                   | 13 a 17 | Definir e implementar programas de gestión ambiental y definir controles operacionales para aquellas actividades asociadas al aspecto ambiental significativo | Mantener la implementación de las acciones de gestión ambiental y realizar seguimiento  |

La identificación y posterior calificación de estos Aspectos, generó la formulación de Programas específicos, los cuales tiene una estructura definida de la siguiente forma: objetivo, alcance, glosario, meta e indicador y anualmente se deben evidenciar las actividades, responsables, plazos, recursos y logros esperados. En la Tabla 6 se ejemplifica lo contenido en el Programa de Gestión Ambiental – Manejo de Residuos Peligrosos. Estas actividades tienen vigencia de un año.

Tabla 6 Estructura Programa de Gestión Ambiental - Manejo de Residuos Peligrosos

| ACTIVIDADES  | RESPONSABLES                                 | PLAZO MÁXIMO                               | RECURSOS              | LOGRO ESPERADO   |
|--|--|--|-----------------------|--|
| Analizar el resultado de la implementación del plan en el año anterior                     | Asistente de Investigación                   | Se establecen de acuerdo a las necesidades | Humanos               | Acta en ISolución – Plataforma del Sistema de Gestión Integral de la Federación Nacional de Cafeteros. |
| Determinar las metodologías que se van a llevar a cabo para el tratamiento de los residuos | Asistente de Investigación-Salud Ocupacional | Se establecen de acuerdo a las necesidades | Humanos               | Documento con las metodologías establecidas  |
| Elaborar Diagnóstico de posibles residuos que se pueden tratar internamente.               | Asistente de Investigación                   | Se establecen de acuerdo a las necesidades | Humanos               | Correo electrónico con el listado de los productos químicos  |
| Pruebas piloto para el tratamiento interno de los Residuos Peligrosos.                     | Asistente de Investigación                   | Se establecen de acuerdo a las necesidades | Humanos y Financieros | Informe con resultados iniciales del tratamiento interno de los residuos peligrosos.                   |
| Entrega de los RESPEL que no son tratados internamente a la empresa certificada            | Asistente de Investigación                   | Se establecen de acuerdo a las necesidades | Humanos y Financieros | Por lo menos dos entregas en el año.   |

### 6.3.3. Experiencias a escala nacional e internacional

La literatura habla que la Digestión Anaeróbica, es un proceso que se ha venido realizando desde hace muchos años; en la antigüedad se aplicaba para el curtido de cueros, generación de etanol, ácidos orgánicos y otros, pero era utilizado no por su proceso sino por los productos que generaba (Guevara, 1996).

Luis Pasteur para 1884, presentó los trabajos de Gayón, su discípulo y concluyó que la fermentación del estiércol podría ser una fuente de energía para la calefacción e iluminación. (Medina, 1984)

Guevara, 1996 describe que para el año 1900 se puso en funcionamiento el primer Biodigestor en Bombai, Charles James utilizó el gas que se generó para hacer funcionar un motor.

Herrera, 1977 describe que a partir de 1923 en Alemania, se comenzó a utilizar el biogás en una red pública para generar energía y en 1927 se empezó a suplir las necesidades de las poblaciones que superaban los 7.000 habitantes. A partir de ese momento se comienza a recolectar biogás en estructuras flotantes de concreto. Después de haber empleado la digestión anaerobia en la generación de energía, se ha demostrado que el proceso es eficiente en el tratamiento de residuos orgánicos domésticos, agropecuarios y de excretas.

Los Sistemas anaerobios son utilizados comúnmente, para el tratamiento de aguas residuales tanto industriales como domésticas, debido a los bajos requerimientos de energía menor producción de lodos y la producción de Biogás con alto contenido energético y nutriente para el reúso agrícola. (Torres *et al.*, 2010).

Barba *et al.*, 2011, analizó en su investigación la Biodegradabilidad y toxicidad de herbicidas utilizados en el cultivo de caña de azúcar, concluyendo que los herbicidas ÁcidoFluazifop, Glifosato, Diurón, Ametrina, Terbutrina y 2,4 D no son biodegradables en reactores anaerobios debido al efecto tóxico que ejercen sobre los

microorganismos del lodo inóculo. Ninguno de los plaguicidas logró alcanzar una biodegradación del 70% para un periodo de 28 días, condición que define una sustancia biodegradable según la Prueba de ZahnWellens/EMPA. El Diurón y el Glifosato son los plaguicidas más tóxicos y menos biodegradables de los seis estudiados. Según los autores el tratamiento biológico de aguas residuales que contengan este tipo de agroquímicos no es efectivo.

Cariello *et al.*, 2007, aplicó microorganismos endógenos para acelerar el proceso de compostaje de los residuos sólidos urbanos en la ciudad de Crespo, Argentina. Como resultado se obtuvo que el inóculo acelera el proceso de compostaje, los microorganismos seleccionados, componentes del inoculo, aislados del proceso en forma natural, minimizan el riesgo de impacto negativo en el ambiente y generaron un compost de calidad.

Suárez, 2012 en su tesis “Aprovechamiento de los residuos sólidos provenientes del Beneficio del Café, en el municipio de Betania Antioquia: usos y aplicaciones”, para optar por el título de Especialista en Gestión Integral de Residuos Sólidos y Peligrosos; concluyó que el compostaje, en las condiciones evaluadas, es un producto que no genera contaminación biológica ni ambiental porque no se generan lixiviados que contaminaran aguas subterráneas ni quebradas; también concluye que el compostaje bien manejado es un material estabilizado el cual no presenta olores, vectores ni semillas indeseables. Es un mejorador de las condiciones físico-químicas de los suelos, control de malezas, mayor productividad y sostenibilidad de la fertilidad en el tiempo.

Castillo, 2006 publicó en su artículo Elaboración de Compost en Manzales a partir de residuos orgánicos urbanos; en el cual menciona; que en Manzales, según el ensayo, el compostaje puede tener una duración de dos meses bajo cubierta, y cinco meses a la intemperie. En experiencias similares de compostaje urbano se ha demostrado que los tres factores de mayor incidencia en la biodegradación son: la temperatura, la oxigenación y la humedad en los residuos. 'La aireación', permite

regular los dos primeros factores, y 'la humedad' depende del riego a que se someten las precipitaciones locales; por lo tanto, se recomienda construir una caseta de biodegradación, así se determinará un tiempo uniforme para elaborar el compost y evitar lixiviaciones de los nutrientes, adicionalmente concluye que la práctica del compostaje puede generalizarse como un saber cultural, y dentro de este saber, se necesita profundizar en las relaciones hombre-sociedad-naturaleza; de allí se deduce y se requiere que las comunidades científicas y culturales se comprometan en la trascendencia del bienestar socio-ambiental.

## **7. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **7.1. Localización**

La investigación se llevó a cabo en las instalaciones de Cenicafé específicamente en el laboratorio de aguas de la disciplina de Poscosecha ubicado en la Granja.

### **7.2. Duración**

La experimentación inició en el año 2011 con la identificación y cuantificación de los residuos peligrosos generados en Cenicafé, el material fue almacenado para utilizarlo en la evaluación de los diferentes procesos propuestos y culminó en el año 2015 con la evaluación de los procesos de compostaje y lombricompostaje y la digestión anaeróbica de los principales residuos peligrosos identificados.

### **7.3. Materiales**

Botellas plásticas de un litro, Tapones de caucho, Bolsas de suero vacías, Bombas peristálticas, Baños termostatizados, Residuos peligrosos seleccionados, Pulpa de café fresca, Lombriz roja (*Eisenia foetida*), Canastillas plásticas, Canecas plásticas, pHmetro, Plancha de calentamiento, Bomba de Vacío, Rota Vapor, Balanza analítica, Elementos de protección individual.

### **7.4. Metodología**

A continuación se describe la metodología utilizada.



#### **7.4.1. Identificación de los Residuos peligrosos:**

Durante los años 2011 y 2012 se realizó una revisión de las bases de datos de los residuos químicos y biológicos generados en Cenicafé desde el año 2009, para identificar la peligrosidad de los residuos y cuantificar los generados en mayor cantidad, y así poder determinar los residuos a los cuales se les podía realizar tratamiento interno, adicionalmente se analizó su fórmula química y se clasificó de acuerdo a sus grupos funcionales (aldehídos, cetonas, alcoholes, ácidos, entre otros). Ver Anexo 2.

Una vez seleccionados los Respel de acuerdo a sus características químicas y biológicas, se propusieron los tratamientos a realizar, los cuales se describen a continuación.

#### **7.4.2. Digestión Anaeróbica (DA)**

Los ensayos de degradación metanogénica se realizaron en reactores (acondicionados a partir de botellas no retornables de 1,5 litros de capacidad), a los cuales se les adicionó los lodos metanogénicos, provenientes del sistema modular de tratamiento anaerobio – SMTA ubicado en Cenicafé (para el tratamiento de las aguas residuales del café), a una concentración de 2,5 g SSV/l (Torres *et al.*, 2002) y los sustratos seleccionados ajustados se evaluaron a una concentración de DQO de 6000 ppm y 12000 ppm (concentración determinada como apropiada para realizar los ensayos metanogénicos) (Zambrano, 1994) y neutralizadas con soda hasta pH neutro. La temperatura del ensayo fue de 30°C.

Para llevar a cabo la evaluación se instalaron 2 montajes y 12 reactores/montaje para evaluar los productos seleccionados como apropiados para ser tratados por medio de este proceso biológico. Cada reactor contenía una bolsa de suero vacía en la cual se fue recolectando el biogás que se generaba en el proceso.



