PROPUESTA DE LABORATORIO PARA EL TRATAMIENTO DE LOS RESIDUOS PELIGROSOS (RESPEL) EN LA UNIVERSIDAD ICESI

JUAN SEBASTIÁN CARO BEJARANO
CHRISTIAN DAVID MENDOZA AGUILAR

UNIVERSIDAD ICESI
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
CALI
MAYO 2019

PROPUESTA DE LABORATORIO PARA EL TRATAMIENTO DE LOS RESIDUOS PELIGROSOS (RESPEL) EN LA UNIVERSIDAD ICESI

JUAN SEBASTIÁN CARO BEJARANO
CHRISTIAN DAVID MENDOZA AGUILAR

Proyecto de Grado para optar el título de Ingeniero Industrial

Director proyecto
CARLOS HERNANDO GONZALES RUBIO

UNIVERSIDAD ICESI
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
CALI
MAYO 2019

Contenido

Glosario 7
Resumen 8
1 INTRODUCCIÓN 9
1.1 Contexto, formulación y justificación del problema 10
2 OBJETIVOS 12
2.1 Objetivo del Proyecto 12
2.2 Objetivos Específicos 12
2.3 Entregables 12
3 MARCO DE REFERENCIA 13
3.1 Antecedentes o Estudios Previos 13
3.2 Marco Teórico 14
3.2.1 Estrategia jerarquizada para la gestión de residuos 15
3.2.2 Clasificación de los RESPEL 16
3.2.3 Marco legal de RESPEL 17
3.2.4 Herramientas de evaluación financiera 19
3.2.5 Indicadores para la medición del impacto ambiental 19
3.3 Contribución Intelectual o Impacto del Proyecto 20
4 METODOLOGÍA 21
5 RESULTADOS 23
5.1 Presentación y discusión de resultados 23
5.1.1 Recolección de datos 23
5.1.2 Caracterización de los procesos de tratamiento 25
5.1.3 Potencial de tratamiento 27
5.1.4 Propuesta de diseño de laboratorio 28
5.1.5 Análisis de Riesgo 36
5.1.6 Evaluación económica y financiera 38
5.1.7 Evaluación de impacto ambiental 41
5.2 Conclusiones 43
5.3 Recomendaciones 44
BIBLIOGRAFÍA 46

Lista de Figuras

Figura 1- Histórico de RESPEL generados en el edificio L de la Universidad Icesi (Fuente: Autores) 10
Figura 2- Estrategia jerarquizada para la gestión integral de RESPEL.....15
Figura 3- Grafico de Pareto aplicado a los RESPEL del año 2018 (Fuente: Autores) 24
Figura 4- Procesos de tratamiento realizados en prueba piloto (Fuente: Autores) 26
Figura 5 - Posibles ubicaciones del laboratorio (Fuente: autores). 28
Figura 6 - Distribución del laboratorio (Fuente: Autores) 35
Figura 7- Pronóstico de RESPEL 2019-2029 (Fuente: Autores).....38
Figura 8 - Comportamiento RESPEL generados y dispuestos (Fuente: Autores)..41
Figura 9 - Indicadores IDEAM (Fuente: Autores) 42

Lista de Tablas

Tabla 1- Clasificación de RESPEL de la Universidad Icesi.....16
Tabla 2- Marco normativo de los RESPEL (Fuente: Icesi; Plan de Gestión integral de Residuos Peligrosos; 2017).....18
Tabla 3- Cuantificación de RESPEL para el año 2018 (Fuente: Autores).....23
Tabla 4- Procesos de tratamiento de RESPEL (Fuente: Autores).....25
Tabla 5- Proporción de RESPEL por tratamiento (Fuente: Autores).....27
Tabla 6- Costos de construcción o remodelación (Fuente: Autores).....29
Tabla 7- Distancia hacia el laboratorio desde el punto de referencia (Fuente: Autores).....30
Tabla 8- Área de las ubicaciones (Fuente: Autores).....30
Tabla 9- Calificación finales (Fuente: Autores).....31
Tabla 10- Listado de maquinaria y equipos por proceso (Fuente: Autores).....31
Tabla 11- Selección de equipos y enseres (Fuente: Autores).....32
Tabla 12- Resultados prueba piloto (Personal) (Fuente: Autores).....32
Tabla 13- Resultados cálculo de auxiliares necesarios (Fuente: Autores).....34
Tabla 14- Análisis de coeficiente de variabilidad (Fuente: Autores).....37
Tabla 15- Tasa histórica de Kg RESPEL/Estudiante (Fuente: Autores).....37
Tabla 16- Análisis maquinaria y equipo (con depreciación) (Fuente: Autores).....38
Tabla 17- Costos de mano de obra (Fuente: Autores).....39
Tabla 18- Información de financiamiento (Fuente: Autores).....39
Tabla 19- Resultados financieros del proyecto (Fuente: Autores).....40
Tabla 20- Playback (Fuente: Autores).....40
Tabla 21 - Resultados CONSUMO ENERGÉTICO (Fuente: Autores).....42
Tabla 22 - Resultados HUELLA DE CARBONO (Fuente: Autores).....43

Lista de ecuaciones

Ecuación 1- Cálculo de la VACRD.....19
Ecuación 2- Cálculo de la VACRG.....20
Ecuación 3- Cálculo de puntaje de costo (Fuente: Autores).....29
Ecuación 4- Cálculo de puntaje de distancia (Fuente: Autores).....30
Ecuación 5- Cálculo de puntaje de área (Fuente: Autores).....30
Ecuación 6- Cálculo tasa personal de laboratorio (Fuente: Autores).....33
Ecuación 7- Cálculo de personal requerido (Fuente: Autores).....34
Ecuación 8- Costo logístico de distribución (Fuente: Autores).....35

Glosario

RESPEL: Residuos peligroso. Todos aquellos residuos que poseen propiedades perjudiciales para la salud humana o para el medio ambiente y cuya composición incluye ciertas sustancias químicas comprendidas en el decreto 4741 de 2005, por ejemplo el plomo o el cianuro; estos pueden ser resultado de diferentes actividades económicas o académicas (US EPA, 2016).

Resumen

La generación de RESPEL en la Universidad Icesi ha venido aumentando paulatinamente en los últimos años, y con esta, también se han incrementado los costos asumidos por la universidad para el tratamiento de los mismo. Como respuesta a esta problemática, se propuso la construcción de un laboratorio para el tratamiento de dichos residuos, evaluando la viabilidad económica y el impacto ambientas en la universidad. Para llevar a cabo esta evaluación se realizó lo siguiente: la recolección de datos y clasificación de las clases de residuos que se tratarán en el laboratorio; el diseñó del laboratorio, de tal forma que se determinó: el recurso humano necesario, la localización, la maquinaria y equipos requeridos, y la distribución de la planta; el análisis del riesgo asociado a los pronósticos de generación; una evaluación económica mediante los cálculos de la tasa interna de retorno (TIR), valor presente neto (VPN) y tiempo de retorno de la inversión; por último, se efectuó una evaluación ambiental enfocada en las reducción de disposición de residuos, el cálculo de la huella de carbono y consumo energético. De este estudio se pudo concluir que es factible financieramente y que reduciría significativamente la generación de los residuos ya mencionados.

Palabras claves: Residuos peligrosos, evaluación económica, diseño técnico de laboratorio, impacto ambiental

1 INTRODUCCIÓN

El objetivo de este proyecto es, de manera teórica, proponer un diseño técnico de un laboratorio para el tratamiento de residuos peligrosos (REPSEL), evaluando la viabilidad económica y el impacto ambientas, que trate parte de la totalidad de estos residuos generados en la Universidad Icesi como resultado de la enseñanza e investigación. Para esto se plantearon cuatro diferentes objetivos específicos con la siguiente estructura:

El primero consistió en recolectar información acerca de la generación y el tratamiento de estos residuos en la universidad, además de determinar las clases de residuos que serían procesados. En el segundo, se diseñó el laboratorio, para lo cual se llevó a cabo un proceso de localización, definición de procesos de tratamiento, selección de equipos, cálculo del personal requerido y distribución de planta. En el tercero se realizó una evaluación financiera a siete años, en la que se identificó el costo de la inversión, los gastos de operación y las ganancias existentes que acarrea el no pagar los servicios de un tercero por el tratamiento, con el fin de determinar el retorno de la inversión por medio del cálculo del valor presente neto y la tasa de retorno de la inversión. Por último, pero no menos importante se evaluó el impacto ambiental que conlleva su operación, en cuanto a emisiones de CO2, consumo energético y reducción en la disposición de RESPEL.

1.1 Contexto, formulación y justificación del problema

El tratamiento y la disposición final de los RESPEL generados en la Universidad Icesi implica un costo económico que esta debe asumir. Por esta razón es importante iniciar con la gestión de procedimientos para la reducción de dichos desechos, ya sea por la modificación de sustancias, modificación de guías de laboratorio, reutilización de reactivos o la trasformación de estos residuos en otros no peligrosos, mediante técnicas de separación, filtración, precipitación, destilación, neutralización, entre otras (Pinto, 2018).

En la Universidad Icesi en los últimos años se ha incrementado la cantidad de RESPEL que se generan en el edificio L, al pasar de 1.240,45 kg en el 2015 a 3.486,28 kg en 2017 y 4.697,75 en 2018 aumentando en un 30,77% respecto a 2017, como se puede apreciar en la Figura 1. Por otra parte, próximamente empezarán a funcionar las nuevas instalaciones de ingeniería bioquímica, por lo cual se espera un aumento en la generación de este tipo de desechos adicional a la que se ha venido generando. Esta situación implica un incremento en los costos asociados a su tratamiento, pues dicho valor es directamente proporcional al peso de los residuos. El proceso de tratamiento de este tipo de residuos actualmente se hace de forma tercerizada, a cargo de la empresa Tecniamsa SA ESP (Tecniamsa, para el resto del documento), donde realizar el tratamiento de este tipo de residuos tiene costo por kilogramo de $10.000 COP.

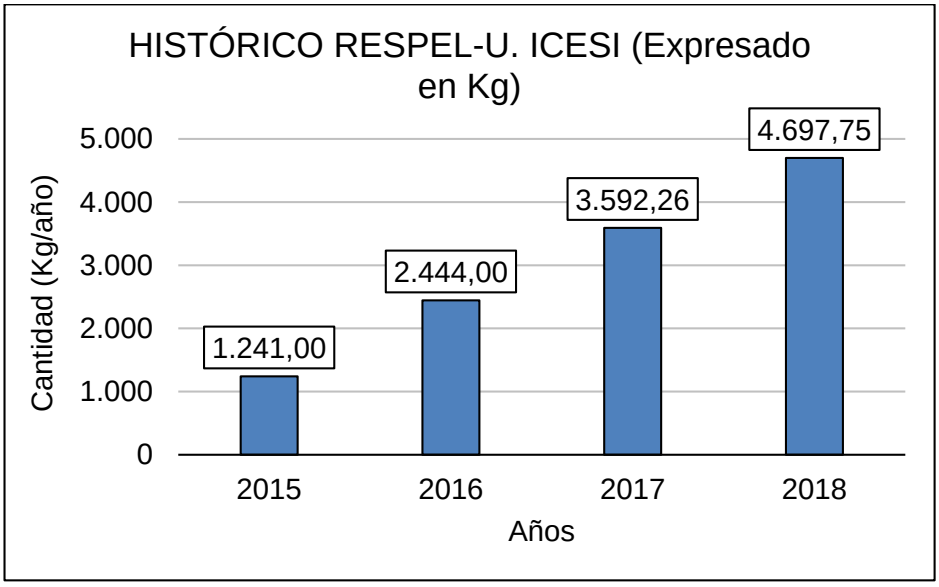


Figura 1- Histórico de RESPEL generados en el edificio L de la Universidad Icesi (Fuente: Autores)

Dada esta situación, y respondiendo a la recomendación de “estudiar la posibilidad de la creación de una instalación para tratamiento de residuos, en donde se almacenen y se realice la correcta desactivación de desechos químicos” (Gutiérrez; 2018, pg. 73), se plantea la propuesta de un laboratorio de tratamiento de RESPEL a cargo de la facultad de Ciencias Naturales, con el objetivo de lograr una disposición final brindando el menor impacto ecológico negativo posible.

