

**EVALUACIÓN DEL EFECTO TÓXICO EN EL AMBIENTE DE RESIDUOS
LÍQUIDOS OBTENIDOS EN EL LABORATORIO DE AGUAS DE ECOSAM S.A.S,
APLICANDO EL MÉTODO DE NEUTRALIZACIÓN**

CLAUDIA VANESSA BELEÑO OROZCO

Id. 00024491

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA SECCIONAL BUCARAMANGA
ESCUELA DE INGENIERÍAS Y ADMINISTRACIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL
BUCARAMANGA
2018

**EVALUACIÓN DEL EFECTO TÓXICO EN EL AMBIENTE DE RESIDUOS
LÍQUIDOS OBTENIDOS EN EL LABORATORIO DE AGUAS DE ECOSAM S.A.S,
APLICANDO EL MÉTODO DE NEUTRALIZACIÓN.**

CLAUDIA VANESSA BELEÑO OROZCO

Id. 000244917

Informe de práctica empresarial presentado como requisito para optar al título de:

INGENIERA AMBIENTAL

Supervisor Docente
PhD. Sandra Natalia Correa Torres

Supervisor Empresa
July Adriana Torres Velásquez

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA SECCIONAL BUCARAMANGA
ESCUELA DE INGENIERÍAS
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL
BUCARAMANGA
2018**

Dedicatoria

A mi abuelita Rosa, ojalá fueras eterna.

A mis padres y mi hermano, sin ustedes esto no habría sido posible.

Agradecimientos

A mi mamá y mi papá, por todo lo que me han enseñado, por su paciencia y amor, por inculcarme el ser responsable, a terminar lo que empiezo, por estar siempre ahí cuando lo necesito. Por eso y más los amo infinitamente.

A mi chofer personal, mi hermano, por levantarse a llevarme cuando tenía clase a las 6:00 am sin reprocharme, por ser siempre el que iba a comprarme los materiales que necesitaba.

Un agradecimiento muy especial a mi tío favorito, que me enviaba muestras de agua desde Barrancabermeja para los laboratorios de Microbiología. A mi tía Beny, por estar pendiente de ayudarme siempre que necesitaba información para algún proyecto. A la mejor abuelita del mundo, doña Rosa, mi amor por usted es tan grande que no lo puedo expresar con palabras, gracias por ser el pilar de nuestra familia. A mis tías, Elida y Deisy, y a mis primos.

A Natalia Ahumada, mi mejor amiga, gracias por más de 10 años de amistad, por enseñarme a soñar en grande y no conformarme con cualquier cosa.

A Karen y Adriana, por aguantarme todos estos años de universidad, por admirar las hermosas vistas conmigo.

A mis compañeros de ECOSAM, no pude llegar a una empresa mejor, gracias por hacer de este tiempo con ustedes el mejor, gracias por tantas y tantas risas.

A mis profesores, por compartir su conocimiento y por su paciencia, especialmente a mi directora Sandra.

Tabla de contenido

INTRODUCCIÓN.....	14
1. GENERALIDADES DE LA EMPRESA.....	17
1.1. Misión.....	17
1.2. Visión.....	18
1.3. Política de calidad.....	18
1.4. Estructura organizacional.....	18
2. DIAGNÓSTICO DE LA EMPRESA.....	20
3. DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA	21
4. ANTECEDENTES	23
5. JUSTIFICACIÓN.....	26
6. OBJETIVOS	28
6.1. Objetivo general.....	28
6.2. Objetivos específicos.....	28
7. MARCO TEÓRICO.....	29
7.1. Marco legal.....	29
7.2. Residuos peligrosos.....	30
7.2.1. Lista de residuos peligrosos	31
7.2.2. Características de peligrosidad	32
7.2.3. Tratamiento y disposición final	37
7.3. Toxicología.....	39
7.3.1. Ecotoxicología	40
8. METODOLOGÍA.....	43
8.1. Diagnóstico de los residuos generados en el laboratorio de aguas de ECOSAM S.A.S.....	43
8.1.1. Almacenamiento de los residuos líquidos peligrosos generados en el laboratorio .	44
8.2. Tratamiento químico de neutralización de los residuos.....	44
8.2.1. Fenoles	45
8.2.2. Nitrógeno amoniacal.....	46
8.2.3. Nitritos y nitratos	47
8.2.4. Fósforo total.....	48
8.2.5. Sulfatos.....	49
8.2.6. Metales.....	50
8.2.7. Alcalinidad y dureza	51

8.2.8.	Grasas y aceites, dureza, alcalinidad.....	52
8.2.9.	Cloruros	53
8.2.10.	Análisis de DQO y DBO	54
8.3.	Análisis de la toxicidad del residuo tratado	57
8.3.1.	Análisis de parámetros fisicoquímicos	57
8.3.2	Ensayo ecotoxicológico de los residuos tratados.....	58
8.3.3	Curva dosis-respuesta	60
8.4.	Programas para la gestión de residuos peligrosos.....	62
9.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	63
9.1.	Diagnóstico de los residuos generados en el laboratorio de aguas de ECOSAM S.A.S.....	63
9.1.1.	Cuantificación de los residuos.....	64
9.1.2.	Características de peligrosidad	67
9.1.3.	Condiciones de almacenamiento de los residuos peligrosos generados.....	72
9.2.	Tratamientos de neutralización de los residuos	77
9.2.1.	Costo de neutralización.....	77
9.2.2.	Neutralización del residuo	79
9.3.	Análisis de la toxicidad del residuo tratado	80
9.3.1.	Análisis de los parámetros fisicoquímicos.....	80
9.3.2.	Ensayo ecotoxicológico de los residuos tratados.....	84
9.3.3.	Curva dosis-respuesta	89
9.4.	PROGRAMAS PARA LA GESTIÓN DE LOS RESIDUOS PELIGROSOS	95
9.4.1.	Programa para la gestión interna de los residuos.....	95
9.4.2.	Programa para el uso racional de los productos químicos	96
9.4.3.	Programa para el tratamiento de residuos líquidos peligrosos generados en el laboratorio de aguas	97
9.4.4.	Programa para el almacenamiento de los residuos peligrosos	98
9.4.5.	Programa para la gestión externa de los residuos peligrosos.....	99
10.	CONCLUSIONES	101
11.	RECOMENDACIONES	103
12.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	104
ANEXO A.	110
ANEXO B.	111
ANEXO C.	116

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Procedimiento parámetros analizados.....	57
Tabla 2. Composición de los residuos generados en el laboratorio de aguas de ECOSAM S.A.S.....	64
Tabla 3. Características de peligrosidad de las sustancias usadas en cada procedimiento.....	67
Tabla 4. Compatibilidad de los residuos generados	72
Tabla 5. Condiciones de diseño de almacenamiento de Respel.....	73
Tabla 6. Costo de tratamiento por análisis.....	77
Tabla 7. pH de los residuos	79
Tabla 8. Datos obtenidos de pH.....	80
Tabla 9. Datos obtenidos de DQO	81
Tabla 10. Datos obtenidos de sulfatos.....	81
Tabla 11. Datos obtenidos de dureza cálcica	82
Tabla 12. Datos obtenidos de dureza total	82
Tabla 13. Datos obtenidos Alcalinidad.....	83
Tabla 14. Datos obtenidos cloruros	83
Tabla 15. Datos obtenidos de fósforo total	84
Tabla 16. Elongación de la radícula.....	87
Tabla 17. Elongación del hipocotilo	88
Tabla 18. Promedio radícula e hipocotilo.....	90
Tabla 19. % de inhibición de las semillas	90
Tabla 20. Datos modelo Probit.....	92
Tabla 21. Coeficientes análisis Probit	92
Tabla 22. Programa para la gestión interna de los residuos.....	95
Tabla 23. Programa para el uso racional de los productos químicos.....	96
Tabla 24. Programa para el tratamiento de Respel líquidos del laboratorio de aguas	97
Tabla 25. Programa para el almacenamiento de los residuos peligrosos	98
Tabla 26. Programa para la gestión externa de los residuos peligrosos.....	99