En las figuras 3 y 4 se muestra el montaje evaluado:



*Figura 3 Montaje para la evaluación de la degradación anaeróbica*



*Figura 4 Detalle de los reactores anaeróbicos*

Diariamente se realizaba el monitoreo a los reactores y en el momento que alguna de las bolsas para la recolección del gas se encontrara llena se retiraba del montaje y se medía la cantidad de biogás generado. La medición del volumen se realizó por el método de desplazamiento de líquido (Figura 5), para lo cual se retiraba la bolsa de suero, después de cerrar la válvula y el extremo de la manguera de la bolsa se ubicaba en el interior de una probeta de 1 L, llena de agua, que descansaba en un

recipiente mayor (también con agua); paso seguido se abría la válvula y se permitía que el biogás ingresara y desplazara el agua contenida en el interior de la probeta, siendo el agua desplazada equivalente al volumen de gas generado. Antes de la determinación del volumen, se realizó la evaluación de la calidad del biogás y la prueba de combustión, de acuerdo con los protocolos generados en las investigaciones de digestión anaeróbica de las aguas residuales del beneficio del café (Zambrano y Rodríguez, 2008).



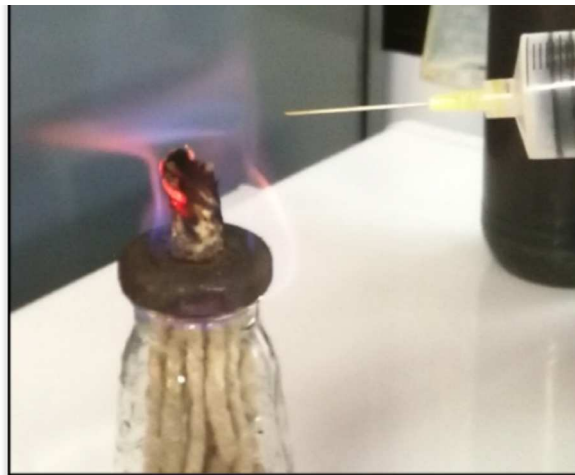
*Figura 5 Medición de la cantidad de Biogás.*

Para la evaluación de la calidad del biogás, se utilizó el método de reacción con soda cáustica (Zambrano, 1994), que consistió en extraer 50 mL de biogás con una jeringa y hacerlos reaccionar con soda cáustica al 5% (dado que los principales componentes del biogás son el  $\text{CO}_2$  y el  $\text{CH}_4$ ), el  $\text{CO}_2$  reacciona con la soda y a partir del volumen de gas que permaneció en la jeringa se determinó el volumen de metano (Figura 6). De acuerdo con los resultados obtenidos en las investigaciones de Cenicafé, este método permite realizar la caracterización del biogás con una confiabilidad del 90%, al compararlo con los resultados de las caracterizaciones cromatográficas (Zambrano y Rodríguez, 2008).

Para la prueba de combustión se extrajeron con una jeringa 50 mL de la muestra de gas y se quemaron a la llama de un mechero, si la llama era de color azul la prueba de combustión era positiva, es decir, que había presencia de gas metano (Figura 7).



*Figura 6 Toma de muestra del biogás generado para determinar la calidad del metano.*



*Figura 7 Prueba de combustión del biogás.*

La degradación de los materiales se determinó mediante la siguiente expresión:

Degradación anaeróbica =  $(DQO_{CH_4}$  del ensayo -  $DQO_{CH_4}$  del blanco) /  $DQO$  inicial \* 100.

### 7.4.3. Neutralización

Para el proceso de neutralización inicialmente se etiquetaron los contenedores plásticos (Figura 8) con los residuos de bases fuertes y ácidos fuertes, luego se adicionó la base fuerte en uno de los recipientes hasta llenarlo completamente y en el otro recipiente se adicionó el ácido fuerte hasta la mitad de su capacidad, ya que a este recipiente se le agregó la base fuerte para su neutralización (Figura 9). Para este proceso se instaló una bomba peristáltica para alimentar la base sobre el ácido (Figura 10), inmediatamente se empezó el proceso se realizó el seguimiento del pH al recipiente que contenía el ácido hasta que el contenido presentase un pH de 7 lo cual indica que la solución ha sido neutralizada (Figura 11).

Una vez terminado el proceso anterior se separó y se secó el precipitado y el sobrenadante se descartó por el desagüe ya que después del tratamiento no presentaba ninguna característica de peligrosidad.



Figura 8 Etiquetado de los contenedores.





*Figura 9 Adición de la base fuerte y el ácido fuerte a los contenedores.*



*Figura 10 Montaje final para llevar a cabo la neutralización.*



*Figura 11 Mezclado y medición de pH de la solución.*

#### 7.4.4. Compostaje y Lombricompostaje

Para evaluar los procesos de Compostaje y Lombricompostaje se separaron los residuos biológicos peligrosos seleccionados para este proceso y se evaluaron solos y mezclados con pulpa de café, con el fin de evaluar los beneficios de adicionar materiales orgánicos presentes en el Centro.

Se evaluaron 4 tratamientos, con 3 réplicas cada uno a saber:

T1. Residuo biológico peligroso (agares residuales) en compostaje (Figura 12).

T2. Residuo biológico peligroso en lombricompostaje. Densidad de lombriz 5 kg/m<sup>2</sup> (Figura 13).

T3. Residuo biológico peligroso + pulpa de café (relación 1:1) en compostaje (Figura 14).

T4. Residuo biológico peligroso + pulpa de café (relación 1:1) en lombricompostaje. Densidad de lombriz 5 kg/m<sup>2</sup> (Figura 15).



*Figura 12 Tratamiento 1 en proceso.*



*Figura 13 Tratamiento 2 en proceso.*



*Figura 14 Tratamiento 3 en proceso.*



*Figura 15 Tratamiento 4 en proceso.*



A los tratamientos en compostaje se les realizó 2 volteos semanales durante 3 meses, recogiendo los lixiviados que se generaron durante el proceso de transformación.

#### 7.4.5. Caracterización fisicoquímica los residuos tratados

Para la caracterización de los residuos tratados, se utilizaron los siguientes parámetros: pH, Conductividad, Temperatura, Turbiedad, Color, DQO, Sólidos Totales y Sólidos Suspendidos,

A continuación se detallan los métodos utilizados:



Figura 166 Determinación del pH.

**pH:** método potenciométrico, empleando como sensor un electrodo combinado Referencia InLab 413SG, acoplado a un instrumento de medición portátil (Modelo SevenGo Referencia SG2-FK, Mettler Toledo). Figura 16.

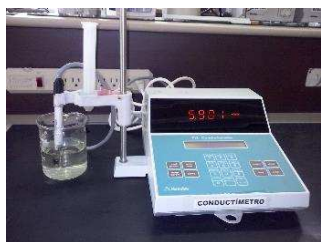


Figura 177 Determinación de la conductividad.

**Conductividad:** se determinó por el método potenciómetro utilizando un conductímetro marca Metrohm. Figura 17.

**Temperatura:** Se utilizó un termómetro digital Marca Testo, con un rango de medición entre  $-50^{\circ}\text{C}$  y  $250^{\circ}\text{C}$  y una resolución de  $0,1^{\circ}\text{C}$ . Figura 18.



Figura 188 Determinación de la temperatura.

**Turbiedad:** Método absortométrico, de la HACH y el espectrofotómetro DR2000. Rango de medida (0 a 450 unidades Formazina de Turbidez, FTU, las cuales son equivalentes a las unidades nefelométricas de turbidez, NTU) se leyó a una longitud de onda de 450 nm (HACH, 1988). Figura 20.



**Color:** Método espectrofotométrico. Utilizando un espectrofotómetro DR2000. Figura 19.

Figura 19 Determinación de la turbiedad y el color.

**Demanda Química de Oxígeno (DQO):** Método de reflujo cerrado, método colorimétrico desarrollado por la HACH y aprobado por la U.S.EPA (HACH, 1988), utilizando un Espectrofotómetro HACH referencia DR-2000 y una longitud de onda de 420 nm. Figura 20.



Figura 190 Determinación de la DQO.

**Sólidos Totales (ST) y Sólidos Suspendidos (SST):** Método gravimétrico (APHA, AWWA, WPCF, 1992). Figura 21.



*Figura 201 Determinación de Sólidos totales y Sólidos suspendidos.*

### **7.5 TIPO DE INVESTIGACIÓN**

La investigación fue de tipo experimental, en la cual se identificaron los residuos peligrosos generados por las diferentes disciplinas de Cenicafé, se clasificaron los residuos biológicos y químicos y se seleccionaron y aplicaron los tratamientos apropiados.

## 8. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 8.1. Resultados de la identificación y selección de los Residuos peligrosos generados en Cenicafé

En Tabla 7 se condensan los resultados obtenidos de la identificación de los principales residuos peligrosos que se generaron en Cenicafé durante el período 2011-2012.

**Tabla 7 Residuos peligroso generados en el periodo de la investigación.**

| Posición | Residuo   | AÑO    |        |       |
|----------|---|--------|--------|-------|
|          |   | 2011   | 2012   | Total |
| 1        | Agares microbiológicos (kg)                                       | 450,8  | 520,5  | 971   |
| 2        | Ácido acético (L)   | 313,21 | 169,92 | 483   |
| 3        | Carbonato de sodio (kg)   | 142,14 | 126,12 | 268   |
| 4        | Hidróxido de sodio (L)  | 258,44 | 0      | 258   |
| 5        | Ácido clorhídrico (L)   | 177,08 | 50,36  | 227   |
| 6        | Solución ácido acético (L)  | 146,42 | 44,98  | 191   |
| 7        | Acrilamida (kg)   | 107,47 | 51,18  | 159   |
| 8        | Mezcla ácido clorhídrico – café (L)                               | 26,04  | 86,64  | 113   |
| 9        | Cloroformo (L)  | 96,62  | 8,48   | 105   |
| 10       | Mezcla ácido clorhídrico – aceite (L)                             | 30,42  | 55,26  | 86    |
| 11       | Mezcla cloroformo - metanol – acetona – hexano (L)                | 31,7   | 51,62  | 83    |
| 12       | Estándares de ácido clorhídrico (L)                               | 50,68  | 15,48  | 66    |
| 13       | Mezcla nitrato de plata – formaldehido (L)                        | 16,24  | 39,5   | 56    |
| 14       | Mezcla ácido acético – metanol (L)                                | 36,28  | 1,44   | 38    |
| 15       | Mezcla fenol – cloroformo - alcohol isoamílico-mercaptoetanol (L) | 28,72  | 0      | 29    |
| 16       | Mezcla nitrato de plata- cloroformo (L)                           | 23,5   | 0      | 24    |

**Cumplimiento del objetivo específico N°1:** “*Seleccionar los residuos biológicos y químicos generados en Cenicafé, que de acuerdo a su composición química, sean factibles de tratamiento interno*”.