Mediante la propuesta del laboratorio se pretendió: estandarizar los costos del tratamiento de estos residuos; realizar un procedimiento, tratamiento y disposición final de los RESPEL que más se generen acorde a la norma técnica adecuada, generando el menor impacto ambiental negativo posible. Para lograr cumplir con el proyecto, se pretende realizar la propuesta desde 3 áreas importantes:

1. El área técnica, especificándose en los requerimientos del laboratorio como: procesos a realizar, equipos necesarios, espacio requerido, personal necesario, distribución de la planta, etc.
2. El área económica, donde se pretende evaluar posibles ingresos, costos (de inversión y operaciones), gastos, depreciaciones y demás aspectos económicos importantes que pasaran a ser parte del proceso de evaluación mediante los indicadores VPN y/o TIR.
3. El área ambiental, donde se desea medir el impacto ambiental que podría generar la realización de la desactivación de los RESPEL bajo los procesos estipulado en el área técnica y, adicionalmente, cual es la diferencia (en impacto ambiental) de los procesos de Tecniamsa.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo del Proyecto

Elaborar una propuesta técnica de un laboratorio de RESPEL en la Universidad Icesi, para el tratamiento de estos residuos que se generan en los laboratorios del edificio L de la universidad.

2.2 Objetivos Específicos

- Recolectar, analizar y priorizar los datos existentes de la generación y disposición actual de los RESPEL en la Universidad Icesi.
- Proponer un diseño técnico de un laboratorio de tratamiento de RESPEL.
- Evaluar teóricamente el funcionamiento del laboratorio mediante indicadores económicos que permitan definir la factibilidad económica del laboratorio.
- Estimar el impacto ambiental que tiene el laboratorio mediante métricas ambientales.

2.3 Entregables

- Análisis de situación actual.
- Propuesta técnica del laboratorio.

3 MARCO DE REFERENCIA

3.1 Antecedentes o Estudios Previos

En 1970 durante la Cumbre de la tierra organizada en Ámsterdam por la Organización de las Naciones Unidas (ONU), se exigió a los países pertenecientes a la ONU a realizar una gestión ecológicamente racional de los productos químicos tóxicos (IDEAM, 2016). Los países desarrollados fueron los primeros en empezar a tomar conciencia de esta materia con la tarea de ajustar su amplia legislación en las décadas de 1970 y 1980 (Ministerio de Ambiente & Desarrollo Territorial, 2007).

En fechas anteriores a esta (1970), no existía una clasificación para los RESPEL, por lo que se clasificaban dentro de desechos industriales, clínicos o domésticos y se depositaban en ríos, posos o vertederos sin tratamiento alguno. En la década de los 80, a partir de diversas problemáticas y protestas a nivel internacional generadas por el hallazgo de depósitos de desechos peligrosos en algunos países en vías de desarrollo, se adopta el convenio de Basilea el 22 de marzo de 1989, el cual trata sobre el control de movimientos transfronterizos de residuos peligrosos y de su adecuada eliminación. A partir de dicha convención, así como los convenios de Estocolmo y Rotterdam, varios países alrededor del mundo empezaron a regular el tratamiento que deben tener este tipo de residuos. Colombia inicia los procesos de normatividad en el manejo de los RESPEL cuando se hace miembro del Convenio de Basilea, mediante la Ley 253 de 1996 Posteriormente, se hace miembro de los convenios de Rotterdam y Estocolmo.

El Ministerio de Ambiente y Vivienda de la República de Colombia reconoce que “la gestión de los residuos o desechos peligrosos es hoy un tema de preocupación en el planeta. A medida que el mundo evoluciona, las sociedades cambian sus estructuras y esquemas de producción y de consumo” (MINISTERIO DE AMBIENTE, 2007), refiriéndose a la gestión de la creciente tasa de generación de desechos a nivel mundial ocasionada por nuevos comportamientos de consumo su crecimiento industrial asociado. En el 2016, en Colombia se generaron un total de 305216 toneladas de RESPEL, siendo el mayor generador de Latinoamérica (sin tener en cuenta a Brasil y Chile, cuyas cantidades generadas no fueron publicadas) (IDEAM, 2016). En el mismo año, en el departamento del Valle del Cauca se generaron 20000 toneladas, lo que corresponde al 7% del total nacional, ubicando la quita posición del ranking liderado por Casanare (19%), Meta (13%) y Bogotá (12%).

En el Instituto Tecnológico de Buenos Aires se realizó un análisis de la situación actual del manejo de residuos peligrosos generados en laboratorios de docencia a nivel mundial y encontraron que, por un lado, las universidades de Estados Unidos y Europa poseen detallados programas donde se muestran todos los procedimientos para el tratamiento y disposición final de RESPEL. Por otro lado, se menciona que en Latinoamérica estos programas varían mucho, mientas que en algunas entidades educativas se cuenta con excelentes programas de manejos, en otras es un documento con muy poco detalle o nulo (Bertini & Cicerone, 2016).

Por su parte, la Universidad Icesi ha trabajado en la prevención de: incidentes con respecto a los RESPEL, minimización de su uso en sus laboratorios y en el máximo aprovechamiento de aquellas sustancias que después de trabajadas se convierten en residuos peligrosos. Un ejemplo de esto es el programa de gestión desarrollado por la oficina de Salud Ocupacional y Medio Ambiente (SOMA) desde el 2017, por medio del cual se lleva a cabo un plan para clasificar los residuos (acorde la NTP 480), definir su proceso de envasado y almacenamiento para la entrega al gestor tercero.

En cuanto a evaluaciones de factibilidad de laboratorios o plantas de tratamiento de RESPEL y proyectos afines; las técnicas de implementación y resultados difieren de acuerdo con el enfoque y particularidades de cada proyecto. Como ejemplo resaltan los estudios de viabilidad de una planta para tratamiento de residuos peligrosos en Serag, Indonesia (Andarani & Goto, 2012), otro de residuos patológicos (tipo de desecho que se encuentran dentro del concepto de RESPEL) en Buenos Aires, Argentina (Mar & Tutor, 2006) y por último, una evaluación para una planta que trate residuos eléctricos como bombillas en Colombia (Amaya, Angel, Suarez, Orlando, & Morales, 2016).

3.2 Marco Teórico

Entre los generadores de residuos peligrosos se encuentran las instituciones de educación superior, las cuales para fortalecer y mejorar el conocimiento de los estudiantes, recurren a prácticas e investigaciones que generan combinación de sustancias químicas como residuos del proceso de aprendizaje, estos RESPEL pueden resultar en un riesgo para el medio ambiente y la salud humana (Benítez, Ruiz G, M, Miranda, & M, 2013). “Ello lleva a plantear la necesidad de establecer un enfoque integral en la gestión de los materiales químicos peligrosos, que lleve a lograr su manejo seguro y ambientalmente adecuado a todo lo largo de su ciclo de vida”(“Instituto Nacional de Ecología,” nd).

3.2.1 Estrategia jerarquizada para la gestión de residuos

Para garantizar la integridad del tratamiento de los RESPEL, desde su producción hasta su traslado a la fase final de la gestión (por ejemplo: reciclaje, tratamiento o disposición). De acuerdo con el Ministerio de ambiente se debe seguir una estrategia jerarquizada, que en forma genérica se pueden agrupar de la manera en que se muestra en la Figura 2.

Figura 2- Estrategia jerarquizada para la gestión integral de RESPEL
(Fuente: Ministerio de ambiente; Gestión integral de residuos o desechos peligrosos; 2007)

Como primera medida, se debe minimizar la generación de RESPEL para lo cual se utilizan las 3 primeras estrategias: prevención, minimización y aprovechamiento; una vez optimizadas estas estrategias se puede implementar el tratamiento, con lo cual se puede reducir el volumen y disminuir la peligrosidad de los RESPEL; destruir sustancias peligrosas que no es posible confinar y, por último, contener y aislar los materiales peligrosos para su disposición (Ministerio de ambiente, 2007). Se debe tener en cuenta que el tipo de tratamiento de los residuos peligrosos dependerá de los factores, características y peligrosidad de los mismos (Carrera & Solá, nd).

Los diferentes tratamientos que hay en la actualidad están direccionados ya sea a modificar las propiedades del residuo, hacer una disminución de los contaminantes del residuo o a destrucción de estos, y se pueden caracterizar dentro de las siguientes categorías:

- **PROCESOS FÍSICOS:** Generalmente son los primeros tratamientos dentro de un tratamiento global Algunos de los tratamientos más utilizados son la separación manual, la decantación, centrifugación, etc.
- **PROCESOS QUÍMICOS:** Procesos en los cuales utilizan compuestos químicos para lograr la desactivación de RESPEL, que generalmente tienen asociados a procesos físicos. Entre los tratamientos más utilizados se encuentran la neutralización, la precipitación, hidrólisis, electrólisis, etc.
- **TRATAMIENTOS FISICOQUÍMICOS:** Un tratamiento que involucra los 2 tratamientos anteriores, modificando las propiedades físicas o químicas. Algunos de estos tratamientos son la extracción de solventes y separación de membranas semipermeables, el "*Stripping*", la lixiviación, etc.
- **TRATAMIENTOS BIOLÓGICOS:** Utilizan un conjunto de microorganismos para la descomposición de contaminantes. Entre las técnicas más usadas se encuentran los lodos activados, la digestión anaeróbica, las lagunas aireadas y de estabilización, etc.
- **TRATAMIENTOS TÉRMICOS:** Son los diferentes tratamientos en donde la temperatura es la principal herramienta para la destrucción del contaminante, dando como resultado la eliminación o reducción de la peligrosidad Estos procesos son procesos muy eficientes, sin embargo, hay poco control de emisiones.

3.2.2 Clasificación de los RESPEL

La mayor parte de los RESPEL que se generan en la Universidad Icesi son mezclas de diferentes sustancias químicas que proviene de las diferentes prácticas de laboratorio que realizan varios de los programas académicos (Chaves, 2016). Con base en ello y en la NTP 480, norma que provee la información para la adecuada gestión de RESPEL, la universidad ha definido su categorización de residuos peligrosos, en el informe de clasificación, recolección y disposición final de residuos de laboratorio realizado por la ingeniera Luz Marina Chaves, de la siguiente manera:

Tabla 1- Clasificación de RESPEL de la Universidad Icesi
(Fuente: Chaves; Informe clasificación, recolección y disposición final de residuos de laboratorio; 2016)

RESPEL	CLASIFICACIÓN	CRITERIO	TIPO DE SUSTANCIA
I	DISOLVENTES HALOGENADOS	Mezclas con contenido mayor 2% de algún halógeno	Sustancias con contenido de Yodo, Cloro, Bromo, Flúor

RESPEL	CLASIFICACIÓN	CRITERIO	TIPO DE SUSTANCIA
II	DISOLVENTES NO HALOGENADOS	Mezclas con contenido menor 2% de algún halógeno	Sustancias inflamables y tóxicas tales como: alcoholes, aldehídos, aminas, cetonas, esteres, glicoles, hidrocarburos alifáticos
IIIA	DISOLUCIONES ACUOSAS ORGÁNICAS	Soluciones acuosas de productos orgánicos e inorgánicos	Soluciones acuosas de colorantes, fijadores orgánicos (formol, fenol, glutaraldehído), mezclas de agua/disolventes (efluentes de cromatografía, metanol/agua)
IIIB	DISOLCIONES ACUOSAS INORGÁNICAS		Soluciones acuosas básicas (hidróxido de sodio, hidróxido de potasio, etc.); soluciones acuosas de metales pesados; soluciones acuosas de cromo VI; Soluciones acuosas de sulfatos, fosfatos, reveladores, etc.
IV	ÁCIDOS Y BASES	Ácidos inorgánicos o sustancias acuosas con contenido mayor a 10% en volumen	
V	ACEITES	Aceites minerales	No aceites en soluciones acuosas
VIA	RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS	Sustancias de naturaleza orgánica o contaminada con sustancias químicas orgánicas	Carbón activado; sílica gel; solidos impregnados con disolventes orgánicos; sólidos contaminados con sustancias orgánicas (tales como envases vacíos contaminados)
VIB	RESIDUOS SÓLIDOS INORGANICOS	Sustancias de naturaleza inorgánica	Sales de metales pesados; sólidos contaminados con sustancias inorgánicos (tales como envases vacíos contaminados)
VII	ESPECIALES	Productos químicos sólidos o líquidos que por su peligrosidad no deben ser incluidos en ningún grupo	Comburentes; compuestos pirofóricos; compuestos altamente reactivos; compuestos muy tóxicos

3.2.3 Marco legal de RESPEL

Colombia cuenta con una amplia regulación del manejo de RESPEL “El marco jurídico de los residuos peligrosos en Colombia, se basa principalmente en el Decreto 4741 de 2005”(Benítez et al, 2013), el cual tiene como objetivo principal “prevenir la generación de residuos o desechos peligrosos, así como regular el

manejo de los residuos o desechos generados, con el fin de proteger la salud humana y el ambiente"(Ministerio de ambiente, 2005). Adicionalmente, "en el marco de la Gestión Integral, el adecuado uso, manejo y disposición final de RESPEL, es descrito en los decretos 1843 de 1991, 351 de 2014 y 1076 del 2015"(Icesi, 2017). En la Tabla 2 se muestra algunos de las leyes, decretos y resoluciones concernientes al marco legal de los RESPEL como complemento de la información anterior.