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Procedimiento neutralización de residuos de fenoles.....	45
Figura 2. Procedimiento neutralización de residuos de nitrógeno amoniacal	46
Figura 3. Procedimiento neutralización de residuos de nitritos y nitratos	47
Figura 4. Procedimiento neutralización de residuos de fósforo	48
Figura 5. Procedimiento neutralización de residuos de sulfatos.....	49
Figura 6. Procedimiento neutralización de residuos de metales.....	50
Figura 7. Procedimiento neutralización de residuos de alcalinidad y dureza	51
Figura 8. Procedimiento neutralización de residuos de grasas y aceites, dureza y alcalinidad	52
Figura 9. Procedimiento neutralización de residuos de cloruros	53
Figura 10. Procedimiento neutralización de residuos de DBO/DQO (1)	54
Figura 11. Procedimiento neutralización de residuos de DBO/DQO (2)	55
Figura 12. Procedimiento neutralización de residuos de DBO/DQO (3)	56
Figura 13. Procedimiento bioensayo con lechuga	58
Figura 14. Esquema plántula al finalizar periodo de exposición.	60
Figura 15. Etiquetado de los residuos del laboratorio de aguas.	63
Figura 16. Vista superior del área de almacenamiento de residuos tóxicos peligrosos.....	75
Figura 17. Vista lateral del área de almacenamiento de residuos tóxicos peligrosos	76
Figura 19. Medición del pH.....	79
Figura 20. Siembra de semillas	84
Figura 21. Montaje bioensayo con diluciones.....	85
Figura 22. Almacenamiento del bioensayo.....	85
Figura 23. Germinación de las semillas.....	86
Figura 24. Medición del hipocotilo y radícula.....	87

LISTA DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Cantidad de residuos líquidos tóxicos generados en ECOSAM	66
Gráfica 2. Porcentaje de residuos líquidos generados con características de peligrosidad	69
Gráfica 3. Elongación de la semilla vs. concentración del residuo	89
Gráfica 4. Curva dosis-respuesta	91

LISTA DE ECUACIONES

Ecuación 1. % inhibición de la elongación de la radícula	60
Ecuación 2. % inhibición de la elongación del hipocotilo	61
Ecuación 3. % inhibición de la germinación	61
Ecuación 4. Análisis Probit.....	93
Ecuación 5. Cálculo CI_{50}	93
Ecuación 6. CI_{50} del residuo neutralizado	93

RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

TITULO: EVALUACIÓN DEL EFECTO TÓXICO EN EL AMBIENTE DE RESIDUOS LÍQUIDOS OBTENIDOS EN EL LABORATORIO DE AGUAS DE ECOSAM S.A.S, APLICANDO EL MÉTODO DE NEUTRALIZACIÓN

AUTOR(ES): Claudia Vanessa Beleño Orozco

PROGRAMA: Facultad de Ingeniería Ambiental

DIRECTOR(A): Sandra Natalia Correa Torres

RESUMEN

En ECOSAM se realizan análisis de calidad de aguas para parámetros como alcalinidad, DBO, DQO, nitritos, nitratos, sulfatos, fósforo total, sólidos suspendidos, sólidos totales, entre otros. De estos análisis, se generan residuos que son considerados peligrosos ya que contienen sustancias químicas como ácido sulfúrico, ácido nítrico, hexano entre otros. Para disminuir la toxicidad de los residuos líquidos tóxicos generados por la empresa, se analizaron metodologías, entre ellas se seleccionó la neutralización y así poder darles una correcta disposición final. Adicionalmente en el desarrollo de la práctica se compararon los precios en el tratamiento de 1 Litro de residuo líquido tóxico generado por cada procedimiento propuesto, con lo que paga ECOSAM a otra empresa para su disposición final. Entre los resultados se determinó que es más viable tratar los residuos de alcalinidad, grasas y aceites y dureza (total y cálcica), ya que el costo de aplicación del tratamiento en general para un litro de residuo es de \$45.00 pesos moneda corriente, comparado con el de la disposición final que es de \$2,600.00. Luego de realizarse la neutralización se analizaron parámetros fisicoquímicos en los residuos tratados como: pH, DQO, Cloruros, Sulfatos, Alcalinidad y Fósforo Total, que fueron comparados con el artículo 16 de la resolución 631 de 2015, para vertimientos al alcantarillado. El residuo neutralizado cumplió con la normativa, por lo que se podía verter sin causar problemas al sistema. Por último, se realizó un bioensayo con semillas de Lactuca sativa (lechuga) para determinar la toxicidad del residuo líquido tratado y se determinó que este no era tóxico, encontrándose un porcentaje de germinación del 80% para una concentración del 100% del residuo y una CI50 de 300%. Adicionalmente se propone un diseño para el área de almacenamiento y algunos programas para la gestión de los residuos peligrosos que se generan.

PALABRAS CLAVE:

Respel, almacenamiento de residuos, neutralización, bioensayo, fitotoxicidad, CI50

V° B° DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

GENERAL SUMMARY OF WORK OF GRADE

TITLE: EVALUATION OF THE TOXIC EFFECT IN THE ENVIRONMENT OF LIQUID WASTES OBTAINED IN THE ECOSAM S.A.S WATER LABORATORY, APPLYING THE NEUTRALIZATION METHOD.

AUTHOR(S): Claudia Vanessa Beleño Orozco

FACULTY: Facultad de Ingeniería Ambiental

DIRECTOR: Sandra Natalia Correa Torres

ABSTRACT

ECOSAM performs water quality analyses for parameters such as alkalinity, BOD, COD, nitrites, nitrates, sulphates, total phosphorus, suspended solids, total solids, among others. From these analyses, wastes are generated that are considered hazardous waste because they contain chemical substances such as sulfuric acid, nitric acid, hexane, among others. In order to reduce the toxicity of the toxic liquid wastes generated by the company, methodologies were analyzed, among them neutralization was selected so that they could be disposed of correctly. Additionally, in the development of the practice, prices were compared in the treatment of 1 Litre of toxic liquid waste generated by each proposed procedure, with what ECOSAM pays to another company for its final disposal. Among the results, it was determined that it is more viable to treat alkalinity waste, fats and oils and hardness (total and calcium), because the cost of applying the treatment in general for a liter of waste is \$45.00 pesos, compared to the final disposal which is \$2,600.00 pesos. After the neutralization was carried out, physicochemical parameters were analyzed in the treated residues such as: pH, COD, Chlorides, Sulphates, Alkalinity and Total Phosphorus, which were compared with article 16 of resolution 631 of 2015, for discharges to the sewer system. The neutralized waste complied with the regulations, so it could be discharged without causing problems to the system. Finally, a bioassay was carried out with seeds of *Lactuca sativa* (lettuce) to determine the toxicity of the treated liquid waste and it was determined that this was not toxic, finding a germination percentage of 80% for a concentration of 100% of the waste and a IC50 of 300%. Additionally, a design is proposed for the storage area and some programs for the management of the hazardous wastes generated.

KEYWORDS:

Hazardous waste disposal, storage, neutralization, bioassay, phytotoxicity, IC50

V° B° DIRECTOR OF GRADUATE WORK

INTRODUCCIÓN

La contaminación de fuentes hídricas se está convirtiendo cada día en un problema que ha tomado mayor relevancia, debido al gran impacto que causa en el ambiente, por lo cual, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible creó una normativa de vertimiento que busca reducir y controlar las sustancias contaminantes que llegan a las fuentes hídricas y al sistema de alcantarillado público, para aportar al mejoramiento de la calidad del agua (MADS, 2015). Esta norma es la Resolución 0631 de 2015 que establece los parámetros y valores máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público.

Para cumplir con la Resolución 0631 de 2015 se necesita minimizar los residuos líquidos peligrosos generados por las empresas para así prevenir la contaminación de aguas superficiales, de sistemas de alcantarillado público e incluso la contaminación interna del laboratorio o lugar de almacenamiento de los residuos tóxicos. Sin embargo, para lograr minimizar el residuo tóxico líquido generado por una empresa se necesita reducir el volumen de los reactivos empleados en los análisis. Si no se logra minimizar el uso de reactivos que generan residuos, el siguiente paso es tratar estos residuos y darles una adecuada disposición final. Los tratamientos pueden ser usados para reducir el volumen, movilidad y/o toxicidad de residuos peligrosos.

La Empresa Colombiana con Soluciones Ambientales (ECOSAM S.A.S), ubicada en la ciudad de Bucaramanga, dentro del sistema de gestión integral contempla la disposición de los residuos tóxicos y peligrosos, generados por sus laboratorios, por DESCONT quienes se encargan de hacer la disposición final según cada tipo de residuo. Algunos de los residuos líquidos que se generan en el laboratorio de aguas pueden ser vertidos al alcantarillado posterior a un tratamiento químico, como la neutralización.