Los resultados obtenidos en la Tabla 7, permitieron identificar 16 residuos peligrosos y seleccionar, por su frecuencia de generación, sus cantidades y las facilidades técnicas y económicas de realizarles un tratamiento interno, los siguientes residuos:

- 1. Agares microbiológicos:** Presentan riesgo biológico y peligroso para el medio ambiente. Representaron la mayor cantidad de residuos para los años 2011 y 2012 debido al gran número de investigaciones que hacen uso de este tipo de productos
- 2. Hidróxido de sodio:** Es un producto corrosivo, peligroso para el medio ambiente. Tiene como ventaja su capacidad para neutralizar ácidos fuertes.
- 3. Ácido acético:** Es un producto corrosivo, inflamable y peligroso para el medio ambiente. Siendo aditivas las posiciones (2), (6) y (14), después de una separación por Rotavapor. Tiene como ventaja su degradabilidad biológica.
- 4. Ácido clorhídrico:** Es un producto corrosivo y peligroso para el medio ambiente. Siendo aditivas las posiciones (5) y (12). Las posiciones (8) y (10), inhabilitaron su tratamiento por la presencia de material orgánico y grasas junto al ácido. Tiene como ventaja su capacidad para neutralizar bases fuertes.

Los siguientes productos no formaron parte del análisis para tratamiento interno.

**Carbonato de Sodio:** Es un producto Irritante y peligroso para el medio ambiente. Ocupó la posición número 3. Estaba puro. Su uso en el laboratorio es para la eliminación de la dureza y el lavado de scrubbers, por lo que se reutilizó en los laboratorios que lo requerían, disminuyendo el costo de manejo de los mismos.

**Acrilamida:** Es un producto utilizado en agronomía para retener la humedad del suelo y favorecer el crecimiento de las plantas en épocas de sequía. Estaba puro. Se reutilizó.

**Mezclas de solventes.** Dado sus diferentes puntos de ebullición se pueden recuperar mediante destilación en un rotavapor. Siendo aditivas las posiciones (9) y (11). Una vez recuperados se pueden utilizar como compuestos puros en las diferentes investigaciones que los requieran.

Los residuos de las posiciones (13), (15) y (16), no se consideraron dado que sus volúmenes fueron los más bajos, no resultando de interés su recuperación por su baja frecuencia de empleo en los procesos que los generan.

**Cumplimiento del objetivo específico N°2:** “*Evaluar los procesos de compostaje y lombricompostaje para el tratamiento interno de los residuos biológicos generados en Cenicafé como peligrosos*”.

Los agares son polisacáridos que se obtienen de algas del género *Gelidium*, *Gracillaria* *Gelidiella* y *Pterocladia*. Por ser polisacáridos pueden ser sometidos a procesos de degradación biológica como el compostaje y lombricompostaje para la obtención de abono orgánico.

## **8.2. Resultados de los procesos de compostaje y lombricompostaje de los agares residuales generados en Cenicafé**

Los agares microbiológicos residuales se montaron los siguientes tratamientos, con 3 réplicas cada uno.

T1. Agar biológico residual en compostaje. 3 unidades experimentales, canastillas con las siguientes dimensiones: 55,5 cm de largo, 36 cm de ancho y 46 cm de profundidad. En cada canastilla se agregaron 25 kg de agar.

T2. Agar biológico residual en lombricompostaje. 3 unidades experimentales, canastillas con las siguientes dimensiones: 55,5 cm de largo, 36 cm de ancho y 46 cm de profundidad. En cada canastilla se agregaron 25 kg de agar y 1 kg de lombriz roja.

T3. Agar biológico residual + pulpa de café (relación 1:1) en compostaje. 3 unidades experimentales, canastillas con las siguientes dimensiones: 55,5 cm de largo, 36 cm de ancho y 46 cm de profundidad. En cada canastilla se agregaron 12,5 kg de agar +12,5 kg de pulpa de café fresca.

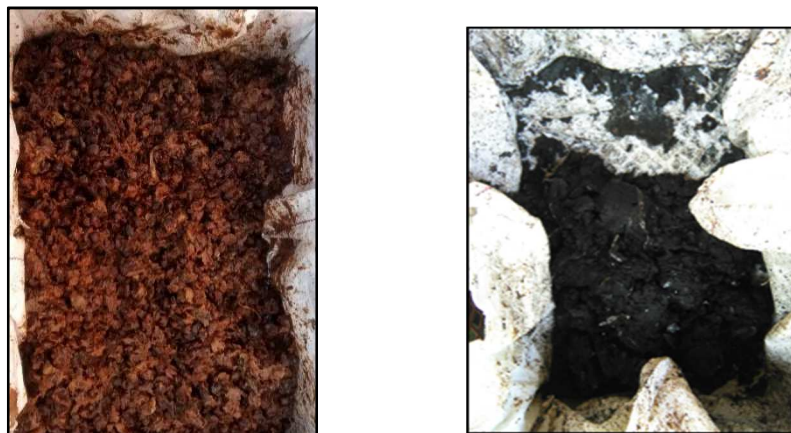
T4. Agar biológico residual + pulpa de café (relación 1:1) en lombricompostaje. 3 unidades experimentales, canastillas con las siguientes dimensiones: 55,5 cm de largo, 36 cm de ancho y 46 cm de profundidad. En cada canastilla se agregaron 12,5 kg de agar +12,5 kg de pulpa de café fresca y 1 kg de lombriz roja.

Durante el proceso de degradación biológica que se realizó durante 3 meses (tiempo fijado para la degradación por ser el que se utiliza en el compostaje y lombricompostaje de la pulpa de café) (Dávila y Ramírez, 1996). Para la verificación del punto final del proceso se tuvieron en cuenta los siguientes factores: a) que el aspecto del material fuera similar en color y textura al suelo, b) que su temperatura fuera similar a la del ambiente y c) que su pH estuviera en el rango neutro (entre 6 y 9).

Los tratamientos T1 y T3, al finalizar el tiempo de evaluación, mostraron, basados en la apariencia, un material similar a tierra (Figuras 22 y 23).



*Figura 22 Sustratos del tratamiento 1, antes y después del proceso de compostaje.*



*Figura 23 Sustratos del tratamiento 3, antes y después del proceso de compostaje.*



La alta humedad de los sustratos, mayores al 90%, no permitió el desarrollo de las lombrices por lo que los tratamientos 2 y 4 no progresaron (Figuras 24 y 25)



*Figura 24 Sustratos del tratamiento 2, antes y después del proceso de lombricompostaje.*



*Figura 25 Sustratos del tratamiento 4, antes y después del proceso de lombricompostaje.*



Para todos los tratamientos evaluados se determinó la cantidad inicial y final del sustrato y su pH y humedad. Los resultados se presentan en la tabla 8.

Tabla 8. Resultados de los ensayos de Compostaje y Lombricompostaje.

| Tratamiento | Parámetro | Peso inicial (kg) | Peso final (kg) | Humedad inicial (%) | Humedad final (%) | pH inicial (unidades) | pH final (unidades) |
|-------------|-----------|-------------------|-----------------|---------------------|-------------------|-----------------------|---------------------|
| T1          | Promedio  | 25,00             | 1,50            | 95,05               | 89,90             | 7,18                  | 7,66                |
|             | CV (%)    | 0,00              | 2,20            | 0,10                | 0,76              | 0,43                  | 1,17                |
| T2          | Promedio  | 25,00             | 0,79            | 95,05               | 79,30             | 7,18                  | 8,80                |
|             | CV (%)    | 0,00              | 5,20            | 0,10                | 2,58              | 0,43                  | 2,37                |
| T3          | Promedio  | 25,00             | 3,60            | 87,37               | 78,83             | 5,37                  | 9,54                |
|             | CV (%)    | 0,00              | 2,32            | 1,21                | 0,62              | 6,05                  | 3,94                |
| T4          | Promedio  | 25,00             | 1,81            | 87,37               | 78,90             | 5,37                  | 9,15                |
|             | CV (%)    | 0,00              | 1,66            | 1,21                | 5,70              | 6,05                  | 1,40                |

De acuerdo con los resultados condensados en la tabla 8, se puede apreciar los altos contenidos de humedad en los tratamientos de compostaje y lombricompostaje de los agares residuales (valores del 95,05%) y la disminución de la misma en la mezcla con pulpa de café, que permite disminuir la humedad inicial del sustrato a un valor del 87,37%. No obstante esta humedad sigue siendo muy alta para los proceso de lombricompostaje, dado que los autores reportan como apropiados valores de humedad entre el 70 y 80% y esta pudo haber sido la causa por la cual se presentó la mortalidad de las lombrices en los tratamientos 2 y 4, recordando que uno de los objetivos de la investigación era evaluar la lombricultura sobre agares residuales. El pH de los sustratos iniciales varió entre 7,18 (agar residual) y 5,37 (mezcla agar-pulpa), que está dentro del rango reportado por los autores para el lombricompostaje (pHs entre 5 y 8) (Dávila y Ramírez, 1996).