Tabla 2- Marco normativo de los RESPEL
(Fuente: Icesi; Plan de Gestión integral de Residuos Peligrosos; 2017)

NORMA	DESCRIPCIÓN
Constitución Política de Colombia 1991	Artículo 79: "el derecho a un ambiente sano y limpio", el cual no solo es un derecho sino también un deber de la comunidad para y con el medio ambiente de nuestro departamento
Ley 9 de 1979	Establece las normas generales para mejorar las condiciones sanitarias en lo que se relaciona a salud humana También establece las condiciones para descargos de residuos y materiales que afecten las condiciones sanitarias del ambiente
Decreto 1843 de 1991	Por el cual se reglamentan parcialmente los Títulos III, V, VI, VII y XI de la Ley 09 de 1979, sobre uso y manejo de plaguicidas
Ley 253 de 1996	Por medio de la cual se aprueba el Convenio de Basilea sobre el control de los movimientos transfronterizos de los desechos peligrosos y su eliminación, hecho en Basilea el 22 de marzo de 1989
Ley 430 de 1998	Por la cual se dictan normas prohibitivas en materia ambiental, referentes a los desechos peligrosos y se dictan otras disposiciones
Resolución 1164 de 2002	Por la cual se adopta el Manual de Procedimientos para la Gestión Integral de los residuos hospitalarios y similares
Decreto 4741 de 2005	Por el cual se reglamenta parcialmente la prevención y el manejo de los residuos o desechos peligrosos generados en el marco de la gestión integral
Resolución 1446 de 2005	Por la cual se modifica parcialmente la Resolución 415 del 13 de marzo de 1998, que establece los casos en los cuales se permite la combustión de aceites de desecho o usados y las condiciones técnicas para realizar la misma
Resolución 1402 de 2006	Por la cual se desarrolla parcialmente el Decreto 4741 del 30 de diciembre de 2005, en materia de residuos o desechos peligrosos
Resolución 693 de 2007	Por la cual se establecen criterios y requisitos que deben ser considerados para los Planes de Gestión de Devolución de Productos Posconsumo de Plaguicidas
Ley 1252 de 2008	Por la cual se dictan normas prohibitivas en materia ambiental, referentes a los residuos y desechos peligrosos y se dictan otras disposiciones
Decreto 351 de 2014	Por el cual se reglamenta la gestión integral de los residuos generados en la atención en salud y otras actividades

NORMA	DESCRIPCIÓN
Decreto 1076 del 2015	Este decreto, titulado: Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible; reúne la totalidad de decretos reglamentarios vigentes que desarrollan las leyes en el ámbito medioambiental

3.2.4 Herramientas de evaluación financiera

Las herramientas de evaluación financiera consisten en un conjunto de indicadores numéricos que ayudan a definir qué tan conveniente económicamente es realizar un proyecto de inversión antes de efectuarlo. Los indicadores económicos más comunes son: Valor Presente Neto (VPN), Tasa Interna de Retorno (TIR) y el tiempo de retorno de la inversión.

El primero, VPN, indica el valor actual de los flujos futuros que el proyecto de inversión dejará como dividendos (positivos o negativos) para así mostrar al inversor qué tanto dinero ganará (o perderá) con su proyecto, con lo cual, se consigue facilitar mucho la decisión. El segundo, la TIR, da a conocer la tasa en que se recupera la inversión inicial, desde un punto de vista matemático es la razón en la que el VPN se hace cero. El tercero, el tiempo de retorno de la inversión, muestra el tiempo necesario para que las ganancias sean iguales a la inversión inicial, es decir, se recupere el dinero dispuesto en el proyecto. Otra forma de expresarlo es: el tiempo necesario para que el VPN se haga cero.

3.2.5 Indicadores para la medición del impacto ambiental

Los proyectos relacionados con tratamiento o manipulación de RESPEL conllevan un impacto ambiental que debe ser valorado. El IDEAM define dos indicadores para realizar esta evaluación (IDEAM, Metricas impacto ambiental, 2015). El primero es la **Variación Anual de la Cantidad de RESPEL Dispuestos**, cuya finalidad es calcular la reducción o aumento de RESPEL dispuestos para ser tratados por el tercero para así definir el impacto del laboratorio en cuanto disposiciones. Este está dado por:

Ecuación 1- Cálculo de la VACRD

$$\mathrm{VACRPD} = \left[\frac{\mathrm{CRD}_{(t)} - \mathrm{CRD}_{(t-1)}}{\mathrm{CRD}_{(t-1)}}\right] * 100$$

Donde:

VACRD: Variación Anual (%) de la Cantidad de RESPEL Dispuestos.

$CRD_{(t)}$: Cantidad de RESPEL dispuestos en el año t.
$CRD_{(t-1)}$: Cantidad de RESPEL dispuestos en el año t-1.

El segundo, es la **Variación Anual de la Cantidad de RESPEL Generados** el cual tiene como propósito determinar la variación en el tiempo de generación de los mismos en el tiempo y se usa como punto de referencia para contextualizar el indicador anterior. Se expresa por:

Ecuación 2- Cálculo de la VACRG

$$\mathrm{VACRG} = \left[\frac{\mathrm{CRG}_{(t)} - \mathrm{CRG}_{(t-1)}}{\mathrm{CRG}_{(t-1)}}\right] * 100$$

Donde:

VACRG: Variación Anual (%) de la Cantidad de RESPEL Generados.
$CRG_{(t)}$: Cantidad de RESPEL generados en el año t.
$CRG_{(t-1)}$: Cantidad de RESPEL generados en el año t-1.

Dado que lo que se muestra en ambas fórmulas son variaciones entre 2 años consecutivos, nuestro análisis estará direccionado a las variaciones que den por encima de 0%, es decir, postivias, debido a que estas variaciones nos indican un aumento en las cantidad de residuos generados o desechados y por ende, un aumento en el riesgo de la salud humana y el medio ambiente.

3.3 Contribución Intelectual o Impacto del Proyecto

La contribución de este proyecto es la elaboración de una propuesta para la implementación de un laboratorio de tratamiento de residuos peligrosos en la Universidad Icesi teniendo en cuenta los siguientes tres aspectos: técnico, financiero y ambiental. Este estudio servirá de referencia para proyectos de gestión de residuos peligrosos *in situm* en otras universidades o empresas con similitud de residuos.

4 METODOLOGÍA

La metodología utilizada para desarrollar este estudio es de tipo cuantitativo y cualitativo. Se procesaron y analizaron estos datos para establecer el diseño, la ubicación y los procedimientos del laboratorio de tratamiento de RESPEL, para examinar la viabilidad desde las perspectivas económica y ambiental.

4.1 Recolección de datos y priorización

- Durante el estudio se recolectaron datos tanto de fuentes primarias como secundarias. En el caso de las primeras, estas se refieren a aquellos valores extraídos directamente por el grupo investigador con el uso de las siguientes herramientas: tiempos de desactivación de RESPEL, mediciones dimensionales como lo son las distancias entre las posibles ubicaciones y el área de cada una de ellas. En cuanto a las secundarias, se recolectaron datos históricos de disposición de RESPEL por clase, extraídos de los registros realizados por SOMA desde 2015 (Base de datos Soma- U Icesi, 2017).

- Se seleccionaron aquellas clases de residuos peligrosos que mayor flujo habían presentado para diseñar y construir el laboratorio en función del tratamiento de estos. Dicha selección se realizó por medio de un gráfico de Pareto elaborado con los desechos generados por clase de residuo.

4.2 Análisis técnico

- Se determinaron los procesos industriales que transforman los RESPEL identificados en elementos desechables, teniendo en cuenta el menor daño ambiental posible. Para ello, se hizo uso del listado de tratamientos definidos por la facultad de ciencias naturales.

- Se identificaron las tecnologías y maquinarias actuales, necesarias para realizar el proceso de desactivación de los RESPEL seleccionados. Después, se compararon las especificaciones, teniendo en cuenta la demanda a procesar. Por otro lado, a partir de la cantidad de desechos tratados durante y el personar implicado en los procesos actuales de tratamiento, se diseñaron los cargos de personal.

- Se diseñó una distribución de maquinarias y equipos que permite el procesamiento, transporte e ingreso de RESPEL, así como la disposición de

los materiales que salen como producto final. Para la elaboración de esta, se implementó una aproximación al método CRAFT que incluyó la disposición de pasillos. En esta, primero se definieron las restricciones de espacio y movimiento, luego, se organizaron los equipos y maquinarías de tal manera que se minimicen las distancias recorridas en el transporte de sustancias en proceso.

4.3 Análisis financiero

- Se investigaron los siguientes costos o gastos: construcción, maquinaria y equipos propios del laboratorio (inversión y depreciación estimada), nómina, consumo eléctrico y consumo de gas, y la posibilidad de financiamiento de un porcentaje de la inversión inicial.

- Se determinaron las utilidades netas y flujos de caja libre anuales, durante un horizonte de once años. Para esto, la cantidad de RESPEL se pronosticó a partir de la cantidad de prácticas realizadas en los últimos 6 años y la cantidad de estudiantes matriculado para la realización de dichas prácticas, utilizando el método de suavización exponencial doble. En este cálculo, a los costos se le estimó un incremento anual acorde al promedio del índice inflacionario de los últimos 10 años.

- Se proyectó el rendimiento económico del laboratorio por medio de tres cálculos de matemática financiera: el Valor neto actual del proyecto (VNA), Tasa interna de retorno (TIR) y el tiempo de retorno de la inversión. Las operaciones numéricas se efectuaron con los flujos (valores obtenidos en el punto anterior) ya calculados y el valor de la inversión final generada a partir de la evaluación técnica del proyecto.

4.4 Evaluación ambiental

Se evaluó el impacto ambiental mediante los indicadores definidos por el IDEAM mencionados anteriormente tanto para el proyecto como para el proceso que se lleva a cabo de forma tercerizada y se concluyó sobre este. Además, como complemento, se realizó el cálculo de emisiones de CO_2 y consumo energético implicados en la operación del laboratorio, para así ver qué implicaciones ambientales traen consigo estos dos importantes factores.

5 RESULTADOS

5.1 Presentación y discusión de resultados

A continuación se presentan los resultados de la propuesta del laboratorio de tratamiento de residuos peligrosos, iniciando con la recolección y el análisis de información actual (sección *Recolección de datos)* en la que se encuentra la presentación de las cantidades actuales de RESPEL generados y cuantificados hasta el final del año anterior (2018) por la oficina de SOMA. Esta cuantificación fue pilar base para el desarrollo de la propuesta técnica, componiéndose ésta de: los procesos a realizar (sección .

Para más detalles de los cálculos y el registro utilizado para obtener el gráfico de Pareto, dirigirse al archivo de Excel: **ANEXO 1 – Base de datos, hojas "HISTÓRICO RESPEL" y "ANÁLISIS DE DATOS"**.

Caracterización de los procesos de tratamiento*)*; cantidades a tratar (sección *Potencial de tratamiento*); distribución, localización, maquinaria y personal encargado (sección *Propuesta de diseño de laboratorio*). Posteriormente se realizó un corto análisis de los posibles riesgos de la realización física del proyecto (sección Distribución

Para diseño del laboratorio, se plantea una distribución por procesos debido a 2 factores: primero, muchos tipos de RESPEL comparten procesos para su tratamiento; y segundo, la variedad de sustancias que se pueden encontrar por categoría de RESPEL no representa una cantidad significativa. Para la realización del esquema de la distribución se contó con una variación del método CRAFT, que contempla la disposición de los pasillos en la distribución, la cual permite evaluar las distribuciones planteadas con base en el costo de transporte de las sustancias en proceso entre los distintos departamentos del laboratorio. En este método se multiplicaron las distancias rectilíneas entre las áreas de trabajo por los viajes (en cierto tiempo) y por el costo de desplazarse (por unidad de longitud) entre dichos departamentos siguiendo la siguiente ecuación:

Ecuación 8- Costo logístico de distribución (Fuente: Autores)

$$z = \sum_{j}^{m} \sum_{i}^{m} c_{ij} f_{ij} d_{ij}$$

Dónde:

- Z es el valor del costo logístico para cada distribución a evaluar.
- C es el costo de transportar una sustancia un metro entre el departamento i al j. Este factor no se tuvo en cuenta en la evaluación final pues en este caso, los costos son idénticos entre todos los departamentos, debido a que el transporte se hace de la misma forma en todos los casos.
- d, es la distancia entre i y j.
- f son el número de viajes recorridos en i y j por año.
- m es número de departamentos.