En la resolución 631 de 2015 se especifican los límites máximos permisibles para parámetros como el pH, DQO, sulfatos, cloruros, entre otros. Específicamente, el Artículo 16 de la resolución hace referencia a vertimientos al alcantarillado, el cual aplica para ECOSAM. De los residuos peligrosos generados en los análisis de DQO, grasas y aceites, durezas, alcalinidad, cloruros, metales, sulfatos, nitritos, nitratos, nitrógeno amoniacal, fenoles y fósforo, algunos pueden ser vertidos al alcantarillado si pasan por un tratamiento previo para disminuir su peligrosidad y si cumplen con la normativa vigente.

Para poder establecer si una sustancia o en este caso, residuo líquido, es tóxico para el ambiente, existen pruebas de toxicidad con distintos sujetos de pruebas (plantas, animales o personas que se someten a experimentos), dependiendo el tipo de sustancia que se quiera analizar. Para establecer la toxicidad de muestras ambientales de agua o vertimientos, se realizan bioensayos, utilizando semillas de *lactuca sativa* (lechuga), algas, insectos, entre otros, como

indicadores de toxicidad, para determinar si al estar en contacto con el vertimiento, inhiben su crecimiento.

1. GENERALIDADES DE LA EMPRESA

La Empresa Colombiana con Soluciones Ambientales (ECOSAM SAS) nace como parte de la visión consensuada de un grupo de profesionales afines al sector ambiental, con el fin de ofrecer un servicio más completo, personal e íntegro a cualquier cliente potencial en el territorio nacional (ECOSAM SAS, n.d.-b).

ECOSAM ofrece a los clientes servicios en: monitoreos y análisis de laboratorios (agua, aire, suelo); asesoría, diseño y control en infraestructuras; asesoría e implementación de la normatividad vigente; y asesoría y ejecución en planes de gestión ambiental.

1.1. Misión

Proporcionar a nuestros clientes un servicio óptimo y de calidad en todos los procesos de toma y análisis de muestras ambientales, asesorías, planes de gestión ambiental, interpretación de resultados, diseños y gestión de procesos. Poniendo a su disposición herramientas, personal y tecnología que, al ser optimizadas continuamente, satisfagan de forma confiable los requerimientos ambientales que necesiten cumplir (ECOSAM SAS, n.d.-a).

1.2. Visión

Para el año 2019 ser reconocida como la empresa ambiental líder en el oriente colombiano por su calidad profesional y humana, al consolidar procesos innovadores de análisis, investigación y asesorías, comprometidos responsablemente con el continuo desarrollo sostenible del país (ECOSAM SAS, n.d.-a).

1.3. Política de calidad

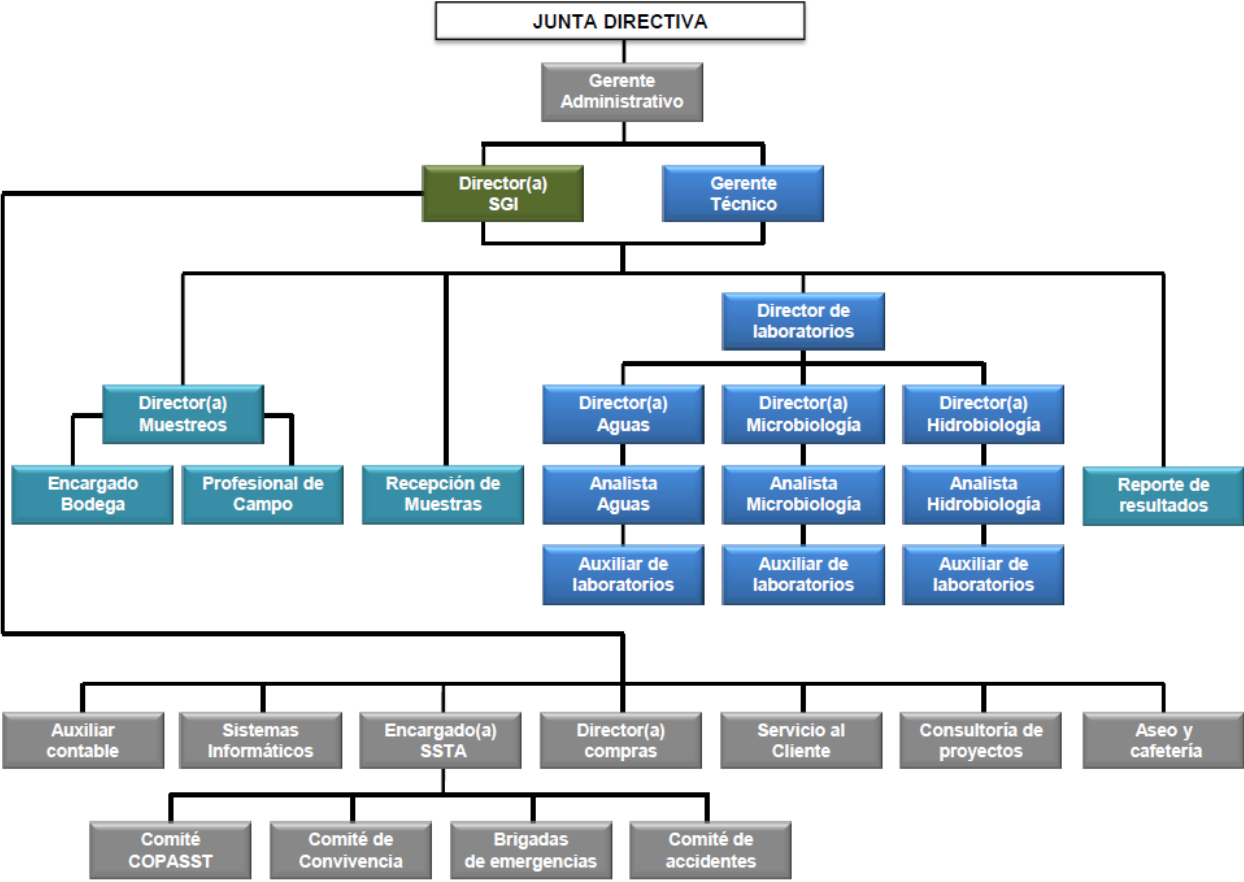
Ofrecer un servicio completo, personal e íntegro a cualquier cliente potencial del territorio nacional mediante la capacidad y experiencia técnica complementada con un profundo y serio manejo del área administrativa y comercial que le permita apreciar a sus clientes fluida atención para desenvolver eficazmente todas sus necesidades relacionadas (ECOSAM SAS, n.d.-a).

1.4. Estructura organizacional

La estructura que se maneja en ECOSAM se representa en el gráfico 1. El área administrativa (Gris) se encarga de la relación con los clientes y otros laboratorios cuando es necesario subcontratar algunos análisis que no están acreditados en la empresa. El área técnica (Azul), al que pertenecen los profesionales de campo, quienes se encargan de realizar la toma de muestras; y

los analistas, que realizan los análisis requeridos en el laboratorio correspondiente (aguas, hidrobiología y microbiología). El sistema de gestión integrado (Verde) es el encargado del sistema de gestión de calidad y asegurar que todo en la empresa se realice en óptimas condiciones.

Gráfico 1. Organigrama ECOSAM S.A.S



Fuente: Manual SGI ECOSAM

2. DIAGNÓSTICO DE LA EMPRESA

Entre el sistema de gestión integral de la empresa, se contempla la correcta disposición de los residuos sólidos que se generan, es por esto por lo que se cuenta con un punto ecológico donde están las canecas según cada tipo de residuo. En la bolsa verde se disponen los ordinarios, azul para plástico, gris para papel y cartón, y la roja para los residuos sólidos peligrosos que se generan dentro de los laboratorios y el área de recepción de muestras.

Dentro del laboratorio de aguas también se generan residuos líquidos peligrosos, que se producen en los diferentes análisis fisicoquímicos que se realizan. Estos residuos se almacenan en recipientes plásticos de 12 L, separándolos de acuerdo con el análisis en el que se generaron, ver anexo A.

Cuando un recipiente se llena, se lleva un registro donde se escribe el análisis en el que fue generado, la fecha y la persona encargada de llevar el recipiente a la bodega, posteriormente son re-embasados en recipientes de 5 galones, quedando así a disposición de la empresa recolectora.

Los residuos ordinarios tienen como disposición final el relleno sanitario, de esto se encarga la empresa de aseo correspondiente al sector donde se encuentra ECOSAM. Los residuos peligrosos tanto sólidos como líquidos se entregan a DESCONT para su disposición final.

3. DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA

En los tres laboratorios de ECOSAM (aguas, microbiología e hidrobiología) se producen residuos líquidos provenientes de los análisis fisicoquímicos, microbiológicos e hidrobiológicos, y en algunos casos, muestras de agua que se descartan, pero solo los del laboratorio de aguas se neutralizarán debido a que para los análisis de las muestras se utilizan sustancias químicas, lo que les da el carácter de peligrosos.