En la tabla 9 se presenta la eficiencia, en base seca y base húmeda de los tratamientos evaluados.

Tabla 9. Eficiencia de los ensayos de Compostaje y Lombricompostaje.

| Tratamiento | Peso inicial (kg) | Peso final (kg) | Eficiencia base húmeda (%) | Peso seco inicial (kg) | Peso seco final (kg) | Eficiencia base seca (%) | Apariencia a suelo |
|-------------|-------------------|-----------------|----------------------------|------------------------|----------------------|--------------------------|--------------------|
| T1          | 25,00             | 1,50            | 6,00                       | 1,24                   | 0,15                 | 12,24                    | Sí                 |
| T2          | 25,00             | 0,79            | 3,16                       | 1,24                   | 0,16                 | 13,21                    | No                 |
| T3          | 25,00             | 3,60            | 14,40                      | 3,16                   | 0,76                 | 24,14                    | Sí                 |
| T4          | 25,00             | 1,81            | 7,24                       | 3,16                   | 0,38                 | 12,10                    | No                 |

De acuerdo a los datos presentados en la Tabla 9, las mayores eficiencias, tanto en base seca como en base húmeda, en el proceso de transformación de los residuos biológicos peligrosos, se alcanzaron cuando el material se mezcló con pulpa de café y se composteó, siendo las eficiencias del orden del 14,4% en base húmeda y del 24,14% en base seca y teniendo el material aspecto a suelo lo que ratifica su estado de mineralización. De esta forma se demuestra la factibilidad de compostear, adicionando pulpa de café, los agares residuales obtenidos durante la recolección de los residuos peligrosos en Cenicafé.

En la tabla 10 se presentan los resultados de los volúmenes y características de los lixiviados obtenidos durante el proceso de transformación de los agares residuales.

Tabla 10. Volúmenes y Características de los lixiviados generados.

|                           | T1    | T2    | T3    | T4    |
|---------------------------|-------|-------|-------|-------|
| Volumen (L)               | 8,64  | 9,05  | 4,27  | 6,45  |
| pH (Unidades)             | 8,22  | 8,40  | 9,36  | 9,70  |
| DQO (ppm)                 | 12100 | 10500 | 18700 | 21000 |
| Sólidos Suspendedos (ppm) | 7500  | 7100  | 10500 | 11100 |
| Sólidos Totales (ppm)     | 21200 | 19800 | 23100 | 25500 |

De acuerdo a las características y volúmenes de los lixiviados obtenidos, el tratamiento 3 fue el que presentó los menores volúmenes de lixiviados y el menor impacto ambiental de los mismos (calculados como volumen \* concentración de DQO).

De acuerdo con los análisis anteriores se acepta parcialmente la hipótesis 1 que estableció que *“los procesos de compostaje y lombricompostaje permiten tratar internamente el residuo biológico peligroso generado en mayor cantidad en Cenicafé”*.

Y se da respuesta parcial a la pregunta de investigación *¿Cuáles procesos químicos y biológicos pueden ser implementados en Cenicafé, para el tratamiento interno de los residuos peligrosos?*

**Cumplimiento del objetivo específico N°3:** “Evaluar los procesos de digestión anaeróbica para el tratamiento interno de los residuos químicos generados en Cenicafé como residuos peligrosos”.

### **8.3. Resultados del proceso de digestión anaerobia de los residuos generados en Cenicafé**

En la Tabla 11 se presentan los datos del biogás generado y del porcentaje de metano en los reactores acondicionados para determinar la biodegradabilidad del ácido acético utilizado como acetato de sodio (para usar otro de los residuos peligroso generados, como fue la soda cáustica), considerando que el proceso de degradación es mejor si se utilizan productos con pH en el rango neutro o ligeramente alcalino. El pH de las soluciones de acetato de sodio a las concentraciones de 6000 ppm (0,07M) y 12000 ppm (0,14 M) estuvieron en el rango de pH entre 8,5 y 9.

En promedio se obtuvo un rendimiento, para un mes de evaluación, de 4,88 L de biogás (71,67% de metano) para los reactores alimentados con la sal sódica del ácido acético a una concentración de 6000 ppm de DQO y un volumen de 5,35 L de biogás (75% de metano. Confiabilidad del 90%) para los reactores alimentados con la sal sódica del ácido acético a una concentración de 12000 ppm de DQO. Para todos los casos la prueba de combustión fue positiva lo que permite inferir que la concentración de metano en el biogás es superior al 50%.

Los blancos de los reactores que sólo se alimentaron con agua destilada, presentaron para el tratamiento a 6000 ppm, una producción de biogás de 25 mL (70% de metano) y para el tratamiento a 12000 ppm, una producción de biogás de 31 mL (70% de metano), biogás generado a partir de la degradación del lodo anaeróbico utilizado como inóculo.

Tabla 11. Volúmenes y Características del biogás proveniente del acetato de sodio.

| Producto        | Acetato sodio a 6000 ppm |              | Acetato sodio a 12000 ppm |             |
|-----------------|--------------------------|--------------|---------------------------|-------------|
| Reactor         | Volumen biogás (mL)      | Metano (%)   | Volumen biogás (mL)       | Metano (%)  |
| 1               | 6140                     | 65           | 7410                      | 65          |
| 2               | 4540                     | 70           | 5690                      | 70          |
| 3               | 4050                     | 75           | 6740                      | 70          |
| 4               | 6950                     | 65           | 7630                      | 75          |
| 5               | 4510                     | 70           | 6480                      | 70          |
| 6               | 2610                     | 85           | 5550                      | 75          |
| 7               | 4270                     | 70           | 4720                      | 75          |
| 8               | 4780                     | 65           | 5240                      | 80          |
| 9               | 5915                     | 65           | 4150                      | 80          |
| 10              | 6250                     | 75           | 2890                      | 85          |
| 11              | 5715                     | 70           | 3250                      | 80          |
| 12              | 2840                     | 85           | 4415                      | 75          |
| <b>Promedio</b> | <b>4881</b>              | <b>71,67</b> | <b>5347</b>               | <b>75</b>   |
| <b>CV</b>       | <b>27,73</b>             | <b>10,01</b> | <b>28,75</b>              | <b>7,52</b> |
| B1              | 35                       | 70           | 51                        | 70          |
| B2              | 15                       | 70           | 18                        | 70          |
| B3              | 25                       | 70           | 24                        | 70          |
| Promedio        | <b>25</b>                | <b>70</b>    | <b>31</b>                 | <b>70</b>   |
| CV              | <b>40</b>                | <b>0</b>     | <b>56,70</b>              | <b>0</b>    |

En la tabla 12 se presentan los valores de la degradabilidad del acetato de sodio. Para el cálculo de la eficiencia del proceso se consideraron los siguientes aspectos:

1. Se determinó la producción media de metano, calculada como volumen de biogás \* contenido de metano
2. Se determinó la producción neta de metano calculada como la producción de metano en los reactores alimentados con acetato menos la producción de metano en los blancos.

3. Se llevaron los valores de metano a Condiciones Normales (CN), considerando las condiciones de T y P de Chinchiná.
4. Se tuvo en cuenta que 1 mg DQO produce 0,350 ml de metano bajo condiciones normales.

Tabla 12. Eficiencia del proceso de degradación del acetato de sodio.

| Parámetro                      | Acetato sodio a 6000<br>ppm | Acetato sodio a 12000<br>ppm |
|--------------------------------|-----------------------------|------------------------------|
| Producción Metano muestra (mL) | 3498                        | 4010                         |
| Producción Metano blanco (mL)  | 18                          | 22                           |
| Producción neta de metano (mL) | 3480                        | 3988                         |
| Producción metano CN (mL)      | 2704                        | 3099                         |
| DQO <sub>CH4</sub> (mg)        | 7726                        | 8854                         |
| DQO inicial (mg)               | 8100                        | 16200                        |
| Eficiencia del proceso         | 95,37                       | 54,65                        |

De acuerdo con los resultados presentados en la tabla 12, la eficiencia de degradabilidad del acetato de sodio fue del 95,37% cuando se alimentó al proceso a 6000 ppm como acetato de sodio y del 54,65% cuando se alimentó al proceso a 12000 ppm como acetato de sodio. Estos resultados corroboran lo expuesto por Zambrano, 1994, quien encontró para lodos metanogénicos provenientes de los SMTA, una máxima actividad cuando se alimentaron con sustratos a 6000 ppm, influenciado posiblemente por el valor del pH de la solución, menor en el tratamiento a 6000 ppm. Y que se corrobora en los resultados de pH de la Tabla 13, de 8,43 para los tratamientos a 6000 ppm y de la Tabla 14, valores de pH de 8,65 para los tratamientos a 12000 ppm.

En las Tablas 13 y 14 se presentan las características finales de los reactores alimentados con acetato de sodio a 6000 y 12000 ppm.

Para el caso de los reactores alimentados a 6000 ppm con acetato de sodio, el sustrato residual mostró un valor de DQO de 221 ppm, equivalente a 298 mg, es decir el 3,68% del valor inicial de DQO.

Para el caso de los reactores alimentados a 12000 ppm con acetato de sodio, el sustrato residual mostró un valor de DQO de 4940 ppm, equivalente a 6669 mg, es decir el 41,17% del valor inicial de DQO.