Para el cálculo del costo logístico, los viajes entre departamentos se calcularon dividiendo las cantidades de sustancia que se transportan entre los distintos departamentos al semestre por un lote de transferencia teórico de 10kg (cuyo valor lo afecta la calificación final). A su vez, dichos flujos se determinaron al agrupar los procesos en departamentos, para luego sumar las cantidades que se entregan entre ellos según la secuencia de los procesos por clase. La mejor distribución se presenta en la Figura 6.

¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.A continuación, se presentan algunos renders de la representación 3D del laboratorio, modelado en el programa de SolidWorks:

Para más detalles del proceso de selección de la mejor distribución, dirigirse al archivo de Excel: **ANEXO 3 – Distribuciones.**

Análisis de Riesgo). Este proyecto se evaluó financieramente mediante 2 indicadores: TIR y VPN (sección *Evaluación económica y financiera*). Finalmente, se obtuvieron los indicadores VARCPG y VACRPD y una interpretación de estos para estimar el impacto ambiental (sección *Evaluación de impacto ambiental*).

5.1.1 Recolección de datos

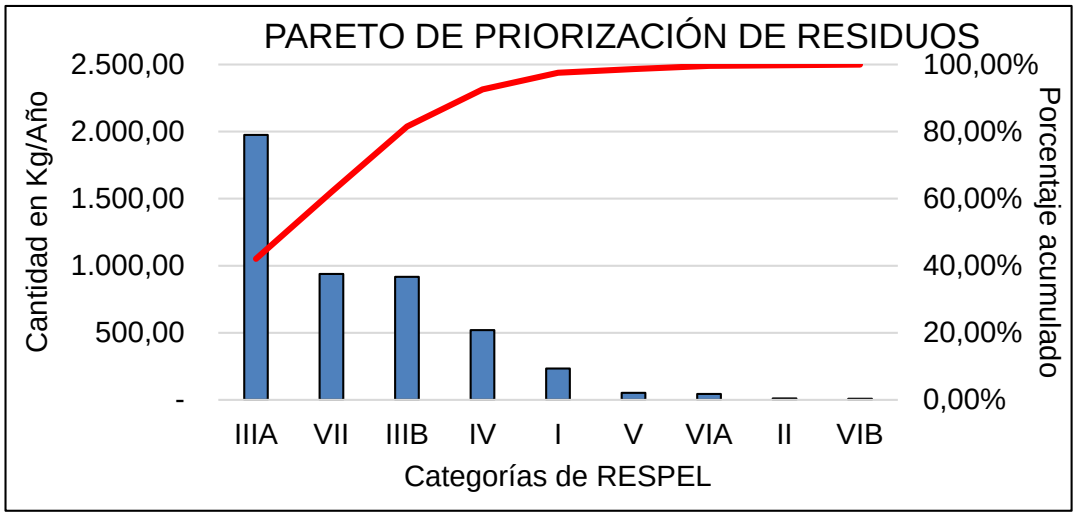
A partir de la información que se tiene de SOMA, en la Tabla 3 se encuentran cuantificadas las cantidades de RESPEL generadas en el 2018, utilizándose la nomenclatura expuesta en la Tabla 1 para categorizar los residuos generados, puesta en funcionamiento desde el año 2017, con la socialización dentro del personal de laboratorios para llevar a cabo un mejor registro cuantificado de los RESPEL asignados a unas categorías.

Tabla 3- Cuantificación de RESPEL para el año 2018 (Fuente: Autores)

CATEGORÍA DE RESPEL	Cantidad Individual
RESPEL IIIA Disoluciones acuosas orgánicas	1.975,39
RESPEL VII Especiales	938,30
RESPEL IIIB Disoluciones acuosas inorgánicas	917,06
RESPEL IV Ácidos y bases	520,00
RESPEL I Disolventes halogenados	233,08
RESPEL V Aceites	51,74
RESPEL VIA Sólidos orgánicos	43,44
RESPEL II Disolventes no halogenados	10,58
RESPEL VIB Sólidos inorgánicos	8,16
TOTAL CANTIDAD DE RESPEL	**4.697,75**

A partir de estos datos (Tabla 3) se realizó un Gráfico de Pareto (Figura 3) para identificar cuáles eran los RESPEL más significativos, con el fin de enfocar el proyecto hacia el tratamiento de estos residuos. A partir de este gráfico, se concluye que las categorías IIIA, VII, IIIB, IV y I representan un **97,58%** del total de RESPEL, sin embargo se concluye que las categorías I, II, IIIA, IIIB y IV son las categorías seleccionadas para tratar en él laboratorio. Cabe aclarar que, debido a la compatibilidad de los procesos de tratamiento requeridos para la categoría II con otras categorías y a su leve cantidad, ésta se puede incluir dentro de los residuos seleccionados para tratar en el laboratorio.

Figura 3- Grafico de Pareto aplicado a los RESPEL del año 2018 (Fuente: Autores)



Las categorías VIIA y VIIB se descartan por cantidad. Por otra parte, la categoría VII incluye una cantidad indefinida de residuos que no poseen características comunes y por tanto no existen tratamientos que compartan entre estos a pesar de ser la misma categoría. De manera similar, no es posible realizar ningún tratamiento para la categoría en la universidad según investigaciones realizadas por los auxiliares de la Facultad de Ciencias Naturales con las capacidades y equipos actuales. Partiendo del hecho de que estas investigaciones fueron el punto de partida de este proyecto, no se tomará en cuenta estas dos categorías: V y VII.

Para más detalles de los cálculos y el registro utilizado para obtener el gráfico de Pareto, dirigirse al archivo de Excel: **ANEXO 1 – Base de datos, hojas "HISTÓRICO RESPEL" y "ANÁLISIS DE DATOS"**.

5.1.2 Caracterización de los procesos de tratamiento

Simultáneo al proceso de adaptación de la nomenclatura descrito anteriormente, el grupo de auxiliares de la Facultad de Ciencias Naturales realizó la investigación de diferentes tratamientos que se pudieran llevar a cabo en las instalaciones de la universidad para cada una de las categorías de los RESPEL obteniéndose la Tabla 4, excluyéndose las categorías V, VIA, VIB y VII, esto debido a las exclusiones mencionadas en el párrafo anterior.

Tabla 4- Procesos de tratamiento de RESPEL
(Fuente: Autores)

PROCESO	RESPEL ASOCIADO				
	I	II	IIIA	IIIB	IV
Filtración		X	X	X	X
Destilación	X	X	X		
Neutralización	X	X	X		X
Precipitación		X	X		
Oxido-reducción	X	X	X	X	
Ozonólisis			X		
Reacción Fentón			X		

A continuación se describe brevemente en que consiste cada proceso:

1. **Filtración**: este proceso consiste en retiro o limpieza de sedimentación, producto de reacciones de precipitación pasadas.
2. **Destilación**: este proceso se utilizará para separar soluciones cuyos compuestos poseen diferentes puntos de evaporación.
3. **Neutralización**: consiste en llevar un ácido o base simple a un pH neutral que permita su vertimiento.
4. **Precipitación**: se trata de una reacción que da como resultado un sedimento.
5. **Reacción Fentón**: es una reacción en la que se descomponen molecular orgánicas consideradas como peligrosas.
6. **Ozonólisis**: es una reacción que reduce alquenos en cetonas, ácido carboxílico o aldehídos Para este proceso se requiere un reactor.

Finalizando el 2018 se realizó un piloto de tratamientos de residuos por parte del grupo de dichos auxiliares, asistido por los investigadores de este proyecto, para los **RESPEL IIIB, IV y VII**; este proceso permitió tratar **172,50 kg**, **520 Kg** y **17,5 Kg** respectivamente. Esto representó un **15,11% del total de residuos que se generaron** para ese año (2018).

Este proceso de tratamiento se realizó en el laboratorio 206L durante las vacaciones de final de año a cargo de 3 auxiliares de laboratorio de la Facultad de Ciencias Naturales junto con uno de los investigadores del proyecto en horario laboral, utilizando algunos de los procesos de la Tabla 4, presentados en el flujograma de la Figura 4.

Mediante esta prueba piloto también permitió realizar una toma de tiempo de los procesos descritos, permitiendo así estimar el tiempo del tratamiento de los residuos

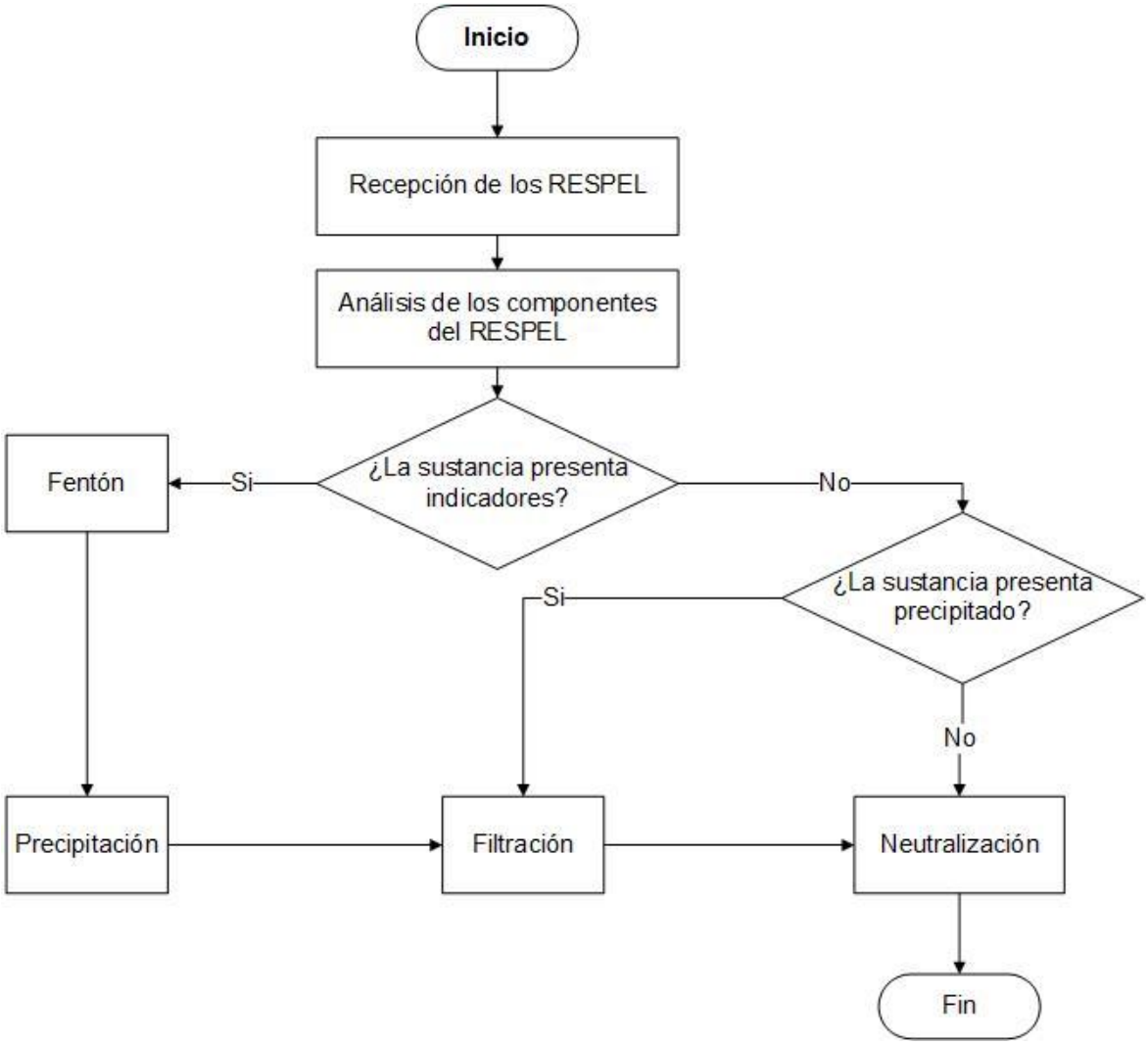


Figura 4- Procesos de tratamiento realizados en prueba piloto (Fuente: Autores)

tratados. Este proceso será parte clave de los procesos del laboratorio debido a la efectividad del proceso en los RESPEL utilizados en la prueba piloto.