Los análisis en los que son producidos los residuos líquidos son: cloruros, fósforo total, fenoles, grasas y aceites, DBO, DQO, alcalinidad, sulfatos, nitritos, nitratos, nitrógeno amoniacal, durezas y metales.

De acuerdo con la cantidad de reactivos a usar en el tratamiento, según la metodología encontrada, se compara el costo de tratar 1 L de residuo de cada análisis, con el que se le paga a Descont para su disposición final y, si es viable económicamente, en cuanto a que el precio del tratamiento sea menor al otro, se determina si es posible aplicar el tratamiento al residuo.

A los residuos líquidos tóxicos que se les realiza el tratamiento para disminuir sus características de peligrosidad se analizan los parámetros fisicoquímicos para determinar si cumplen con los límites establecidos en la normativa Colombiana para vertimientos al alcantarillado. Adicionalmente, se evalúa la fitotoxicidad, posterior a la neutralización. Con esto, se determina si el residuo líquido tóxico al estar en contacto con plantas en un bioensayo, en este

caso semillas de *Lactuca sativa* (lechuga), puede inhibir su germinación, puesto que este experimento es recomendado por varios organismos de protección ambiental, entre ellos la Environmental Protection Agency (EPA).

En esta práctica se propuso un diseño para la implementación de un área de almacenamiento que cumpla con los requerimientos del Ministerio de ambiente en cuanto al almacenamiento temporal de los Residuos peligrosos (Respel) dentro de la empresa.

4. ANTECEDENTES

Para evitar desastres ambientales ocasionados por no disminuir la toxicidad de los residuos peligrosos, es importante tratar estos residuos, en este caso los generados en los análisis ambientales de aguas para posteriormente verterlos al alcantarillado sin ocasionar problemas a futuro.

López-galán (2006) logró precipitar entre el 40 – 98% de la Ag, Hg y Cr en los residuos generados en análisis de DQO, con el fin de poder verter los residuos al alcantarillado sin que generaran problemas en el sistema.

Flores, Valladares, & Villegas (2013) aplicaron tratamientos de separación, aislamiento y desactivación mediante la precipitación, destilación y neutralización de los residuos generados en 16 análisis de calidad de agua en el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales de El Salvador, donde se logró disminuir en más del 90% la concentración de algunos compuestos como el cianuro y el cromo hexavalente, encontrados en los residuos.

Mañunga, Gutiérrez, Victoria, & Díaz, (2010) trataron los residuos de DQO generados en los laboratorios de Biotecnología Ambiental, Aguas y Residuos Ambientales y Química Ambiental, pertenecientes al área académica de Ingeniería Sanitaria y Ambiental de la Universidad del Valle. Lograron reducir el cromo hexavalente a cromo (III) en un 99,7% usando glucosa al 50%. Posteriormente redujeron la plata en un 99,9% agregando NaCl. Luego, el mercurio en un 99,99%

adicionando FeS y por último redujeron el cromo (III) en un 99,9% añadiendo NaOH. El residuo líquido final fue vertido al alcantarillado según el Decreto 1594 de 1984.

Bohórquez Echeverry & Campos Pinilla (2007) realizaron una prueba de toxicidad con semillas de lechuga y *selenastrum capricornutum* como sujetos de prueba, para muestras ambientales de la PTAR El Salitre. En algunos casos encontraron que la CI_{50} fue del 100% para la lechuga.

Lallana, Billard, Elizalde, & Lallana, (2008) realizaron bioensayos de germinación con semillas de *Lactuca Sativa Var. Mantecosa.*, para determinar la calidad del agua de 19 represas. El índice de germinación en todos los casos fue superior al 60% y no se detectó toxicidad en las muestras estudiadas.

Pinto (2009) realizó una prueba de toxicidad con semillas de *Lactuca sativa* para determinar la concentración de inhibición media del cromo presente en el agua residual de una industria galvánica. Para esto hizo un bioensayo con el agua residual sin tratar y encontró que la CI_{50} del cromo era una concentración de 48,72%. Posteriormente, caracterizó el vertimiento, analizando los parámetros de pH, DBO, DQO y SST, luego hizo un pretratamiento (a escala laboratorio) al agua residual para disminuir la concentración del Cr y realizó nuevamente el ensayo ecotoxicológico, donde se determinó que esta vez la CI_{50} fue de 60,25%. Por último, concluyó que el pretratamiento fue efectivo porque logró disminuir en un 94% la concentración inicial del Cr.

5. JUSTIFICACIÓN

Para el año 2016, en Colombia se generaron 305.216,2 toneladas de residuos peligrosos (IDEAM, 2017), de estas, el 39% fueron gestionadas adecuadamente, el 32% aprovechadas y el 28% restante llegó a los basureros sin ningún tipo de tratamiento (Semana, 2017).

El manejo inadecuado de residuos peligrosos puede ocasionar un gran impacto negativo tanto en el ambiente como en la salud humana, ya que al ser dispuestos en cuerpos de agua o el suelo, puede generar contaminación de agua, suelo y aire y, a su vez, afectar la fauna y flora a su alrededor.

Cuando los residuos son dispuestos en rellenos de seguridad, también hay que tener especial cuidado con los lixiviados que no se infiltren y lleguen al agua subterránea contaminándola y por consiguiente contaminando fuentes superficiales, lo que afecta la calidad del agua y la salud humana.

La inadecuada disposición de Respel puede producir graves efectos en la salud como malformaciones, afecciones respiratorias, cáncer, entre otros.

Es por esto, que a ECOSAM le interesa tratar los residuos líquidos que generan para así evitar contaminar y producir efectos tóxicos a futuro. Adicional a esto, el tratarlos dentro de la empresa tiene un beneficio económico porque disminuye el costo de la disposición final.

Además, se escogió la lechuga como indicador de toxicidad por medio de un bioensayo, permitiendo así establecer un análisis de fitotoxicidad (Pinto, 2009), por lo que los datos obtenidos en el desarrollo de la prueba son representativos de los efectos en semillas o plántulas en general. Este bioensayo de toxicidad ha sido recomendado y aplicado por diferentes organismos como la EPA y la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) para la evaluación ecotoxicológica de muestras ambientales y compuestos puros (Sobrero & Ronco, 2004).

6. OBJETIVOS

6.1. Objetivo general

Evaluar la toxicidad de residuos líquidos peligrosos obtenidos en el laboratorio de aguas de ECOSAM S.A.S, aplicando el método de neutralización.

6.2. Objetivos específicos

- Realizar un diagnóstico de los residuos líquidos generados en el laboratorio de aguas de ECOSAM S.A.S.
- Establecer el procedimiento para neutralización según los tipos de residuos líquidos generados.
- Analizar parámetros fisicoquímicos para el cumplimiento de los límites permisibles de vertimientos según resolución 631 de 2015.

7. MARCO TEÓRICO

7.1. Marco legal

- **Ley 9 de 1979:** Establece los procedimientos y las medidas que se deben adoptar para la regulación, legalización y control de los descargos de residuos y materiales que afectan o pueden afectar las condiciones sanitarias del Ambiente.
- **Constitución política:** Art. 80. El Estado planificará el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales, para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución.
- **Ley 99 de 1993:** Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el sector público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA y se dictan otras disposiciones.
Art. 66. Indica las competencias para cada una de las autoridades correspondientes en su jurisdicción, con lo cual debe garantizar y verificar el manejo adecuado de los vertimientos generados por diferentes actividades industriales y que puedan generar daño inminente al medio.
- **Decreto 4741 de 2005:** Reglamenta parcialmente la prevención y el manejo de los residuos o desechos peligrosos generados en el marco de la gestión integral.
- **Decreto 3930 de 2010:** Establece disposiciones relacionadas a vertimientos en el recurso hídrico, suelo y alcantarillado.

- **Resolución 631 de 2015:** Establece los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones.

7.2. Residuos peligrosos

Según el decreto 4741 de 2005 (Ministerio de ambiente, 2005), un residuo peligroso es “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”.

Para que un residuo pueda ser clasificado como peligroso debe:

- Estar incluido en listas de residuos generados en procesos específicos, es decir, según su origen.
- Pertenecer a listas de tipos específicos de residuos.
- Presentar alguna característica de peligrosidad.
- Por sus propiedades físicas, químicas o biológicas (Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial, 2007).