Tabla 13. Características finales de los reactores alimentados con acetato de sodio a 6000 ppm

| Reactor         | pH (Un)     | Color (Pt-Co) | Turbiedad (FTU) | DQO (ppm)    | Conductividad ( $\mu\text{S/cm}$ ) | SS (ppm)     | ST (ppm)     |
|-----------------|-------------|---------------|-----------------|--------------|------------------------------------|--------------|--------------|
| 1               | 8,60        | 2086          | 385             | 270          | 7020                               | 80           | 5920         |
| 2               | 8,64        | 2097          | 395             | 310          | 5080                               | 100          | 5540         |
| 3               | 8,19        | 797           | 885             | 280          | 6630                               | 98           | 4840         |
| 4               | 8,38        | 2694          | 315             | 330          | 5780                               | 77           | 5390         |
| 5               | 8,63        | 2200          | 415             | 250          | 6540                               | 58           | 5570         |
| 6               | 8,33        | 1838          | 345             | 180          | 3780                               | 67           | 6720         |
| 7               | 8,53        | 1640          | 380             | 164          | 5720                               | 72           | 5490         |
| 8               | 8,37        | 1570          | 415             | 170          | 6450                               | 85           | 6115         |
| 9               | 8,42        | 1353          | 373             | 195          | 7220                               | 76           | 6280         |
| 10              | 8,39        | 1170          | 354             | 155          | 6560                               | 64           | 5660         |
| 11              | 8,45        | 1245          | 420             | 140          | 5750                               | 82           | 5550         |
| 12              | 8,21        | 1720          | 347             | 212          | 5430                               | 70           | 4970         |
| <b>Promedio</b> | <b>8,43</b> | <b>1700</b>   | <b>419</b>      | <b>221</b>   | <b>5997</b>                        | <b>77</b>    | <b>5670</b>  |
| <b>CV</b>       | <b>1,78</b> | <b>30,75</b>  | <b>35,85</b>    | <b>29,13</b> | <b>15,92</b>                       | <b>16,39</b> | <b>9,31</b>  |
| B1              | 9,32        | 146           | 36              | 130          | 540                                | 20           | 620          |
| B2              | 9,25        | 130           | 32              | 115          | 620                                | 18           | 540          |
| B3              | 9,34        | 165           | 40              | 100          | 600                                | 17           | 490          |
| <b>Promedio</b> | <b>9,30</b> | <b>147</b>    | <b>36</b>       | <b>115</b>   | <b>587</b>                         | <b>18</b>    | <b>550</b>   |
| <b>CV</b>       | <b>0,51</b> | <b>11,92</b>  | <b>11,11</b>    | <b>13,04</b> | <b>7,10</b>                        | <b>8,33</b>  | <b>11,92</b> |



Tabla 14. Características finales de los reactores alimentados con acetato de sodio a 12000 ppm

| Reactor         | pH (Un)     | Color (Pt-Co) | Turbiedad (FTU) | DQO (ppm)    | Conductividad ( $\mu\text{S/cm}$ ) | SS (ppm)    | ST (ppm)    |
|-----------------|-------------|---------------|-----------------|--------------|------------------------------------|-------------|-------------|
| 1               | 8,81        | 2119          | 420             | 5280         | 9080                               | 88          | 7130        |
| 2               | 8,45        | 1979          | 370             | 5240         | 8870                               | 80          | 6660        |
| 3               | 8,77        | 1280          | 410             | 4160         | 6790                               | 82          | 7020        |
| 4               | 8,74        | 1540          | 320             | 5170         | 8430                               | 97          | 7150        |
| 5               | 8,69        | 1130          | 240             | 4150         | 8720                               | 93          | 7475        |
| 6               | 8,63        | 1080          | 150             | 6120         | 8530                               | 95          | 7780        |
| 7               | 8,88        | 1038          | 170             | 5180         | 8110                               | 86          | 7915        |
| 8               | 8,56        | 1115          | 160             | 5195         | 7990                               | 82          | 6520        |
| 9               | 8,53        | 1240          | 180             | 6215         | 7765                               | 91          | 6230        |
| 10              | 8,78        | 1180          | 190             | 4185         | 8480                               | 83          | 6470        |
| 11              | 8,47        | 1290          | 160             | 5210         | 8880                               | 96          | 5645        |
| 12              | 8,51        | 1050          | 165             | 3175         | 8915                               | 89          | 6590        |
| <b>Promedio</b> | <b>8,65</b> | <b>1337</b>   | <b>245</b>      | <b>4940</b>  | <b>8380</b>                        | <b>89</b>   | <b>6882</b> |
| <b>CV</b>       | <b>1,69</b> | <b>27,01</b>  | <b>43,04</b>    | <b>17,68</b> | <b>7,67</b>                        | <b>6,74</b> | <b>9,57</b> |
| B1              | 9,03        | 249           | 56              | 180          | 660                                | 30          | 700         |
| B2              | 9,15        | 271           | 52              | 165          | 630                                | 25          | 650         |
| B3              | 9,23        | 252           | 58              | 175          | 580                                | 28          | 690         |
| <b>Promedio</b> | <b>9,14</b> | <b>257</b>    | <b>55</b>       | <b>173</b>   | <b>623</b>                         | <b>28</b>   | <b>680</b>  |
| <b>CV</b>       | <b>1,10</b> | <b>4,64</b>   | <b>5,5</b>      | <b>4,4</b>   | <b>6,48</b>                        | <b>9,10</b> | <b>3,89</b> |

De acuerdo con los análisis anteriores se acepta la hipótesis 2 que estableció que “*la digestión anaeróbica permite tratar internamente el residuo químico peligroso generado en mayor cantidad en Cenicafé*”.

Y se da respuesta parcial a la pregunta de investigación *¿Cuáles procesos químicos y biológicos pueden ser implementados en Cenicafé, para el tratamiento interno de los residuos peligrosos?*

**Cumplimiento del objetivo específico N°4:** “Evaluar la neutralización para el tratamiento interno de los residuos químicos generados en Cenicafé como residuos peligrosos”.

#### **8.4. Resultados del proceso de neutralización de los residuos generados en Cenicafé**

La cantidad de soda cáustica generada fue de 258 L a una concentración del 32% en peso y del ácido clorhídrico fue de 227 L a una concentración del 37%.

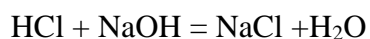
Para el caso del NaOH, su contenido en moles fue de:

$$\text{Moles NaOH} = (258 \text{ L} * 320 \text{ g/L}) / (40 \text{ g/mol}) = 2064 \text{ moles.}$$

Para el caso del HCl, su contenido en moles fue de:

$$\text{Moles HCl} = (227 \text{ L} * 370 \text{ g/L}) / (36,46 \text{ g/mol}) = 2304 \text{ moles.}$$

La reacción de neutralización es la siguiente:



Por lo que se requiere 1 mol de NaOH para neutralizar 1 mol de HCl.

Dado que el residuo peligroso que estuvo en mayor cantidad fue el HCl con 2304 moles, estas pudieron neutralizar las 2064 moles de la soda cáustica generados.

De esta forma se acepta la hipótesis de trabajo número 3. *“Las cantidades de ácidos y bases fuertes generados como residuos peligrosos, son suficientes para ser inactivados mediante la neutralización”.*

Y se da respuesta parcial a la pregunta de investigación *¿Cuáles procesos químicos y biológicos pueden ser implementados en Cenicafé, para el tratamiento interno de los residuos peligrosos?*

## 9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se identificaron 16 residuos peligrosos, como los de mayor generación en el Centro Nacional de Investigaciones de café y se seleccionaron, por su frecuencia de generación, sus cantidades y las facilidades técnicas y económicas de realizarles un tratamiento interno a los agares residuales (tratamiento interno de compostaje), ácidos y base fuertes (tratamiento interno de neutralización), ácidos orgánicos (tratamiento interno de fermentación anaeróbica).

El proceso de compostaje de los agares residuales mezclados con pulpa de café permite la transformación de estos en abono orgánico, alcanzando los mayores rendimientos (14,4% en base húmeda y del 24,14% en base seca), al compararlos con los procesos de compostaje y lombricompostaje de los agares solos.

La digestión anaeróbica del ácido acético, como acetato de sodio, permite alcanzar una eficiencia de transformación en biogás del 95,37% cuando se prepara a 6000 ppm como DQO, siendo su tasa de degradación muy superior a la presentada cuando el ácido orgánico se prepara a 12000 ppm.

La neutralización química es una buena alternativa para la desactivación de los ácidos y bases fuertes generados como residuos peligrosos en Cenicafé.

Los procesos de compostaje, digestión anaeróbica y neutralización resultaron apropiados para realizar el tratamiento interno de los principales residuos peligrosos generados en el centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé, permitiendo disminuir los costos ambientales de disposición de los residuos peligrosos en la institución y generando coproductos (bioenergía y bioabonos) de aplicabilidad para las diferentes actividades que se realizan en el Centro de Investigación.

Es recomendable continuar con investigaciones tendientes a identificar estrategias y procesos para el tratamiento interno de residuos peligrosos que permitan disminuir el impacto ambiental sobre los ecosistemas y disminuir las huellas de carbono y de agua en los procesos de disposición final de estos residuos.

## 10. LITERATURA CITADA

APHA, AWWA, WPCF. (1992) Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales. Madrid (España), Ediciones Díaz de Santos. 1914 p.

BARBA, L, BECERRA, D. (2011). Biodegradabilidad y toxicidad de herbicidas utilizados en el cultivo de caña de azúcar. Facultad de Ingeniería EIDENAR. Universidad del Valle. Cali, Colombia.

BERMÚDEZ, J.(1988). La Digestión anaerobia – Universidad de Murcia, Secretariado de publicaciones.

CÁRDENAS, R (2010). "E-basura: las responsabilidades compartidas en la disposición final de los equipos electrónicos en algunos municipios del departamento de Caldas, vistos desde la gestión del mantenimiento y los procesos de gestión de calidad", Tesis de grado para optar al título de Doctor en Ciencias de Ingeniería Electrónica. Manizales, Colombia

CARIELLO, M.; CASTAÑEDA, L.; RIOBO, I.; GONZALEZ, J. (2007). Inoculante de microorganismos endógenos para acelerar el proceso compostaje de residuos sólidos urbanos. Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Entre Ríos. Argentina.