Para más detalles de los tratamientos encontrados para tratar todas las categorías de RESPEL encontrados por la Facultad de Ciencias Naturales, dirigirse al archivo de Excel: **ANEXO 1 – Base de datos, hoja "LISTADO PROC. DE TRATAMIENTO".** Adicionalmente, en la **hoja "DATOS PRUEBA PILOTO"** se encuentran los tiempos tomados por los autores y utilizados para obtener los resultados expuestos en la **hoja "ANÁLISIS DE DATOS".**

5.1.3 Potencial de tratamiento

Debido a que algunos tratamientos están definidos para varias categorías de RESPEL, como se muestra en la Tabla 4, se realizó la estimación de la cantidad a tratar por cada proceso definido, siendo dicho monto la suma de las cantidades anuales por categoría tomando como base los datos registrados en el 2018. Debido a que los registros están en cantidades anuales, se realiza la conversión a cantidad mensual dado que se estima el funcionamiento del laboratorio durante todo el año. Los resultados de estas estimaciones se evidencian en la Tabla 5.

Tabla 5- Proporción de RESPEL por tratamiento (Fuente: Autores)

PROCEDIMIENTO	RESPEL					Total Anual (Kg)	RAZÓN Kg/Mes
	I	II	IIIA	IIIB	IV		
Filtración		10,58	1.975,39	917,06	520,00	3.423,03	304,27
Destilación	233,08	10,58	1.975,39			2.219,05	197,25
Neutralización	233,08	10,58	1.975,39		520,00	2.739,05	243,47
Precipitación		10,58	1.975,39			1.985,97	176,53
Electrolisis	233,08	10,58	1.975,39	917,06		3.136,11	278,77
Ozonólisis			1.975,39			1.975,39	175,59
Reacción Fentón			1.975,39			1.975,39	175,59

A partir de esto se determinó la capacidad total que deben tener os equipos, obteniéndose así también la capacidad total del laboratorio, siendo está de 1.551,47 kg de RESPEL por mes.

Para más detalles de los cálculos y el registro utilizado para obtener los valores de capacidad, dirigirse al archivo de Excel: **ANEXO 1 – Base de datos, hoja "ANÁLISIS DE DATOS"**.

5.1.4 Propuesta de diseño de laboratorio

A partir de los datos encontrados, se procedió a realizar la propuesta, constando esta de 4 partes: **Localización**, donde se seleccionó el lugar apropiado para ubicar el laboratorio dentro de la universidad; **Maquinaria**, donde se especificó que

maquinaria se requiere para cada proceso; **Personal**, donde se expresó el número óptimo de personas se requieren para la realización de esta labor, cuál será su remuneración, su horario y sus funciones; y **Distribución**, donde se indicó cual es la distribución del espacio. La evaluación económica de la propuesta se expondrá posteriormente en los resultados, sin embargo esta estará incluida en el entregable.

5.1.4.1 Localización

Para la localización del laboratorio de tratamiento se tuvieron en cuenta tres lugares en los que se podrían llevar a cabo las operaciones: El primero se encuentra a un costado del edificio L, en el actual almacén de RESPEL, con un área de 10 m^2 a la que se debe realizar una remodelación con el fin ampliar su tamaño a 66 m^2. El segundo, se encuentra al lado de la planta de compostaje en el edificio G, la cual cuenta con un área de 120 m^2 disponibles para realizar operaciones. El tercero, se encuentra a un lado del coliseo 2, el cual es una zona con un área de 66 m^2.

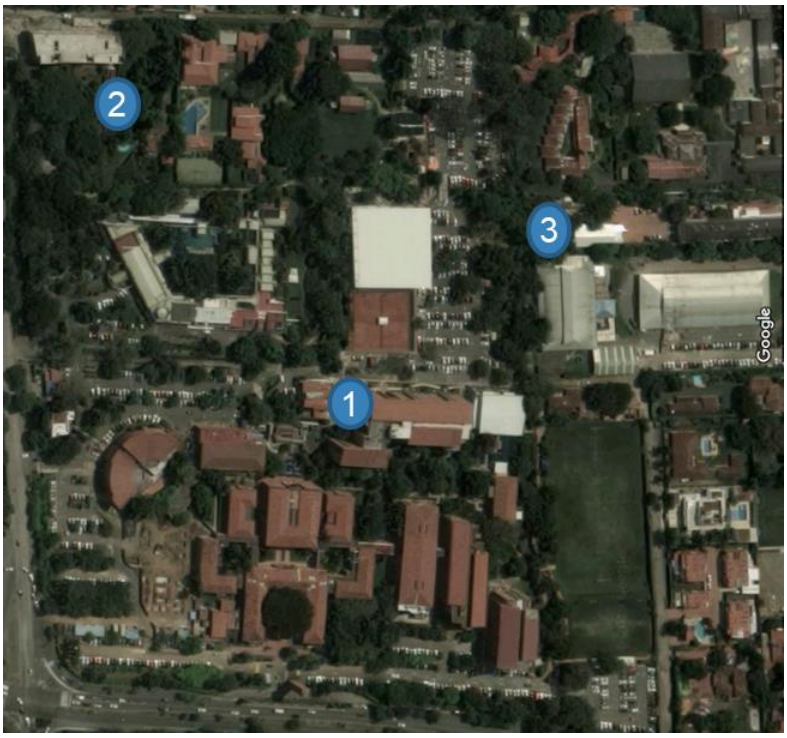


Figura 5 - Posibles ubicaciones del laboratorio (Fuente: autores).

El proceso de localización se llevó a cabo mediante el método de calificación de factores, donde se dan puntajes de uno a diez a varios factores que inciden en la

decisión de la localización acompañados de una ponderación acorde a su relevancia. Para este caso los factores seleccionados fueron:

a) **Costo**: Con una ponderación del 50%, nos indica cuánto costará construir en la zona o adecuarla para las operaciones. Este valor se obtiene a partir de un conjunto de cotizaciones para realizar la construcción de la infraestructura del laboratorio, o la remodelación del lugar (para el caso de la ubicación al costado del edificio L). Los valores hallados en la consulta, junto sus respectivas calificaciones por locación se evidencian en la Tabla 6.

Tabla 6- Costos de construcción o remodelación (Fuente: Autores)

Ubicación	Costo	Puntaje
Almacén	$ 24’413.341	10,00
Edificio G	$ 39’266.938	6,22
Edificio F	$ 39’266.938	6,22

La ecuación utilizada en el cálculo del puntaje, buscando el mayor puntaje para la construcción menos costosa, es la siguiente:

Ecuación 3- Cálculo de puntaje de costo (Fuente: Autores)

$$\boldsymbol{Puntaje\ i = \frac{Costo\ mínimo}{Costo\ i} * 10}$$

Para más detalles de los costos de las cotizaciones y las especificaciones de estas, dirigirse a los archivos PDF: **ANEXO 4 - Cotización Almacén y ANEXO 5 - Cotización Edificio G y F.**

b) **Distancia**: Con una ponderación del 20%, hace referencia a la distancia real entre el almacén y el lugar candidato. Este factor debe su importancia al tiempo de transporte y al esfuerzo del personal para transportar los residuos al lugar. El punto de referencia para la toma de distancia se encuentra en la salida del edificio L situada en frente de SOMA. Los resultados de mediciones se evidencian en la .

c) Tabla 7.

Tabla 7- Distancia hacia el laboratorio desde el punto de referencia (Fuente: Autores)

Ubicación	Distancia (m)	Puntaje
Almacén	10	10,00
Edificio F	191	0,52

Edificio G	380	0,26

La puntuación fue calculada bajo el mismo método del factor costo, buscando un puntaje mayor a la distancia más corta, mediante la ecuación:

Ecuación 4- Cálculo de puntaje de distancia (Fuente: Autores)

$$\boldsymbol{Puntaje\ i = \frac{Distancia\ mínimo}{Distancia\ i} * 10}$$

d) **Área**: Con un factor de 30%, indica el área del lugar seleccionado. Debe su importancia a la facilidad de las operaciones y a posibles ampliaciones del proyecto. En la tabla 8 se muestran las áreas y sus puntajes respectivos en cada una de las ubicaciones.

Tabla 8- Área de las ubicaciones (Fuente: Autores)

Ubicación	Ancho	Largo	Área (m^2)	Puntaje
Almacén	6	11	66	5,50
Edificio G	12	10	120	10,00
Edificio F	6	11	66	5,50

Debido a que se requiere un mayor puntaje para la mayor área, se cambió la fórmula utilizada en los factores anteriores y se replanteo de la siguiente manera:

Ecuación 5- Cálculo de puntaje de área (Fuente: Autores)

$$\boldsymbol{Puntaje\ i = \frac{Área\ i}{Área\ máxima} * 10}$$

La selección final de la ubicación del laboratorio se obtuvo de la suma de los puntajes de los factores anteriores multiplicados por su ponderación, dando como resultado al almacén como la mejor opción (ver Tabla 9).

Tabla 9- Calificación finales (Fuente: Autores)

Factores	Ponderación	Ubicaciones		
		Almacén	Edificio G	Edificio F
Costo	50%	10,00	6,22	6,22
Distancia	20%	10,00	0,26	0,52

Área	30%	5,50	10,00	5,50
Calificación final		**8,65**	**6,16**	**4,86**

5.1.4.2 Maquinaria

Cada proceso de los descritos en la Tabla 4 posee unos equipos necesarios para llevar a cabo las operaciones. En la Tabla 10 se videncia la cantidad de equipos necesarios por cada tratamiento a realizar Cabe resaltar que, si bien los procesos de Reacción Fentón, Ozonólisis y Precipitación requieren un reactor, este puede ser 1 solo reactor capaz de realizar el proceso de cada uno de los procedimientos anteriores.

Tabla 10- Listado de maquinaria y equipos por proceso (Fuente: Autores)

PROCESO	MÁQUINAS
Filtración	Filtro tipo Nutcha; Bomba de vacío
Destilación	Estufa de gas; Columna de destilación simple
Neutralización	Recipiente; Agitador; medidor de pH
Oxido-reducción	Fuente de poder; Ánodo; Cátodo; Recipiente de vidrio
Reacción Fentón	Calentador; Bomba centrífuga; Reactor
Ozonólisis	Reactor
Precipitación	Tanque de precipitado

A continuación se presentan las especificaciones de cada una de las máquinas presentadas en la Tabla 10 (vea Tabla 11). Dicha tabla contiene nombre, capacidad y precio de cada uno de los equipos.

Tabla 11- Selección de equipos y enseres (Fuente: Autores)

EQUIPO	REFERENCIA	COSTO INDIVIDUAL	CANTIDAD	TOTAL
Reactor	Green Distill JGR	$ 3’200.000	1	$ 3’200.000
Columna de destilación	Yayi TM156	$ 640.000	1	$ 640.000
Filtro	Toption TP-CL30L	$ 640.000	1	$ 640.000
Bomba de vacío	HUMMVAC8CFM 110/220	$ 1’493.900	1	$ 1’493.900
Bomba de propulsión	Flustem Ft0633 Hp	$ 75.990	2	$ 151.980
Calentador	SST boiler	$ 883.200	1	$ 883.200
Estufa	Estufa industrial	$ 730.000	1	$ 730.000
Agitador	Agitador D2004W	$ 310.256	1	$ 310.256
Fuente de poder	Inversor de corriente PowerJack	$ 659.777	1	$ 659.777
Mesón		$ 280.000	6	$ 1’680.000
Beaker	Glass Beaker pyrex	$ 121.000	10	$ 1’210.000
Recipiente de retorno	Tanque cónico de agua-COLEMPAQUES	$ 135.900	2	$ 271.800
Recipiente metálico	Olla Industrial Con Tapa 30,5x26.7 cm	$ 220.000	6	$ 1’320.000
Carrito transportador	Carrito de plataforma	$ 503.900	1	$ 503.900

Para más detalles de los costos de la maquinaria y las especificaciones de estas, dirigirse a los archivos de Excel: **ANEXO 1 – Base de datos, hoja “LISTADO MAQUINARIA Y EQUIPO”, y ANEXO 2 - Maquinaria.**

5.1.4.3 Personal

A partir de la prueba piloto realizada en los meses de diciembre del año 2018 y enero del año 2019, se tomó como referencia para estimar la cantidad de personas que podrían estar encargadas manejo del laboratorio. Para ello se calculó cual sería la cantidad idónea de personal que debería tener el laboratorio a partir de la cantidad, en kilogramos, de RESPEL a tratar y el tiempo, en horas, que se trabaja en el espacio. Los resultados de la prueba piloto se evidencian en la Tabla 12.