7.2.1. Lista de residuos peligrosos

Las listas de residuos peligrosos (Respel) son herramientas que ayudan a identificar si un residuo o desecho se considera como peligroso e, indican el código que se emplea para su identificación.

Las principales listas de Respel que se reconocen internacionalmente son:

- Catálogo Europeo de residuos: esta lista es la usada por la comunidad europea, en ella se encuentran 850 tipos de residuos, de los cuales 400 son clasificados como residuos peligrosos. Esta lista está dividida en 20 categorías principales (Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial, 2007).
- Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA): los residuos que se encuentran en esta lista se consideran peligrosos sin importar la concentración de sus componentes. Los residuos de esta lista se dividen en 4 categorías (residuos de fuentes no específicas, residuos de fuentes específicas, productos químicos comerciales descartados y formulaciones comerciales y, residuos característicos) (Martínez *et al.*, 2005).

- Convenio de Basilea: El Anexo I del Convenio consta de dos partes, en la primera se listan 18 tipos de corrientes o procesos que generan desechos considerados peligrosos (denominados Y1 a Y18), seguidamente se presenta una lista de 27 elementos o compuestos cuya presencia como constituyente determina que el desecho sea considerado como peligroso (Y19 a Y45) (Martínez *et al.*, 2005).

7.2.2. Características de peligrosidad

En el anexo III del decreto 4741 de 2005 se establecen que las características que hacen peligroso un residuo o desecho son:

7.2.2.1. Corrosividad

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 (Ministerio de ambiente, 2005).

7.2.2.2. Reactividad

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 (Ministerio de ambiente, 2005).

7.2.2.3. Explosividad

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 (Ministerio de ambiente, 2005).

7.2.2.4. Inflamabilidad

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, estimular la combustión y aumentar la intensidad del fuego en otro material (Ministerio de ambiente, 2005).

7.2.2.5. Infeccioso

Un residuo o desecho con características infecciosas se considera peligroso cuando contiene agentes patógenos; los agentes patógenos son microorganismos (tales como bacterias, parásitos, virus 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 (Ministerio de ambiente, 2005).

7.2.2.6. Radioactividad

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 (Ministerio de ambiente, 2005).

7.2.2.7. Toxicidad

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 1.000 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 (Ministerio de ambiente, 2005).

7.2.3. Tratamiento y disposición final

Una buena gestión de los Respel requiere que dentro de los procesos en los que son generados se minimice su uso, de esta forma se ahorran recursos y se disminuyen gastos. Cuando no es posible la minimización, es necesario recurrir a opciones de tratamiento y disposición final (Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial, 2007).

Actualmente, con el fin de reducir los posibles impactos que se puedan generar se tiene mayor preferencia por los tratamientos debido a dificultades que se presentan en la disposición final (Márquez, 2013). Por ejemplo, lo sucedido en Love Canal en 1969, donde se construyó un vecindario encima de un “cementerio” con 22000 toneladas de químicos y, con el tiempo los habitantes de la zona empezaron a enfermarse y morir. Cuando se realizaron análisis de las aguas de la zona, se encontraron 82 productos químicos contaminantes (Portillo, 2017). Hoy, 49 años después y con parte de la zona declarada segura, hay algunos habitantes que manifiestan que están enfermos y a veces sienten olores que asocian con los

químicos que aún permanecen enterrados. Una prueba realizada por una firma privada encontró toxinas que habían sido previamente relacionadas con la zona del desastre (PBS NewsHour, 2018).

Como este caso hay varios, incluso más actuales, es por esto por lo que hay preferencia en los tratamientos para este tipo de residuos. Los métodos de tratamientos a los que pueden ser sometidos los Respel son: térmico, químico, físico, biológico y combinaciones de estos métodos (APHA, 2012).

- Tratamiento térmico: este método incluye la incineración y esterilización. Este tratamiento involucra el uso de altas temperaturas para cambiar la composición química, física o biológica del residuo. La incineración es usualmente usada para destruir solventes orgánicos y es preferida para residuos infecciosos.
- Tratamiento químico: el método incluye reacciones químicas como oxidoreducción, neutralización, intercambio de iones, fotólisis, coagulación y precipitación. La neutralización de residuos ácidos o alcalinos es el tratamiento más comúnmente usado.
- Tratamiento físico: incluye solidificación, compactación, destilación, floculación, sedimentación, aireación, filtración, centrifugación, osmosis

inversa y adsorción por carbono. Los tratamientos físicos generalmente reducen el volumen o movilidad de los residuos.

- Tratamiento biológico: este método incluye la descomposición de los contaminantes por acción de microorganismos

Después del tratamiento, los residuos restantes requieren disposición final, esta se hace en un relleno de seguridad especial para confinar Respel en el terreno.

Un relleno de seguridad debe contar con sistema de impermeabilización de base y taludes de doble barrera, sistema de captación, conducción y tratamiento de lixiviados, sistema de detección de pérdidas y sistema de captación, conducción y manejo de gases (Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial, 2007).

7.3. Toxicología

La toxicología es el estudio de los venenos o, en una definición más precisa, la identificación y cuantificación de los efectos adversos asociados a la exposición a agentes físicos, sustancias químicas y otras situaciones. En ese sentido, la toxicología es tributaria, en materia de información, diseños de la investigación y métodos, de la mayoría de las ciencias biológicas básicas y

disciplinas médicas, de la epidemiología y de determinadas esferas de la química y la física. La toxicología abarca desde estudios de investigación básica sobre el mecanismo de acción de los agentes tóxicos hasta la elaboración e interpretación de pruebas normalizadas para determinar las propiedades tóxicas de los agentes (Silbergeld, 2000).

7.3.1. Ecotoxicología

La ecotoxicología es la ciencia encargada de estudiar los efectos tóxicos de agentes químicos y físicos en organismos vivientes, ya sea animales o plantas, en ecosistemas definidos o en parte de ellos (Hernandez-sori, 2015). El estudio de la identidad y concentración de los productos tóxicos se realiza a través de técnicas químicas analíticas, mientras que los bioensayos o ensayos biológicos permiten observar los efectos de los productos tóxicos en los seres vivos (Iannacone, Dale, & Alviño, 1998).

7.3.1.1. Bioensayos

Los bioensayos de toxicidad permiten medir las respuestas de los organismos ante los contaminantes y complementan los análisis fisicoquímicos para tener una visión integral de los daños que se ocasionan sobre los ecosistemas, adicionalmente se pueden utilizar como instrumentos de control para

la descargas de sustancias tóxicas en los cuerpos de agua o en el ambiente en general (Sánchez & Andrade, 2012).

Una consideración importante para evaluar el riesgo al que un organismo puede estar bajo exposición de un tóxico es valorar la concentración letal 50 que se define como la concentración a la cual muere el 50% de la población (LC50) o la concentración efectiva media que es la concentración a la que disminuye en un 50% el efecto observado (EC50) bajo las condiciones de laboratorio (Hernandez-sori, 2015).

Las plantas responden de diferentes maneras a estímulos externos, pudiendo servir como indicadores de la actividad biológica de los contaminantes porque no solo son sensibles, sino que también proveen respuestas características frecuentes, mediante alteraciones en su fisiología o a través de su capacidad para acumularlos, ya que basan su resistencia a los contaminantes con la estrategia de una eficiente exclusión de este, restringiendo su transporte a la parte aérea.

7.3.1.2. Bioensayo con semillas de *Lactuca sativa*

El bioensayo de toxicidad con semillas de lechuga es una prueba estática de toxicidad aguda (120 h) en la que se pueden evaluar los efectos fitotóxicos en

el desarrollo de la plántula durante los primeros días de crecimiento (Bohórquez Echeverry & Campos Pinilla, 2007).

Es un ensayo que permite la evaluación del efecto tóxico de compuestos solubles presentes en concentraciones tan bajas que no son suficientes para inhibir la germinación, pero que sí pueden retardar o inhibir completamente los procesos de prolongación de la raíz o del hipocótilo, lo que depende del modo y sitio de acción de los contaminantes (Pinto, 2009). El ensayo de germinación y elongación de la radícula se realiza con los constituyentes solubles del agua (aguas superficiales, aguas subterráneas, suelos, sedimentos y lixiviados), teniendo en cuenta, para el resultado, la cantidad de semillas germinadas y la media del crecimiento de la raíz, para calcular la inhibición en un 50% (CI50) de los parámetros analizados en relación con el blanco (Pentreath, González, Barquín, Maris Ríos, & Perales, 2015).