CASTILLO, C. (2006). Elaboración de Compost en Manizales a partir de residuos orgánicos urbanos. Ingeniero Agrónomo de la Fundación Social de Manizales.

DÁVILA, M. T.; RAMÍREZ, C. A. (1996). Lombricultura en pulpa de café. Chinchiná, CENICAFÉ. 11 p. (Avances Técnicos N° 225).

Decreto 4741 de 2005. Colombia. Ministerio de Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Colombia.

DEFRIERI, R.; JIMENEZ, M.; EFFRON, D & PALMA, M. (2004). Utilización de parámetros químicos y microbiológicos como criterios de madurez durante el proceso de compostaje.

DIAZ, E. (2002). Guía de lombricultura una alternativa de producción. Agencia de Desarrollo Económico y Comercio Exterior Municipio Capital de La Rioja.

Estudio potencial bioenergético de desechos agroindustriales y agrícolas. (1986). La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación FAO. Cali, Colombia.

Gestión Integral de residuos o desechos peligrosos. Bases conceptuales. Bogotá, D.C, Colombia, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Colombia. 2007. 186 p.

GUEVARA, A. (1996). Diseño de Biodigestores anaeróbicos rurales. Producción de gas y saneamiento de efluentes. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. Lima.

Guías Ambientales para el Subsector de Plaguicidas de Diciembre de 2003. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Colombia.

HOWELL, J. (1987). Revista Biotechnology and Bioengineering. Universidad de Bath, Reino Unido.

KRÄMER, R. (2011). “Revista de la Red de expertos Iberoamericanos en la Gestión de Residuos”. No. 6, Primer Semestre, pp 42-44. España.

MEDINA, L. (1984). Evaluación técnico-económica del uso de estanques prefabricados de asbesto-cemento; modificados para producir Biogás. Maracay. Tesis de grado. Facultad de Agronomía.

NOYOLA, A. (1995). El tratamiento anaeróbico de aguas residuales como tecnología sustentable, en Memorias Segundo Minisimposio Internacional sobre Eliminación de Contaminantes de Aguas y Suelos, Instituto de Ingeniería- UNAM, México, 106-109.

ONU. Acuerdo europeo sobre transporte internacional de mercancías peligrosas por carretera. IV Conferencia Europea sobre Contaminantes y Seguridad Ambiental. (2003) Organización de las Naciones Unidas – ONU.

Política Ambiental para la Gestión Integral de Residuos o Desechos peligrosos de Diciembre de 2005. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Colombia.

Reciclaje de materiales orgánicos y Biogás. Una experiencia en China. Santiago de Chile. La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. FAO (1986).

Resolución 1297 de 2010. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, Colombia.

Resolución 1457 de 2010. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Colombia.

Resolución 1511 de 2010. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial Colombia.

RÖBEN, E. (2002). Diseño, Construcción, Operación y Cierre de Rellenos Sanitarios Municipales. DED/ Ilustre Municipalidad de Loja.

SANCHEZ, E & URIBE, E. (1994). Contaminación Industrial en Colombia, Departamento Nacional de Planeación. Bogotá.

SUÁREZ, J. (2012). Aprovechamiento de los residuos Sólidos provenientes del Beneficio del Café, en el municipio de Betania Antioquia: usos y aplicaciones. Trabajo de grado para optar por el título de Especialista en Gestión Integral de Residuos Sólidos y Peligrosos. Corporación Universitaria Lasallista. Facultad de Ingeniería. Caldas, Antioquia.

TORRES L., P.; RODRÍGUEZ V., J.; CAJIGAS C., A.; PÉREZ V., A. La actividad metanogénica como herramienta para optimización del proceso anaerobio en el tratamiento de aguas residuales fácilmente acidificables. In: XXVIII Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Cancún. México. Octubre del 2002.

TORRES, P.; BARBA, L.; PIZARRO, C. (2010). Mitigación de la toxicidad anaerobia de lixiviados mediante mezclas con agua residual doméstica. Grupo de estudio y control de la contaminación ambiental. Escuela EIDENAR – Área Académica de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, Facultad de Ingeniería, Universidad del Valle. Cali, Colombia.

VANERO, M.; ROJAS, C & ORELLANA, R. (2007). Índices de Fitotoxicidad en Residuos orgánicos durante el Compostaje. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas. Departamento de Ingeniería y Suelos.

VERA, A., SÁNCHEZ, E., ORTIZ, M, PEÑA, J., & ORTEGA, M. (2006). Estabilización de lodos residuales municipales por medio de la técnica de lombricompostaje. In Memorias del V Congreso Internacional y el XI Congreso Nacional de Ciencias Ambientales. México (pp. 7-9).

WIKIPEDIA. Neutralización química. On line. Disponible en [https://es.wikipedia.org/wiki/Reacci%C3%B3n\\_%C3%A1cido-base](https://es.wikipedia.org/wiki/Reacci%C3%B3n_%C3%A1cido-base). Fecha de consulta, septiembre 1 del 2016.



ZAMBRANO F., D. A. Estudios de planta piloto para el tratamiento anaeróbico de las aguas residuales del proceso de beneficio húmedo del café. Chinchiná, Colombia, CENICAFÉ. 31 p. (Proyecto QIN-02-00). 1994.

ZAMBRANO F., D. A; RODRÍGUEZ V., N. (2008). Producción de café con cero residuos. Beneficios para el productor, beneficios para el medio ambiente. Chinchiná (Colombia), CENICAFÉ. Disciplina de Calidad y Manejo Ambiental. 98 p.

ZAMBRANO F., D.A.; RODRÍGUEZ V., N.; LÓPEZ P., U.; OROZCO R., P.A.;  
ZAMBRANO G., A.J. Tratamiento anaerobio de las aguas mieles del café. Boletín Técnico Cenicafé (Colombia) N° 29:1-28. 2006.

ZEGERS, F. Microbiología. In: Arranque y operación de sistemas de flujo ascendente con manto de lodo -UASB-. Manual del curso. Santiago de Cali. Nov., 1987. A-1 a A-14.

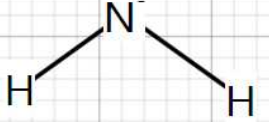
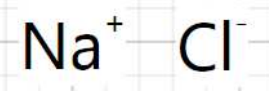
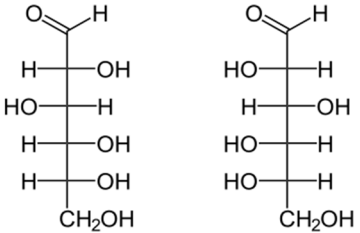
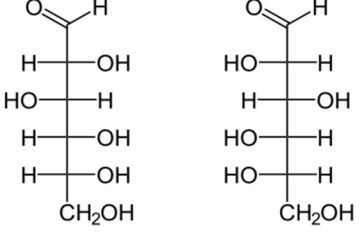
## 11. ANEXOS

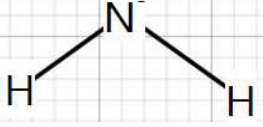
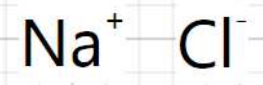
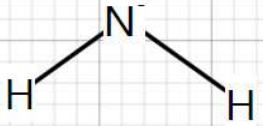
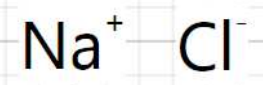
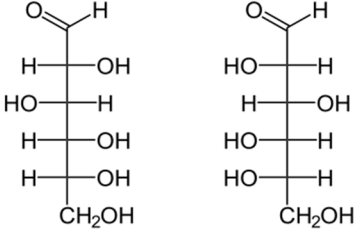
### Anexo 1 Categorías de Residuos

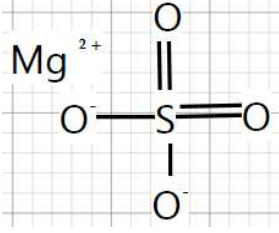
- Q1 Residuos de producción o de consumo no especificados a continuación
- Q2 Productos que no respondan a las normas
- Q3 Productos caducados
- Q4 Materias que se hayan vertido por accidente, que se hayan perdido o que hayan sufrido cualquier otro incidente con inclusión del material, del equipo, etc., contaminado a causa del incidente en cuestión
- Q5 Materias contaminadas o ensuciadas a causa de actividades voluntarias (por ejemplo, residuos de operaciones de limpieza, materiales de embalaje, contenedores, etc.)
- Q6 Elementos inutilizables (por ejemplo, baterías fuera de uso, catalizadores gastados, etc.)
- Q7 Sustancias que hayan pasado a ser inutilizables (por ejemplo, ácidos contaminados, disolventes contaminados, sales de temple agotadas, etc.)
- Q8 Residuos de procesos industriales (por ejemplo, escorias, posos de destilación, etc.)
- Q9 Residuos de procesos anticontaminación (por ejemplo, barros de lavado de gas, polvo de filtros de aire, filtros gastados, etc.)
- Q10 Residuos de mecanización/acabado (por ejemplo, virutas de torneado o fresado, etc.)
- Q11 Residuos de extracción y preparación de materias primas (por ejemplo, residuos de explotación minera o petrolera, etc.)
- Q12 Materia contaminada (por ejemplo, aceite contaminado con PCB, etc.)
- Q13 Toda materia, sustancia o producto cuya utilización esté prohibida por la ley
- Q14 Productos que no son de utilidad o que ya no tienen utilidad para el poseedor (por ejemplo, artículos desechados por la agricultura, los hogares, las oficinas, los almacenes, los talleres, etc.)
- Q15 Materias, sustancias o productos contaminados procedentes de actividades de regeneración de terrenos
- Q16 Toda sustancia, materia o producto que no esté incluido en las categorías anteriores.