Tabla 12- Resultados prueba piloto (Personal) (Fuente: Autores)

PRUEBA PILÓTO		
CONCEPTO	**CANTIDAD**	**UNIDADES**
Cantidad RESPEL	710,0	kg
Auxiliares	3,0	Personas

PRUEBA PILÓTO		
CONCEPTO	**CANTIDAD**	**UNIDADES**
Días por semana	5,0	Días/Semana
Semanas totales	5,0	Semanas
Horas diarias	5,0	Horas/Día
Tiempo total	125,0	Horas
Personal requerido	0,5	(Personas*Hora)/Kg

Para el cálculo de la tasa “Personal requerido” se utilizó la Ecuación 6. La cantidad de tiempo total es equivalente a la multiplicación del total de horas diarias, por los días por semana, por las semanas totales dando como resultado una cantidad de horas.

Ecuación 6- Cálculo tasa personal de laboratorio (Fuente: Autores)

$$Personal\ requerido = \frac{Tiempo\ total * Auxiliares}{Cantidad\ RESPEL}$$

Se plantea entonces, con base en esa tasa y los datos obtenidos del año 2018, la cantidad de auxiliares necesarios para el funcionamiento del laboratorio, que cumplan las siguientes especificaciones o funciones:

- Título de Tecnólogo químico
- Jornada laboral de lunes a viernes, de 8 am hasta las 6 pm, con horario de almuerzo de 12 m a 2 pm y los días sábado de 8 am a 4 pm, con el mismo tiempo de almuerzo
- Funciones: alistar la maquinaria, llevar a cabo los tratamientos, reportar novedades, llevar registro de las actividades realizadas en este laboratorio
- Remuneración de $900000 COP más todas las prestaciones sociales ofrecidas por la Universidad Icesi

La cantidad de auxiliares resultante está evidenciada en la Tabla 13, y la ecuación que ese utilizó para encontrar esa cantidad de auxiliares es la Ecuación 7. Es necesario aclarar que la cantidad de kilogramos RESPEL que se evidencia en la Tabla 12 es la cantidad tratada en ese periodo de tiempo y la cantidad que se evidencia en la

Tabla 13 es la correspondiente a la suma de las cantidades de las categorías I, II, IIIA, IIIB y IV, para las cuales se va a diseñar el laboratorio.

Tabla 13- Resultados cálculo de auxiliares necesarios (Fuente: Autores)

PROPUESTA LABORATORIO		
CONCEPTO	**CANTIDAD**	**UNIDADES**
Cantidad RESPEL	3.656,1	kg
Semanas	47	Semanas
Meses	11,25	Meses
Horas	8	Horas/día
Días	6	días/semana
Tiempo total	2.162	Horas
Auxiliares requeridos	1	Personas

Ecuación 7- Cálculo de personal requerido (Fuente: Autores)

$$Auxiliares\ requeridos = \frac{Tasa\ personal\ requerido * Cantidad\ RESPEL}{Tiempo\ total}$$

Cabe resaltar que no se tomó en cuenta el personal actual de auxiliares de laboratorio debido a que con la carga laboral que estos poseen solo tienen un par de semanas disponibles, con las cuales se puede tratar una cantidad equivalente a la prueba piloto (710 kg de RESPEL) haciendo insuficiente la capacidad que se necesita (3.656,1 kg de RESPEL) por lo que se hace necesario la contratación de un nuevo auxiliar.

Para más detalles del cálculo del personal requerido para él laboratorio, dirigirse al archivo de Excel: **ANEXO 1 – Base de datos, hoja "ANÁLISIS DE DATOS".**

5.1.4.4 Distribución

Para diseño del laboratorio, se plantea una distribución por procesos debido a 2 factores: primero, muchos tipos de RESPEL comparten procesos para su tratamiento; y segundo, la variedad de sustancias que se pueden encontrar por categoría de RESPEL no representa una cantidad significativa. Para la realización del esquema de la distribución se contó con una variación del método CRAFT, que contempla la disposición de los pasillos en la distribución, la cual permite evaluar las distribuciones planteadas con base en el costo de transporte de las sustancias en proceso entre los distintos departamentos del laboratorio. En este método se multiplicaron las distancias rectilíneas entre las áreas de trabajo por los viajes (en cierto tiempo) y por el costo de desplazarse (por unidad de longitud) entre dichos departamentos siguiendo la siguiente ecuación:

Ecuación 8- Costo logístico de distribución (Fuente: Autores)

$$z = \sum_{j}^{m} \sum_{i}^{m} c_{ij} f_{ij} d_{ij}$$

Dónde:

- Z es el valor del costo logístico para cada distribución a evaluar.
- C es el costo de transportar una sustancia un metro entre el departamento i al j. Este factor no se tuvo en cuenta en la evaluación final pues en este caso, los costos son idénticos entre todos los departamentos, debido a que el transporte se hace de la misma forma en todos los casos.
- d, es la distancia entre i y j.
- f son el número de viajes recorridos en i y j por año.
- m es número de departamentos.

Para el cálculo del costo logístico, los viajes entre departamentos se calcularon dividiendo las cantidades de sustancia que se transportan entre los distintos departamentos al semestre por un lote de transferencia teórico de 10kg (cuyo valor lo afecta la calificación final). A su vez, dichos flujos se determinaron al agrupar los procesos en departamentos, para luego sumar las cantidades que se entregan entre ellos según la secuencia de los procesos por clase. La mejor distribución se presenta en la Figura 6.

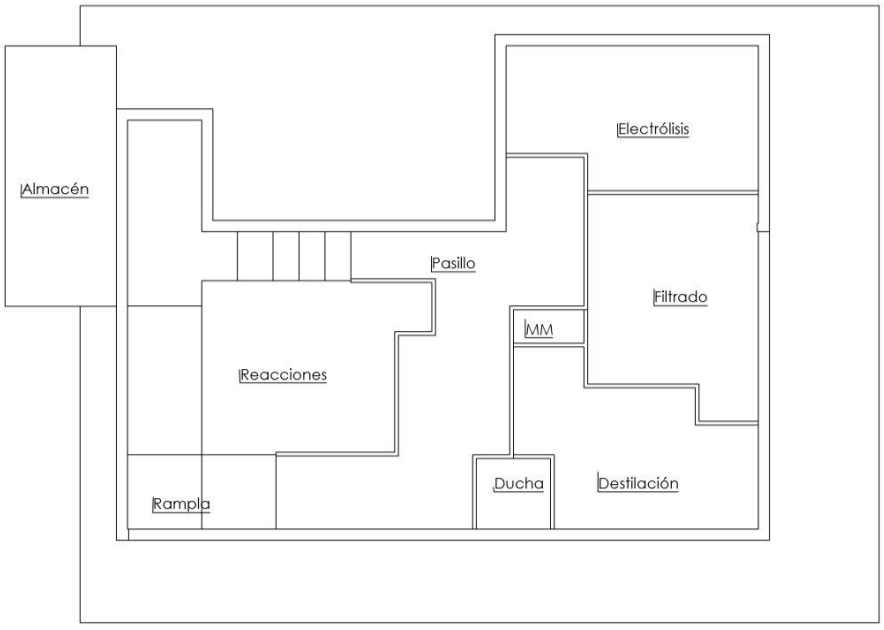
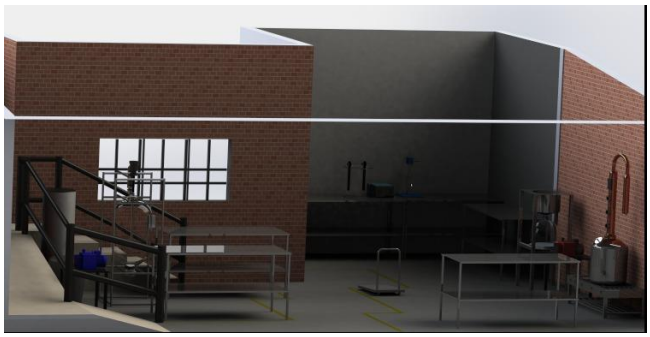


Figura 6 - Distribución del laboratorio (Fuente: Autores)

¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.A continuación, se presentan algunos renders de la representación 3D del laboratorio, modelado en el programa de SolidWorks:



Para más detalles del proceso de selección de la mejor distribución, dirigirse al archivo de Excel: **ANEXO 3 – Distribuciones.**

5.1.5 Análisis de Riesgo

El mayor riesgo que representa la propuesta es la estimación de la cantidad de kilogramos de RESPEL que se van a generar por año posterior al 2018. Este riesgo se debe a la poca cantidad de datos que se encuentran registrados en la oficina de SOMA, impidiendo realizar una estimación con base en cálculos de pronósticos. Sin embargo, existiendo el registro de los estudiantes matriculado en laboratorios y el registro de la cantidad de prácticas que se realizan por semestre, ambas con registros desde el año 2013 es posible realizar una estimación con base en la relación de la cantidad de RESPEL degenerado por las prácticas de laboratorio o de los estudiantes matriculados. Para realizar esta estimación, se analizó el coeficiente de variabilidad (CV= Desviación (σ) / Promedio ($\overline{X}$)) de ambas series de datos dando como resultado que ambas series son estables. Esto se evidencia en la Tabla 14.

Tabla 14- Análisis de coeficiente de variabilidad (Fuente: Autores)

CONCEPTO	DATOS						$\overline{X}$	σ	CV
AÑO	2013	2014	2015	2016	2017	2018			
PRÁCTICAS	165	163	182	175	215	220	187	23	12%
ESTUDIANTES MATRICULADOS	2.485	2.687	2.906	3.107	3.416	3.918	3.087	475	15%

Si bien la cantidad de prácticas es más estable que la cantidad de estudiantes matriculados, se utiliza la cantidad de estudiantes matriculados debido a que un estudiante puede estar matriculado en varias prácticas y adicionalmente, las prácticas no son homogéneas en cantidad de estudiantes, por lo que considerar que estudiante está repetido y la cantidad de estudiantes en cada práctica se vuelve un cálculo muy complejo. Con base en esas consideraciones, se realizaron 2 cálculos principales antes de efectuar el diagnóstico. El primero de estos fue encontrar la tasa promedio de kilogramos de RESPEL generados por cada estudiante, siendo esta igual a la cantidad de RESPEL dividida entre la cantidad de estudiantes, y utilizar el promedio de estas tasas para calcular el pronóstico de residuos. En la Tabla 15 se presentan los cálculos de estas tasas.

Tabla 15- Tasa histórica de Kg RESPEL/Estudiante (Fuente: Autores)

CONCEPTO	2015	2016	2017	2018
KG RESPEL	1.241	2.444	3.592	4.698
ESTUDIANTES MATRICULADOS	2.906	3.107	3.416	3.918
TASA KG/ESTUDIANTE	0,427	0,787	1,052	1,199

Con estas tasas, se llegó a resultado de **0,866 Kg/estudiante**, sin embargo, se utiliza una tasa de **1 kg/estudiante** debido a la representación de la tendencia de la cantidad de RESPEL. Ya habiendo calculado la tasa de kilogramos de RESPEL generados por estudiantes, se pronosticó mediante el método de suavización exponencial doble (debido a la tendencia creciente) la cantidad de estudiantes de este año y de los próximos 10 años, y con ese pronóstico y la tasa de kilogramos por estudiante se realiza la estimación de los kilogramos de RESPEL de este año y de los siguientes 10 años, el cual se presenta en la Figura 7.