7.3.1.3. Concentración de inhibición letal media

Concentración estadísticamente derivada de una sustancia química en el que, según se puede pronosticar, causará un efecto no letal definido del 50% de una población dada de organismos bajo un conjunto definido de condiciones experimentales (Pinto, 2009).

8. METODOLOGÍA

8.1. Diagnóstico de los residuos generados en el laboratorio de aguas de ECOSAM S.A.S

Por cada análisis fisicoquímico que se realiza en el laboratorio de aguas, se identificaron los reactivos que son utilizados.

De acuerdo con la información reportada por los analistas del laboratorio de aguas, y el volumen de la matriz de agua y reactivos necesarios para realizar cada análisis fisicoquímico, se hizo una cuantificación de los residuos que se producen por muestra analizada según el procedimiento realizado y una aproximación de la cantidad de residuo por análisis que se produce mensualmente.

Consultando las hojas de seguridad se estableció si cada reactivo posee características de peligrosidad (mencionadas en el anexo III del decreto 4741 de 2005), cuáles son y a partir de ello y, con ayuda de las listas internacionales de residuos peligrosos determinar si los residuos se consideran como peligrosos, teniendo en cuenta que por encontrarse en las listas ya se consideran peligrosos.

8.1.1. Almacenamiento de los residuos líquidos peligrosos generados en el laboratorio

Se determinó la compatibilidad entre residuos, para establecer los que deben almacenarse por separado, teniendo en cuenta los reactivos que se utilizaron durante cada análisis y las características de peligrosidad de cada residuo, determinadas en el ítem anterior. De tal forma que los residuos que posean reactivos con característica de inflamabilidad no se almacenen con los que posean característica de reactividad.

Adicionalmente, se establecieron las condiciones que debe tener el área temporal de almacenamiento de los Respel, de acuerdo con lo establecido en las Guías ambientales de almacenamiento y transporte por carretera de sustancias químicas y peligrosas y residuos peligrosos (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2005).

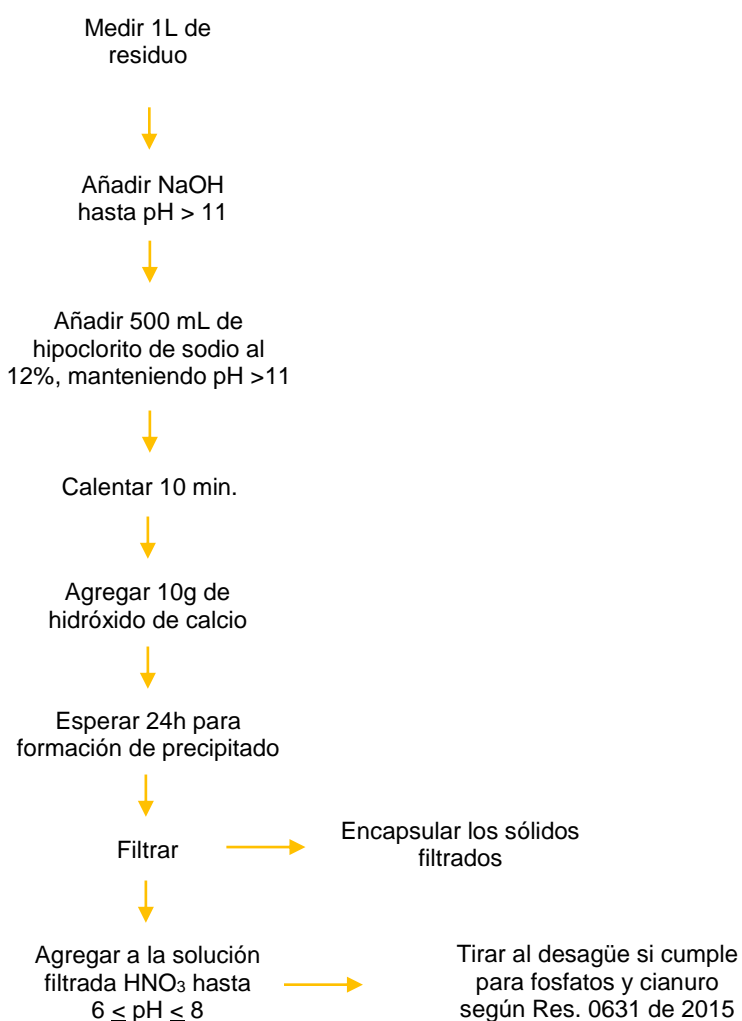
8.2. Tratamiento químico de neutralización de los residuos

El tratamiento para neutralizar los residuos varía de acuerdo con el análisis en el que fueron generados, se planteó la metodología investigada para los tratamientos. Dentro de estas, hay algunas en los que se mezclan residuos de varios análisis para facilitar su tratamiento.

8.2.1. Fenoles

En ECOSAM se utiliza el método 5530 B, D del Standard Methods Ed. 23 para el análisis de fenoles. En la figura 1 se presenta el procedimiento de neutralización para el residuo que se genera en este análisis.

Figura 1. Procedimiento neutralización de residuos de fenoles

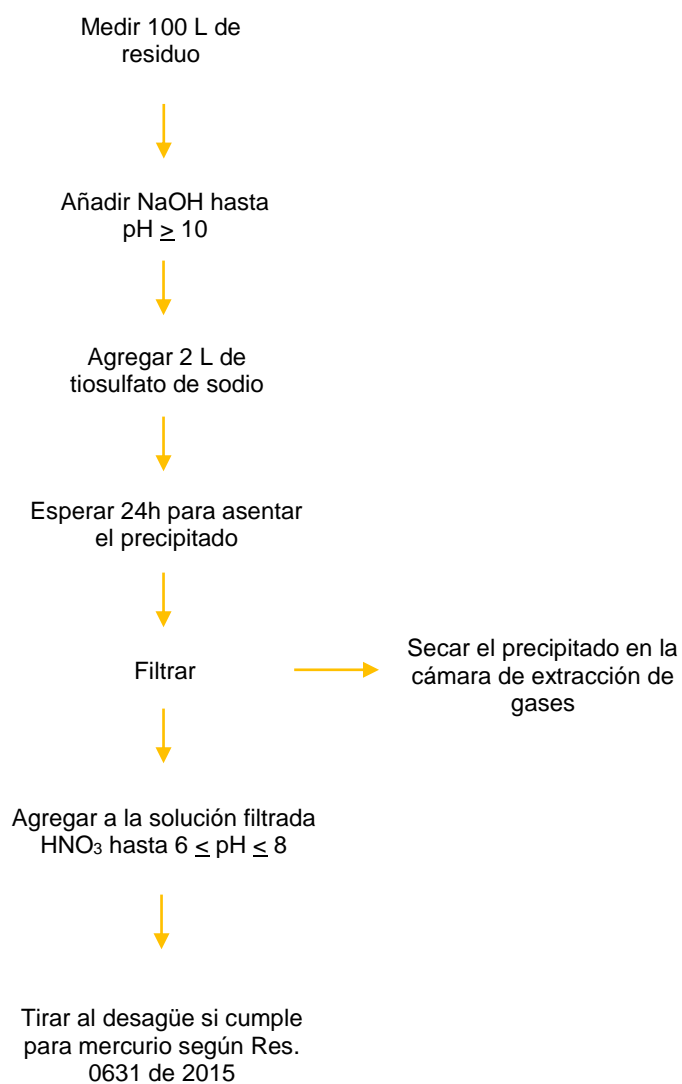


Fuente: (Flores *et al.*, 2013)

8.2.2. Nitrógeno amoniacal

El análisis de nitrógeno amoniacal es realizado de acuerdo con el procedimiento 4500-NH₃ B, C del Standard Methods Ed. 22. En la figura 2 se presenta el procedimiento para la neutralización de este residuo.