### Anexo 2 Clasificación de acuerdo a grupos funcionales

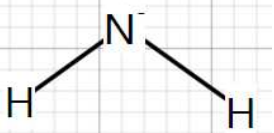
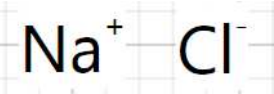
| Nombre  | Composición  | Estructuras químicas  |
|---|--|---|
| AGAR- AGAR  |  |   |
| AGAR DEXTROSA SABOURAUD<br>(SDA) [1]<br><br>El Agar Dextrosa Sabouraud es un medio utilizado para el cultivo de hongos y levaduras. | Peptona micológica 10 g/l<br><br>Glucosa 40 g/l<br><br>Agar 15 g/l<br><br>pH $5.6 \pm 0.2$ | Peptona micológica<br><br><br>Nitrógeno total 13.8 % p/p<br><br>Amino nitrógeno 2.4 % p/p |

|   |  |   |
|---|--|---|
|   |  |  <p>Cloruro de sodio 3.2 % p/p</p>  <p>pH (solución 2%) 7.2 % p/p</p> <p>Glucosa (D-L)</p>  |
| <p><b>PAPA DEXTROSA AGAR (PDA)</b></p> <p>El Agar Dextrosa y Papa es un medio utilizado para el cultivo de hongos y levaduras a partir de muestras de alimentos, derivados de leche y productos cosméticos.</p> | <p>Extracto de papa 4 g/l</p> <p>Glucosa 20 g/l</p> <p>Agar 15 g/l</p> <p>pH 5.6 ± 0.2</p>             | <p>Glucosa (D-L)</p>   |
| <p><b>EXTRACTO DE MALTA AGAR (EMA)</b></p> <p>El agar de extracto de malta es utilizado para detección y aislamientos de hongos patógenos.</p>  | <p>Extracto de malta 30 g/l</p> <p>Peptona micológica 5 g/l</p> <p>Agar 15 g/l</p> <p>pH 5.4 ± 0.2</p> | <p>Peptona micológica</p> <p>Nitrógeno total 13.8 % p/p</p> <p>Amino nitrógeno 2.4 % p/p</p>  |

|   |   |  |
|---|---|--|
|   |   |  <p>Cloruro de sodio 3.2 % p/p</p>  <p>pH (solución 2%) 7.2 % p/p</p>  |
| <p><b>AGAR ROSA BENGALA<br/>CLORANFENICOL</b></p> <p>Este agar es utilizado para aislamiento y recuento de levaduras y mohos a partir de diversas muestras.</p> | <p>Peptona micológica 5 g/l</p> <p>Glucosa 10 g/l</p> <p>Fosfato di potásico 1 g/l</p> <p>Sulfato de magnesio 0.5 g/l</p> <p>Rosa bengala 0.05 g/l</p> <p>Agar 15.5</p> <p>pH 7.2 ± 0.2</p> | <p>Peptona micológica</p> <p>Nitrógeno total 13.8 % p/p</p> <p>Amino nitrógeno 2.4 % p/p</p>  <p>Cloruro de sodio 3.2 % p/p</p>  <p>pH (solución 2%) 7.2 % p/p</p> <p>Glucosa (D-L)</p>  |

|  |  |  |
|--|--|--|
|  |  | <p>Fosfato di potásico</p> $\begin{array}{c} \text{OH} \\   \\ \text{K}^+\text{O}^- - \text{P} - \text{O}^- \text{K}^+ \\    \\ \text{O} \end{array}$ <p>Sulfato de magnesio</p>  <p>Rosa Bengala</p>   |
| <p><b>AGAR NUTRITIVO</b></p> <p>Un medio de uso general que puede ser enriquecido con 10% de sangre u otro fluido biológico.</p> <p>Medio de cultivo utilizado para propósitos generales, para el aislamiento de microorganismos poco exigentes en lo que se refiere a requerimientos nutritivos.</p> <p>Su uso está descrito en muchos procedimientos para el análisis de alimentos, aguas y otros materiales de importancia sanitaria.</p> | <p>'Lab-Lemco' polvo 1 g/l</p> <p>Agar de levadura 2 g/l</p> <p>Peptona 5 g/l</p> <p>Cloruro de sodio 5 g/l</p> <p>Agar 15 g/l</p> <p>pH 7.4 ± 0.2</p> | <p>'Lab-Lemco' agar</p> <p>Un agar nutritivo por lo general es de uso bacteriológico, algunas veces es usado como base selectiva, diferencial, o medio enriquecido.</p> <p>'Lab-Lemco' polvo 3 g/l</p> <p>Peptona 5 g/l</p> <p>Agar 15 g/l</p> <p>pH 7.4 ± 0.2</p> <p>Agar extracto de levadura</p> <p>Un agar nutriente para el recuento de colonias de microorganismos en el agua.</p> <p>Extracto de levadura 3 g/l</p> |

|   |  |  |
|---|--|--|
|   |  | <p>Peptona 5 g/l</p> <p>Las peptonas son polipéptidos formados durante la degradación enzimática de proteínas. Son la principal fuente de nitrógeno en el medio orgánico para el cultivo de bacterias. Contienen aminoácidos libres y cadenas cortas de péptidos, ciertas vitaminas y a veces carbohidratos. Es soluble en agua e insoluble en etanol y éter.</p> <p>Agar 15 g/l</p> <p>pH <math>7.2 \pm 0.2</math></p> <p>Peptona</p> <p>Cloruro de sodio</p> <p><math>\text{Na}^+ \text{Cl}^-</math></p> |
| <p>Agar MRS</p> <p>(de Man, Rogosa, Sharpe)</p> <p>El Agar M.R.S. fue desarrollado por Man, Rogosa y Sharpe para proveer un medio que pudiera evidenciar un buen crecimiento de lactobacilos y otras bacterias ácido lácticas</p> | <p>Peptona 10 g/l</p> <p>Polvo 'Lab-Lemco' 8 g/l</p> <p>Extracto de levadura 4 g/l</p> <p>Glucosa 20,0 g/l</p> <p>Sorbitán mono-oleato de 1 ml</p> <p>Dipotásico hidrógeno fosfato 2 g/l</p> <p>Acetato sódico <math>3\text{H}_2\text{O}</math> 5 g/l</p> <p>Triamonio citrato 2 g/l</p> | <p>Peptona</p> <p>Las peptonas son poli péptidos formados durante la degradación enzimática de proteínas. Son la principal fuente de nitrógeno en el medio orgánico para el cultivo de bacterias. Contienen aminoácidos libres y cadenas cortas de péptidos, ciertas vitaminas y a veces Carbohidratos. Es soluble en agua e insoluble en etanol y éter</p>  |

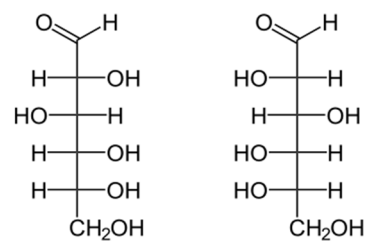
|  |  |  |
|--|--|--|
|  | <p>Sulfato de magnesio 7H<sub>2</sub>O<br/>0,2</p> <p>Sulfato de manganeso 4H<sub>2</sub>O<br/>0.05 g/l</p> <p>Agar 10 g/l</p> <p>pH 6,2 ± 0,2</p> | <p>Polvo 'Lab-Lemco'</p> <p>Lab-Lemco es un extracto de carne a partir de materias primas especialmente seleccionadas, se ajustó a neutralidad y se secó hasta un polvo fino</p> <p>Nitrógeno total 13,3 % p/p</p> <p>Nitrógeno amino 2,5 % p/p</p>  <p>Cloruro de sodio 1,1 % p/p</p>  <p>pH (2% de solución) 7,2 ± 0,2</p> <p>Extracto de levadura</p> <p>Un agar nutriente para el recuento de colonias de microorganismos en el agua.</p> <p>Extracto de levadura 3 g/l</p> <p>Peptona 5 g/l</p> <p>Las peptonas son poli péptidos formados durante la degradación enzimática de proteínas. Son la principal fuente de nitrógeno en el medio orgánico para el cultivo de bacterias. Contienen aminoácidos libres y cadenas cortas de péptidos, ciertas vitaminas y a veces</p> |
|--|--|--|

carbohidratos. Es soluble en agua e insoluble en etanol y éter.