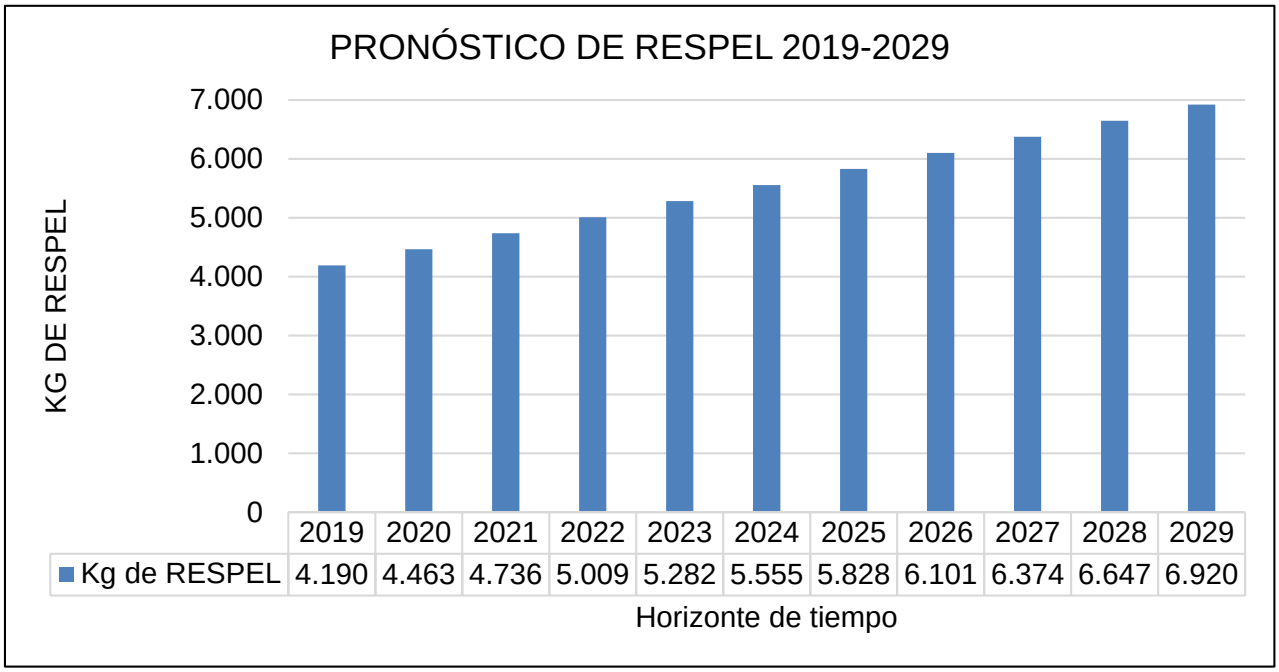


Figura 7- Pronóstico de RESPEL 2019-2029 (Fuente: Autores).

Para más detalles del pronóstico de la cantidad de RESPEL en el horizonte de tiempo, dirigirse al archivo de Excel: **ANEXO 1 – Base de datos, hoja "ANÁLISIS DE RIESGO".**

5.1.6 Evaluación económica y financiera

Para la realización de la evaluación se estimó el valor total de la compra de maquinaria y equipo, estimando una depreciación anual del 10% sin tener valor de salvamento. Igualmente, se estimó el costo de los bienes y enseres (infraestructura) del laboratorio, considerando una depreciación anual del 5%. Cabe destacar que el costo de la parte de infraestructura equivale a la compra de los mesones y a la remodelación, que fue el considerado en la sección de Localización, como el costo del almacén y por ende, si se requiere un examen detallado de a que se refiere este costo, dirigirse a los anexos ahí mencionados en dicha sección. Los resultados de este enfoque se pueden observar en la Tabla 16.

Tabla 16- Análisis maquinaria y equipo (con depreciación) (Fuente: Autores)

MAQUINARIA Y EQUIPO	
Maquinaria	$ 12.014.812,50
Depreciación de maquinaria	10%
Infraestructura	$ 24.413.341,00
Depreciación infraestructura	5%

Posterior a este, se calculó el valor del costo de la mano de obra. Se consideró el salario base, el auxilio transporte, las prestaciones, aporte a seguridad social y parafiscales. Para facilitar cálculos, se llevó todo a valores anuales. En la Tabla 17 se presentan los costos de mano de obra.

Tabla 17- Costos de mano de obra (Fuente: Autores)

SALARIO BASE		
Salario mensual	$	900.000
Auxilio de transporte	$	97.032,00
Salario base mensual	$	997.032,00
Salarios base anual	$	11’964.384,00
PRESTACIONES SOCIALES		
Cesantías	$	997.032,00
Intereses sobre cesantías	$	119.643,84
Primas	$	997.032,00
APORTES A LA SEGURIDAD SOCIAL		
Pensiones (AFP)	$	119.643,84
Salud (EPS)	$	84.747,72
Riesgos Laborales (ARL)	$	152.665,54
PARAFISCALES		
Caja de compensación familiar	$	39.881,28
GASTO DE NÓMINA INDIVIDUAL	$	14’475.030,22
AUXILIARES DE LABORATORIO		1
GASTO NÓMINA TOTAL	$	14’475.030,22

Se calculó el préstamo para financiar el 60% de la inversión inicial bajo una tasa del 8,5% efectiva anual, la cual es la tasa estimada a la que el banco le presta a la universidad. Los resultados de esta financiación se evidencian en la Tabla 18.

Tabla 18- Información de financiamiento (Fuente: Autores)

FINANCIACIÓN	
Monto total	$ 36.428.153,50
Porcentaje para financiar	60%
Monto financiado	$ 21.856.892,10
Tiempo	10
Interés	8,50%
Pago	$ 3.331.158,77

Posteriormente, teniendo los pronósticos de la cantidad de RESPEL que recibe el laboratorio, se realizó el cálculo de la cantidad de kilovatios hora (kWh) y la cantidad de gas (m^3) que utilizarán o requerirá la maquinaria del laboratorio y el costo de estos requerimientos utilizando las tarifas de la universidad ($541,43 COP por cada kWh y $2.364,73 COP por cada m^3). Seguidamente, se realizó el estado de resultados, donde los ingresos están proyectados como $10.000 COP por cada kilogramo de RESPEL.

Este ingreso se determinó así debido a que la finalidad del proyecto es evaluar cuanto se puede ahorrar la universidad en costos realizando el tratamiento ella misma. A estos ingresos se les resta los gastos de electricidad y gas, junto con la depreciación de los equipos y la nómina, obteniendo así la Utilidad operativa Antes de Intereses e Impuestos (UADII) a la cual se le están los intereses del banco y para obtener la Utilidad antes de impuestos y obtener la Utilidad neta (la cual es la Utilidad antes de impuestos menos el impuesto (33%) sobre esta).

Después de realizar estos cálculos de las utilidades netas en el horizonte de tiempo del proyecto, y teniendo como tasa de oportunidad (CCPP) un 20% se concluye que el proyecto es **VIABLE, PARA EL ESCENARIO SELECCIONADO** con base el VPN y la TIRN obtenida (ver Tabla 19).

Tabla 19- Resultados financieros del proyecto (Fuente: Autores)

CCPP	20%
VPN	$ 32’483.191
TIR	98,05%

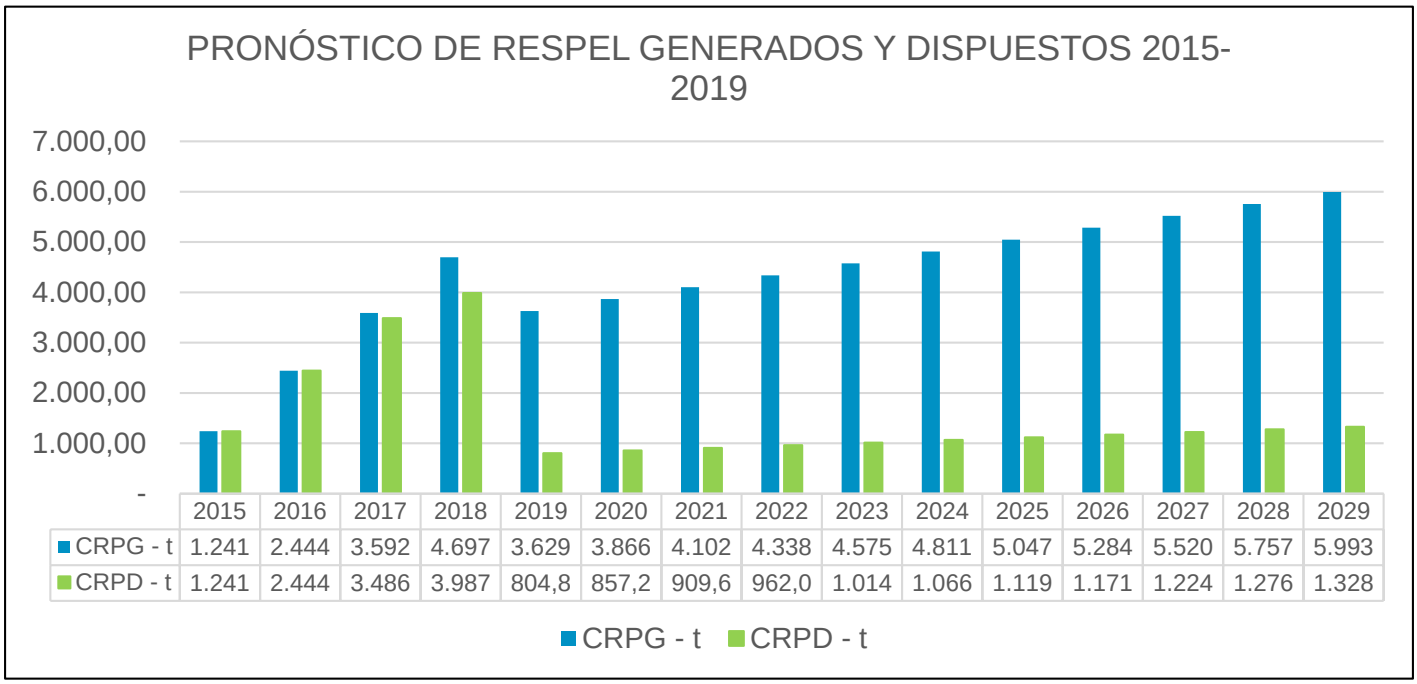
Adicionalmente, se calculó el periodo de recuperación de la inversión, siendo este lo expresado en la Tabla 20.

Tabla 20- Playback (Fuente: Autores)

RESUMEN DE RECUPERACIÓN	
Años	1,00
Meses	1,00
Días	29,00
Horas	10,99

Para más detalles de los costos, flujos de caja, depreciación y demás, dirigirse al archivo de Excel: **ANEXO 1 – Base de datos, hojas “ANÁLISIS ECONÓMICO” y “ANÁLISIS DE INFLACIÓN”.**