Figura 2. Procedimiento neutralización de residuos de nitrógeno amoniacal

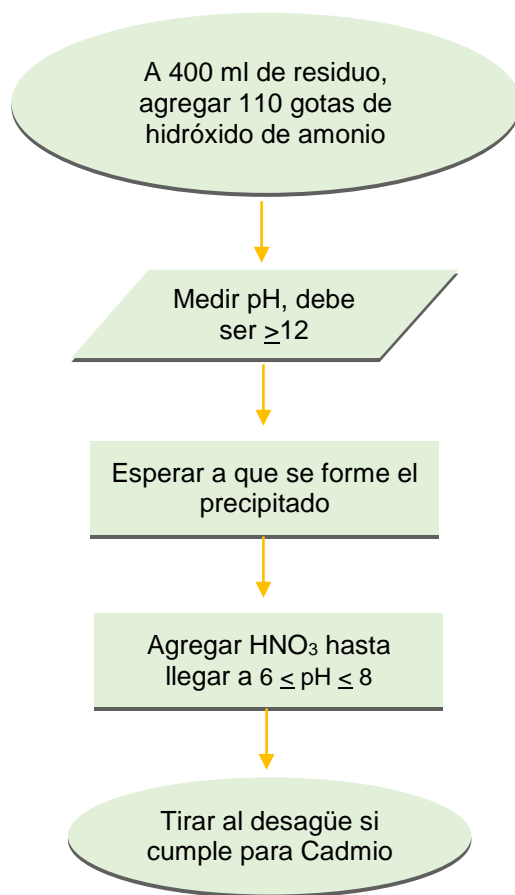


Fuente: (Flores *et al.*, 2013)

8.2.3. Nitritos y nitratos

Para el análisis de nitritos se utiliza el método del reactivo de Zambelli, y para el análisis de nitratos se hace por medio del método de J. RODIER, Método de la Espectrofotometría de Absorción Molecular Ed 2009. En la figura 3 se presenta el procedimiento de neutralización para los residuos de estos análisis.

Figura 3. Procedimiento neutralización de residuos de nitritos y nitratos



Fuente: (Flores *et al.*, 2013)

8.2.4. Fósforo total

El análisis del fósforo total presente en el agua se realiza por medio del método 4500-P B, E del Standard Methods Ed. 22. En la figura 4 se presenta el procedimiento de neutralización de este residuo.

Figura 4. Procedimiento neutralización de residuos de fósforo

A 1 L de residuo, agregar
155 ml de NaOH 1.25M



Agregar 13 g de
hidróxido de calcio



Esperar 2 h y filtrar



Agregar HNO₃ hasta
llegar a $6 \leq \text{pH} \leq 8$



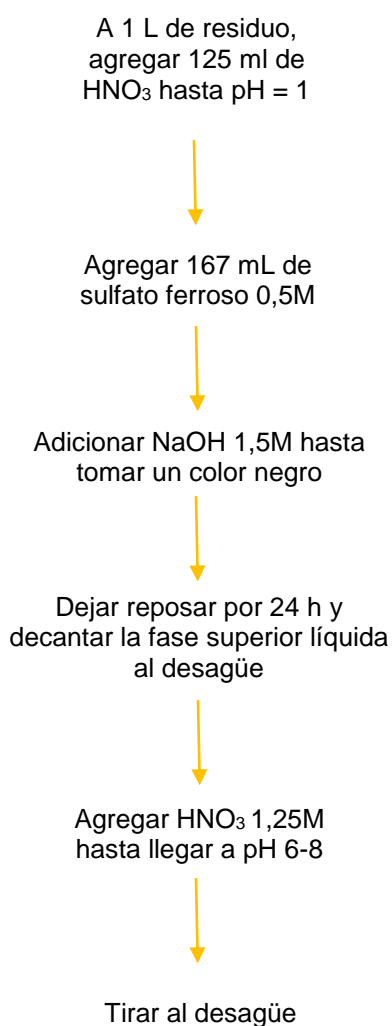
Tirar al desagüe

Fuente: (Flores *et al.*, 2013)

8.2.5. Sulfatos

El análisis de sulfatos se realiza siguiendo el procedimiento 4500 SO₄²⁻ E del Standard Methods Ed. 22. En la figura 5 se presenta el procedimiento a seguir para la neutralización del residuo que se genera en este análisis.

Figura 5. Procedimiento neutralización de residuos de sulfatos



Fuente: (Flores *et al.*, 2013)

8.2.6. Metales

Para analizar los metales totales y disueltos presentes en el agua se hace de acuerdo con el procedimiento 3111 B, para Cobre, Hierro, Plomo, Zinc, Cadmio y Cromo. Para el Aluminio se sigue el procedimiento 3111 D y para metales totales se utiliza el procedimiento 3030 E de Standard Methods Ed. 22. En la figura 6 se presenta el procedimiento para neutralizar los residuos de todos los metales.

Figura 6. Procedimiento neutralización de residuos de metales

A 1 L de residuo, agregar
1100 mL NaOH 3,5M
hasta llegar a pH 11



Filtrar



Agregar HNO₃ a lo
filtrado, hasta llegar a pH
6-8



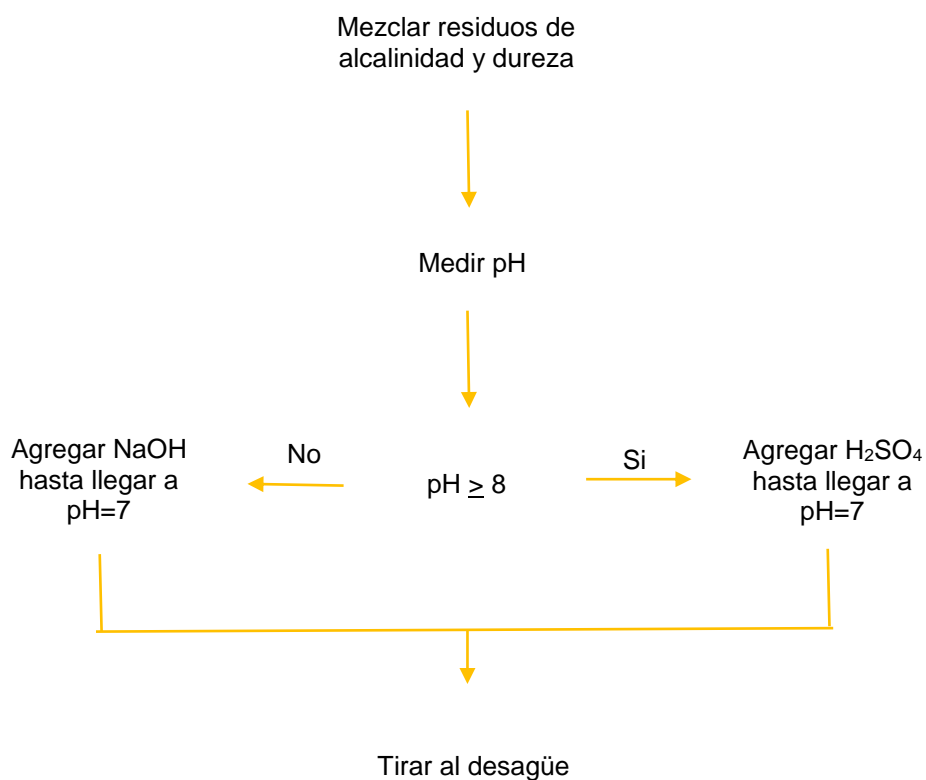
Tirar al
desagüe

Fuente: (Flores *et al.*, 2013)

8.2.7. Alcalinidad y dureza

El análisis de alcalinidad se realiza siguiendo el procedimiento 2320 B y para el análisis de dureza se hace de acuerdo con el procedimiento 2340 C del Standard Methods Ed 23. En la figura 7 se presenta el método de neutralizar los residuos de estos dos análisis.