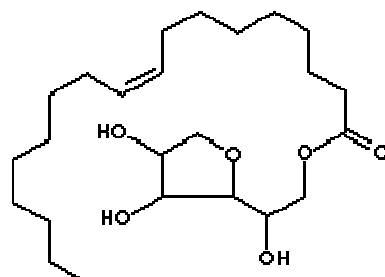
Agar 15 g/l

pH  $7.2 \pm 0.2$

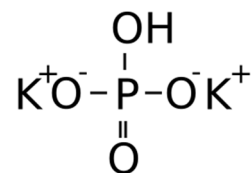
Glucosa (D-L)



Sorbitán mono-oleato

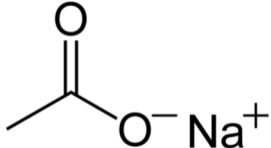
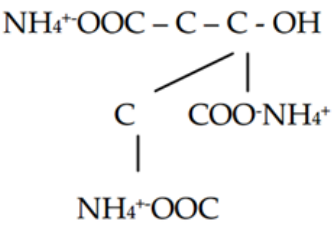
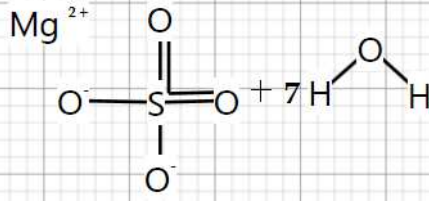
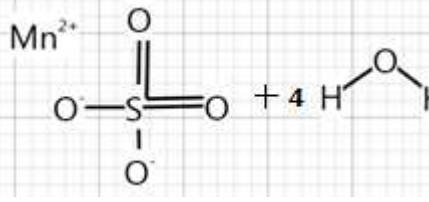


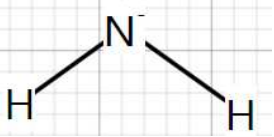
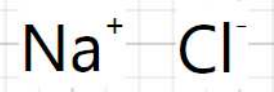
Di potásico hidrógeno fosfato



Acetato sódico



|   |  |   |
|---|--|---|
|   |  |  <p>Triamonio citrato</p>  <p>Sulfato de magnesio</p>  <p>Sulfato de manganeso</p>  |
| <p>AGAR ROGOSA</p> <p>Medio para el aislamiento selectivo y</p> | <p>Triptona 10,0 g/l</p> <p>Extracto de levadura 5,0 g/l</p> | <p>Triptona</p> <p>Es un digerido pancreático de caseína.</p>   |

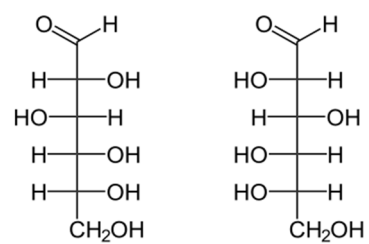
|  |   |   |
|--|---|---|
| <p>enumeración de los lactobacillus.</p> | <p>Glucosa 20,0 g/l</p> <p>Sorbitán mono-oleato de "Tween 80" 1,0 ml</p> <p>Dihidrógeno fosfato de potasio 6,0 g/l</p> <p>Citrato de amonio 2,0 g/l</p> <p>Acetato de sodio, anhidro 17g/l</p> <p>Sulfato de magnesio 0,575 g/l</p> <p>Sulfato de manganeso 0,12 g/l</p> <p>Sulfato ferroso 0,034 g/l</p> <p>Agar 20,0 g/l</p> <p>pH <math>5,4 \pm 0,2</math></p> | <p>Se puede utilizar en cualquier formulación en la que un pancreático o digesto triptico de caseína se especifica y se ajusta al pliego de condiciones de digerido pancreático de caseína en EE.UU.</p> <p>Nitrógeno total 13,3 % p/p</p> <p>Nitrógeno amino 3,7 % p/p</p>  <p>Cloruro de sodio 0,4 % p/p</p>  <p>pH (2% de solución) <math>7,3 \pm 0,2</math></p> <p>Extracto de levadura</p> <p>Un agar nutriente para el recuento de colonias de microorganismos en el agua.</p> <p>Extracto de levadura 3 g/l</p> <p>Peptona 5 g/l</p> <p>Las peptonas son poli péptidos formados durante la degradación enzimática de proteínas. Son la principal fuente de nitrógeno en el medio orgánico para el cultivo de bacterias. Contienen aminoácidos</p> |
|--|---|---|

libres y cadenas cortas de péptidos, ciertas vitaminas y a veces carbohidratos. Es soluble en agua e insoluble en etanol y éter

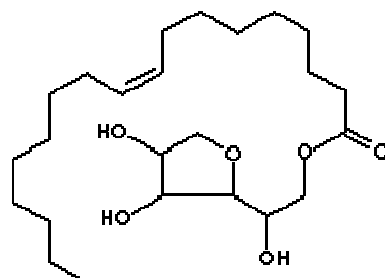
Agar 15 g/l

pH  $7.2 \pm 0.2$

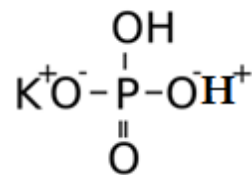
Glucosa



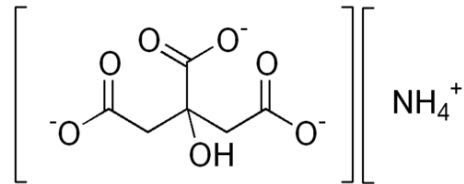
Sorbitán mono-oleato de "Tween 80"



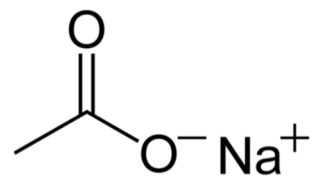
Dihidrógeno fosfato de potasio



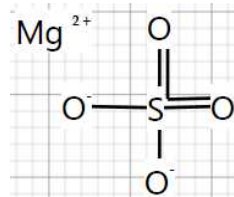
Citrato de amonio



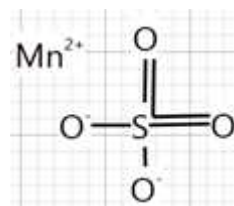
Acetato de sodio anhidro



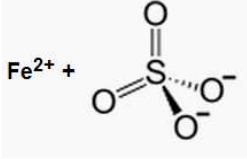
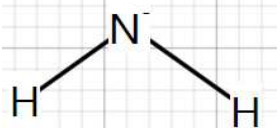
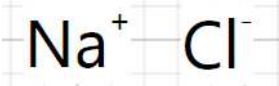
Sulfato de magnesio



Sulfato de manganeso



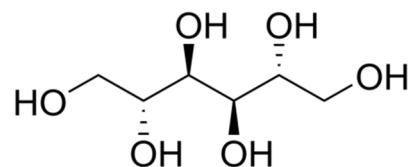
Sulfato ferroso

|   |   |   |
|---|---|---|
|   |   |    |
| <p><b>AGAR SAL MANITOL</b></p> <p>Un medio selectivo para el aislamiento de estafilococos patógenos presuntiva. La mayoría de las otras bacterias son inhibidas, con la excepción de unas pocas especies halófilas.</p> | <p>'Lab-Lemco' polvo 1,0 g/l</p> <p>Peptona 10,0 g/l</p> <p>Manitol 10,0 g/l</p> <p>Cloruro de sodio 75,0 g/l</p> <p>Rojo de fenol 0,025 g/l</p> <p>Agar 15,0 g/l</p> <p>pH 7,5 ± 0,2</p> | <p>Polvo 'Lab-Lemco'</p> <p>Lab-Lemco es un extracto de carne a partir de materias primas especialmente seleccionadas, se ajustó a neutralidad y se secó hasta un polvo fino</p> <p>Nitrógeno total 13,3 % p/p</p> <p>Nitrógeno amino 2,5 % p/p</p>  <p>Cloruro de sodio 1,1 % p/p</p>  <p>pH (2% de solución) 7,2 ± 0,2</p> <p>Peptona</p> <p>Las peptonas son poli péptidos formados durante la degradación enzimática de proteínas. Son la principal fuente de nitrógeno en el medio orgánico para el cultivo de bacterias. Contienen aminoácidos libres y cadenas cortas de péptidos, ciertas vitaminas y a veces</p> |

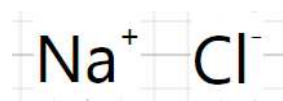
carbohidratos. Es soluble en agua e insoluble en etanol y éter.

#### Manitol

El manitol es un edulcorante obtenido de la hidrogenación del azúcar [manosa](#). Pertenece al grupo de edulcorantes denominado [polioles](#) o [polialcoholes](#).

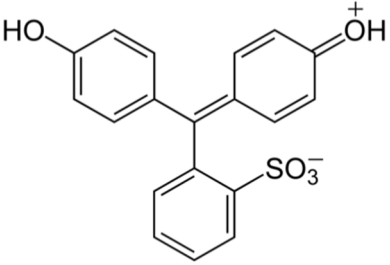


#### Cloruro de sodio



#### Rojo de fenol

El rojo de fenol es un [compuesto orgánico](#) usado en [laboratorio](#) como indicador de [pH](#), también se le conoce como Fenolsulfonftaleina, Sulfental, Sulfonftal o PSP.

|   |   |   |
|---|---|---|
|   |   |  |
| <p><b>AGAR ACTINOMYCES</b></p> <p>Agar Actinomyces se recomienda para el cultivo y mantenimiento de las especies de Actinomyces anaeróbicas.</p>  | <p>Infusión de carne de corazón, sólidos 10 g/l</p> <p>Triptosa 10 g/l</p> <p>La caseína hidrolizada enzimática 4 g/l</p> <p>Extracto de levadura 5 g/l</p> <p>Dextrosa 5 g/l</p> <p>L-cisteína 1 g/l</p> <p>Almidón, soluble 1 g/l</p> <p>Cloruro de sodio 5 g/l</p> <p>Fosfato monopotásico 15 g/l</p> <p>Sulfato de amonio 1 g/l</p> <p>Sulfato de magnesio 0,2 g/l</p> <p>Cloruro de calcio 0,020 g/l</p> <p>Agar 20 g/l</p> <p>pH final (a 25 ° C) 6,9 ± 0,2</p> |   |
| <p><b>MEDIO SELECTIVO CROMOGÉNICO COLIFORMES E. COLI.</b></p> <p>Un medio selectivo, cromogénico para la detección y enumeración de Escherichiacoli y otras coliformes a partir de muestras de agua y alimentos</p> | <p>Peptona 8,0 g/l</p> <p>Di-hidrógeno fosfato de sodio 2,2 g/l</p> <p>Cloruro de sodio 5,0 g/l</p> <p>Potasio di-hidrógeno fosfato 1,8 g/l</p>   |   |

|  |   |  |
|--|---|--|
|  | Lauril sulfato sódico 0,1 g/l<br>Cromogénico mezcla 0,35 g/l<br>Agar 10,6 g/l<br>pH 6,7 ± 0,2 |  |
|--|---|--|