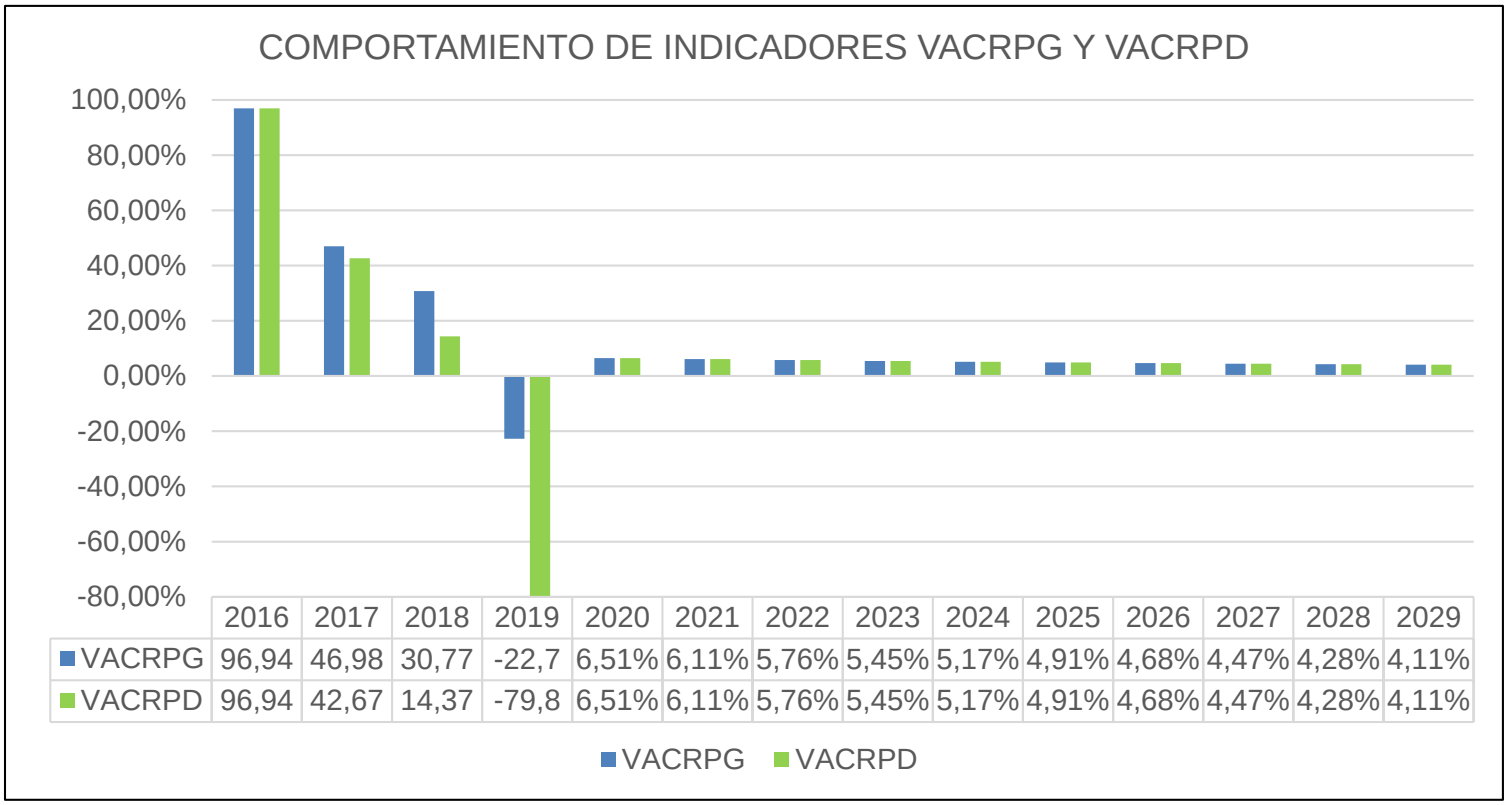
5.1.7 Evaluación de impacto ambiental



	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029
CRPG - t	1.241	2.444	3.592	4.697	3.629	3.866	4.102	4.338	4.575	4.811	5.047	5.284	5.520	5.757	5.993
CRPD - t	1.241	2.444	3.486	3.987	804,8	857,2	909,6	962,0	1.014	1.066	1.119	1.171	1.224	1.276	1.328

Figura 8 - Comportamiento RESPEL generados y dispuestos (Fuente: Autores)

Como se observa, la implementación de los pilotos diseñados por la Facultad de Ciencias Naturales para el tratamiento de residuos en el año 2018 y 2019, surtieron el efecto de generar variaciones entre las cantidades generadas y dispuestas, teniendo en cuenta las estimaciones de la capacidad del laboratorio para tratar residuos y el pronóstico de crecimiento de residuos, se puede estimar la medición de los indicadores propuestos por el IDEAM **VACRPD Y VACRPG**, para el periodo entre 2016 y 2029, el cual se muestra en la Figura 9. Como se puede ver durante el año 2019, tanto la variación de disposición como la de generación, decaen indicando así que las disposiciones y generaciones en estos fueron inferiores al año anterior, de las cuales, la que representa el descenso más vertiginoso es la disposición que, a su vez, se puede entender como el impacto de la implementación del laboratorio. Por otra parte, se evidencia que a partir de este año el VACRPD el VACRPG suben en conjunto al 7%, para después disminuir paulatinamente hasta llegar al 4%.Adicionalmente, se contó con la evaluación del impacto a partir del cálculo de la huella de carbono generada por el consumo de gas de los equipos.



	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029
VACRPG	96,94	46,98	30,77	-22,7	6,51%	6,11%	5,76%	5,45%	5,17%	4,91%	4,68%	4,47%	4,28%	4,11%
VACRPD	96,94	42,67	14,37	-79,8	6,51%	6,11%	5,76%	5,45%	5,17%	4,91%	4,68%	4,47%	4,28%	4,11%

Figura 9 - Indicadores IDEAM (Fuente: Autores)

Adicionalmente, se realizó la estimación de la huella de carbono, expresado en kilogramos (kg) de CO_2, y el consumo energético, expresado en Mega Julios (MJ), para cada año evaluado, los cuales serán presentados con los datos en promedio durante estos años. Debido a que resulta ser un poco confuso comprender a que equivale 1 kg de CO_2 por año o que es el equivalente a 1.000 MJ hemos generado las siguientes equivalencias gracias a un servidor online relacionado con la herramienta SolidWorks (http://www.solidworks.es/sustainability/products/calculator/index.htm).

Tabla 21 - Resultados CONSUMO ENERGÉTICO (Fuente: Autores)

CONCEPTO	PROMEDIO
Consumo energético	32.988,37 MJ
Días encendido un televisor	336
Años encendido un computador	9

Como resultado del indicador de consumo energético, evidenciado en la Tabla 21, se tiene que el resultado principal son los 32.988,37 MJ de electricidad anual, en promedio durante 10 años calculado a partir del cálculo del consumo energético y

de gas de los procesos, teniendo como base la prueba piloto. Como se mencionó anteriormente, usando nuestra herramienta obtuvimos que esto es equivalente a 336 días encendido un televisor o nueve años encendido un computador.

Tabla 22 - Resultados HUELLA DE CARBONO (Fuente: Autores)

CONCEPTO	PROMEDIO
Huella de carbono	177,86 KG DE CO_2
Equivalencia con gestor general	1%
Árboles necesarios para mitigar huella	34
Equivalencia de árboles necesarios con Icesi	8%

Como resultado de la huella de carbono, expresado en la Tabla 22, se evidencia que la huella producida por el laboratorio, a partir de la combustión de gas (la cual fue calculada para cada proceso a partir de la prueba piloto), es de 177,86 Kg de CO_2. Al realizar una investigación, encontramos que la huella de carbono producida por un gestor de este tipo de residuos es de aproximadamente 15.000 kg de CO_2, lo que deja como resultado que el laboratorio, en promedio durante los 10 años evaluados produciría el 1% de la huella de un gestor. En adición, se encontró que 34 árboles con los que mitigan la huella de carbono calculada. La universidad Icesi cuenta con aproximadamente 400 árboles, por lo que tiene la capacidad para mitigar la huella de carbono emitida utilizando un 8% de la cantidad de estos árboles.

Para más detalles de os cálculos de los indicadores ambientales, dirigirse al archivo de Excel: **ANEXO 1 – Base de datos, hojas "ANÁLISIS AMBIENTAL" y "CÁLCULO CONSUMO ENERGÍA Y GAS".**

5.2 Conclusiones

A partir del trabajo realizado durante el periodo de elaboración del proyecto, se llegó a las conclusiones que a continuación se expresan:

- El proyecto es económicamente viable para el escenario escogido y evaluado, según los datos de VPN ($ 32'483.191) y TIR (98,05%), con un tiempo de recuperación de inversión (no financiada) de 1 año, 1 mes y 30 días.
- A partir del análisis Pareto realizado con los datos históricos de generación, se llegó a la conclusión de que el laboratorio debe estar enfocado inicialmente en las categorías RESPEL I, II, IIIA, IIIB y IV, equivalentes al **77,83%** del total generado en la universidad, pues representaban la mayoría de los residuos y en sus tratamientos se compartían diferentes procesos.

- Según lo evidenciado en la Figura 9, la cantidad de RESPEL se va controlando y, si bien hay una disminución en el primer año del pronóstico, a partir de este se ve que hay una reducción en los porcentajes de ambos indicadores, permitiendo así concluir que la cantidad generada se estandariza con el tiempo al igual que la cantidad dispuesta.
- Mediante el método de localización de calificación de factores se concluye que la mejor ubicación del laboratorio es el actual almacén de RESPEL, por la cercanía al lugar de almacenamiento y el bajo costo que implicaría su construcción a un costado del edificio L.
- El número óptimo de personal requerido para la operación del laboratorio corresponde a un operario auxiliar, según la interpolación del recurso humano incurrido, durante la prueba piloto, en el tratamiento de los RESPEL, para tratar 3.700 kg al año aproximadamente.
- La capacidad de los equipos está diseñada para 1.600 kg por mes, según datos del 2018 y lo estimado teniendo como base la prueba piloto realizada.

5.3 Recomendaciones

Se realizan las siguientes recomendaciones relacionadas con este proyecto:

- Realizar un análisis de composición a las sustancias resultantes de cada proceso para así cerciorarse de que los procesos estén tratando las sustancias.

- Lograr que el laboratorio sea usado como lugar de práctica de conceptos de ingeniería industrial, no sólo a nivel operativo, sino en el desarrollo de proyectos propios de materias de la carrera como *Lean Manufacturing*, distribución de planta, calidad en las operaciones, procesos y procedimientos, entre otras. Para que así, se mejore el desempeño del laboratorio, mientras los estudiantes aprenden.

- Evaluar la factibilidad de llevar a cabo un plan conjunto de tratamiento de RESPEL con otras universidades del sector, logrando de esta manera aprovechar, de la mejor manera posible, la capacidad instalada del laboratorio.

- Efectuar una clasificación de RESPEL más detallada que la proporcionada por la NTP 480, con el fin de establecer una secuencia de tratamiento mejor ajustada a cada sustancia, lo que permitiría, mayor precisión en los distintos cálculos.

- Hacer un estudio de huella de carbono en las de las principales empresas gestoras de residuos peligrosos del sector, para así, poder contrastar el desempeño del laboratorio contra estas.

- Ampliar el análisis de huella de carbono realizado para el laboratorio, de tal manera que se tengan en cuenta más factores que pueden afectar dicho indicador.
- Se recomienda llevar a cabo un estudio para la implementación de las categorías de RESPEL V, VIA, VIB y VII.

BIBLIOGRAFÍA

Amaya, L W, Angel, M, Suarez, A, Orlando, N, & Morales, R (nd) PLAN DE NEGOCIOS PARA UNA EMPRESA DE GESTIÓN INTEGRAL BUSINESS PLAN FOR A COMPANY OF INDUSTRIAL WASTE INTEGRAL MANAGEMENT IN ELECTRICAL DISTRIBUTION SECTOR

Andarani, P, & Goto, N (2012) Preliminary Assessment of Economic Feasibility for Establishing a Households' E-Waste Treating Facility in Serang, Indonesia *International Journal of Environmental Science and Development*, *3*(6), 562–568 https://doiorg/107763/IJESD2012V3286

Benítez, R B, Ruiz G, D V, M, M A O, Miranda, C D, & M, J C G (2013) Gestión integral de residuos químicos generados en los laboratorios de docencia en química de la Universidad del Cauca *Revista Ciencia En Desarrollo*, *4*(2), 63–72 Retrieved from http://wwwscieloorgco/pdf/cide/v4n2/v4n2a08pdf

Bertini, L M, & Cicerone, D S (2016) Gestión de Residuos Generados en Laboratorios Universitarias con Participación Activa del Alumnado, (May)

Carrera, E G, & Solá, X G (nd) *NTP 276: Eliminación de residuos en el laboratorio: procedimientos generales* Retrieved from http://wwwinshtes/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/201a300/ntp_276pdf

Chaves, I L M (2016) *Informe clasificación, recolección y disposición final de residuos de laboratorio* Santiago de Cali

Icesi, U (2017) *Plan de Gestión integral de Residuos Peligrosos*

IDEAM (2016) *Informe Nacional de Desechos Peligrosos en Colombia - 2016*

Instituto Nacional de Ecología (nd) Retrieved October 1, 2018, from http://www2ineccgobmx/publicaciones2/libros/139/introduccionhtml

Mar, E, & Tutor, B (2006) TESIS DE GRADO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL Proyecto de inversión Planta de tratamiento Residuos Patológicos

Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial (2005) Decreto 4741 de 2005, 1–27

Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial (2007) Gestión integral de

residuos o desechos peligrosos

Ministerio de Ambiente, V y, & Desarrollo Territorial (2007) Gestión Integral de Residuos o Desechos Peligrosos Bases Conceptuales *Dirección de Desarrollo Sectorial Sostenible*, *1*(24), 186

Pinto, J A G (2018) Diseñar propuesta para disminuir la cantidad de residuos químicos en los laboratorios de las asignaturas de Farmacología II, análisis químico y contorl fisioquímico y microbiológico DE LA UNIVERSIDAD ICESI, 1–97

Salud ocupacional y medio ambiente, & APRODESA ONG (2017) Plan de gestión integral de residuos peligrosos

Único, C (2015) República de Colombia Formato Común de Hoja Metodológica de Indicadores Ambientales Variación anual de la cantidad de residuos o desechos peligrosos generados

US EPA, O (nd) Delisting a Hazardous Waste Retrieved September 25, 2018, from https://wwwepagov/hw/delisting-hazardous-waste