Figura 7. Procedimiento neutralización de residuos de alcalinidad y dureza

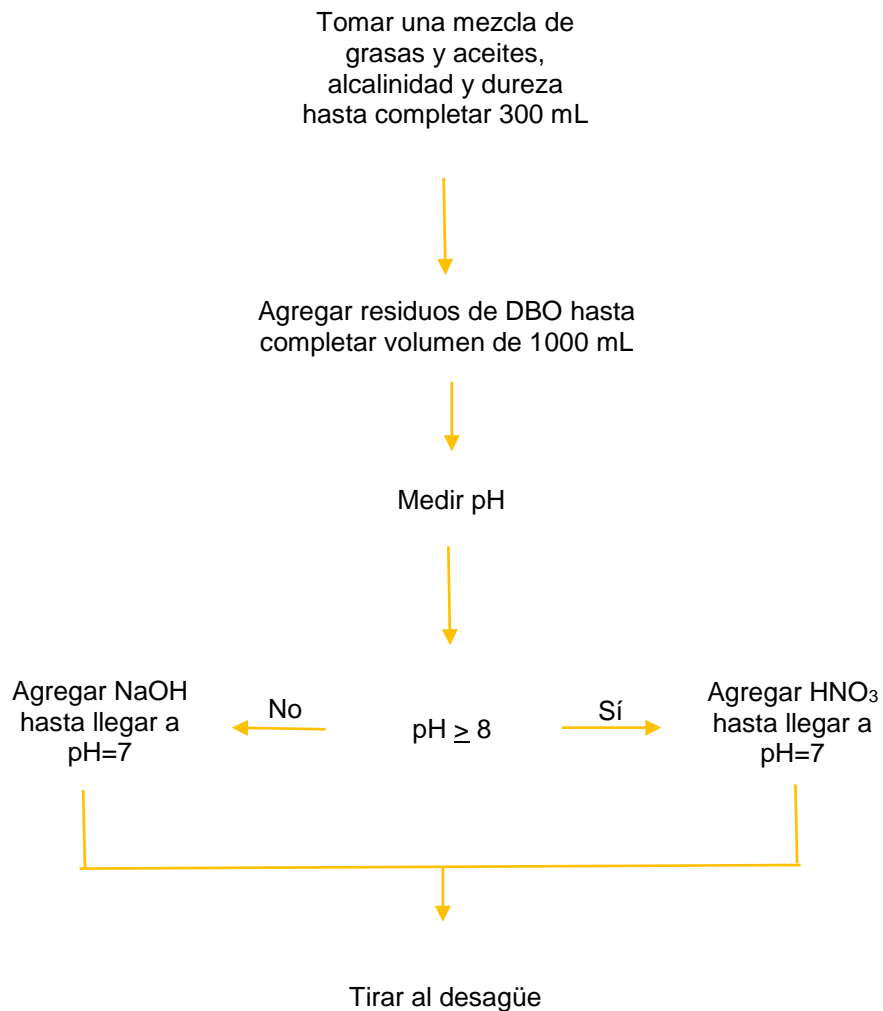


Fuente: Autor

8.2.8. Grasas y aceites, dureza, alcalinidad

El análisis de grasas y aceites se realiza siguiendo el procedimiento 5520-B, el análisis de alcalinidad de acuerdo con el 2320 B y para el análisis de dureza se hace de acuerdo con el procedimiento 2340 C del Standard Methods Ed 23. En la figura 8 se presenta el método de neutralizar los residuos de estos tres análisis.

Figura 8. Procedimiento neutralización de residuos de grasas y aceites, dureza y alcalinidad

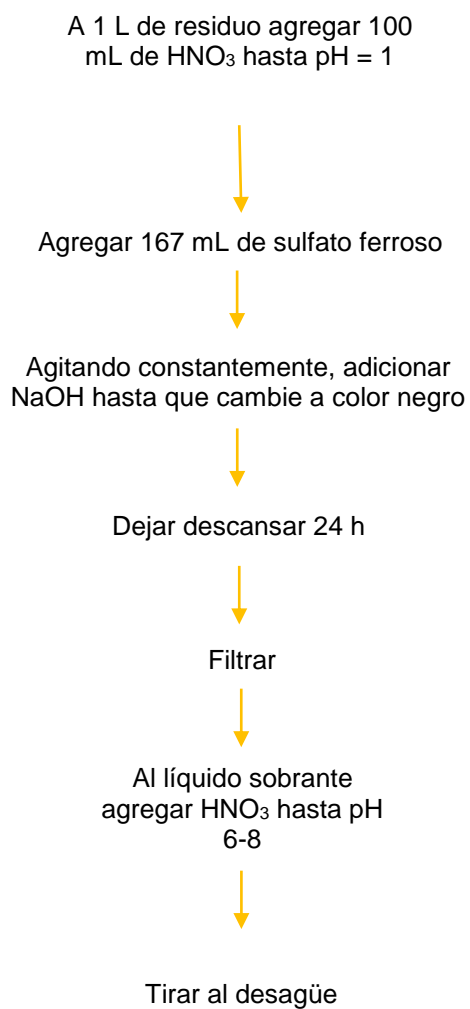


Fuente: (Flores *et al.*, 2013)

8.2.9. Cloruros

El análisis de cloruros se realiza siguiendo el procedimiento 4500-Cl⁻ B del Standard Methods Ed 22. En la figura 9 se presenta el procedimiento para neutralizar este residuo.

Figura 9. Procedimiento neutralización de residuos de cloruros



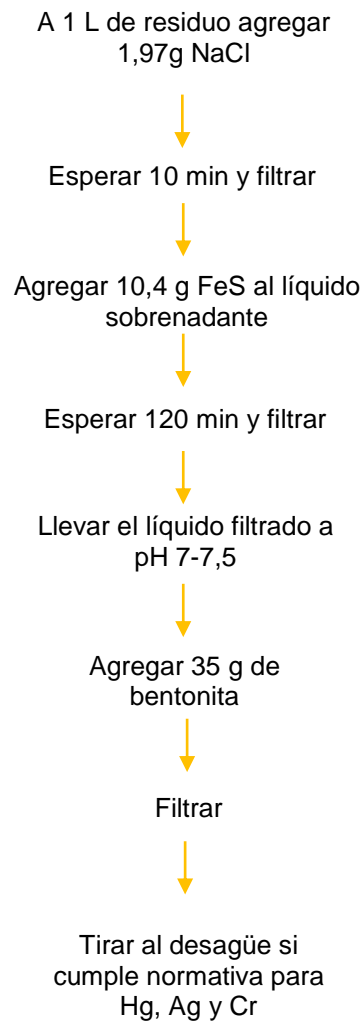
Fuente: (Flores *et al.*, 2013)

8.2.10. Análisis de DQO y DBO

La DQO se determina siguiendo el procedimiento 5220 C y para determinar la DBO se hace de acuerdo con el método 5210 B y 4500-O-G del Standard Methods Ed. 23. En la figura 10, 11 y 12 se presentan 3 metodologías para la neutralización de estos residuos.

★ López-galán (2006)

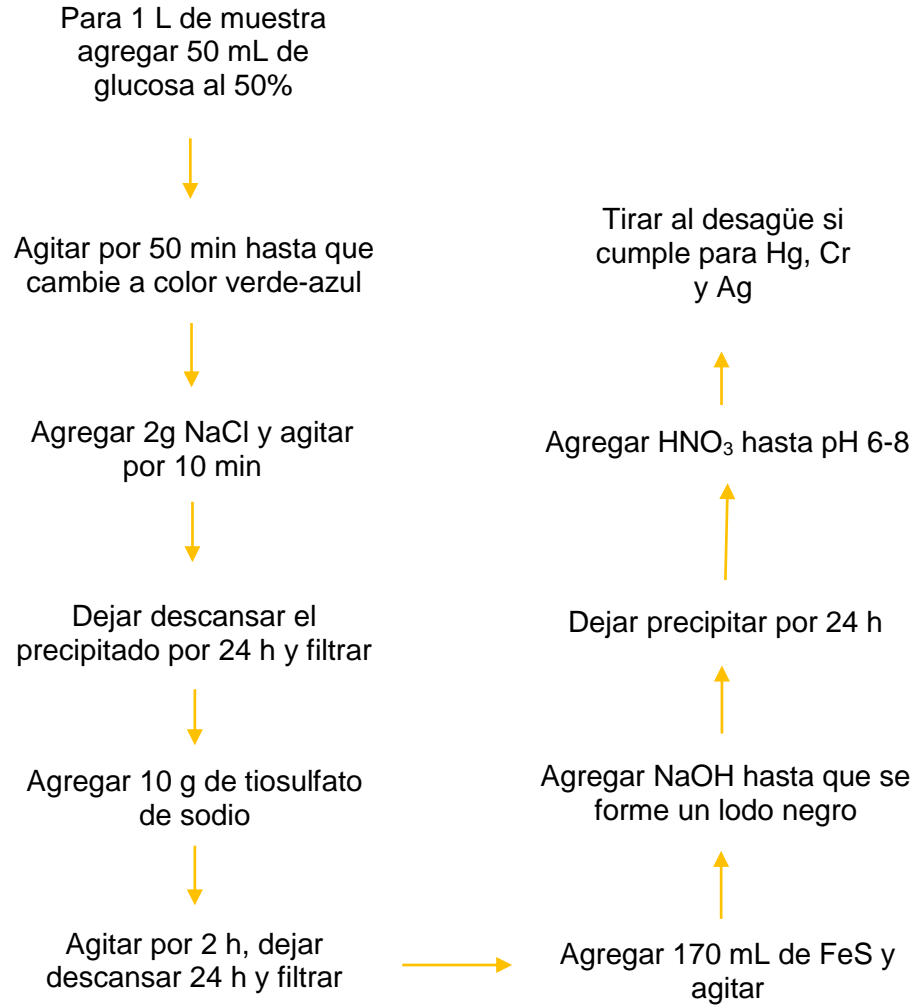
Figura 10. Procedimiento neutralización de residuos de DBO/DQO (1)



Fuente: (López-galán, 2006)

★ Flores *et al.* (2013)

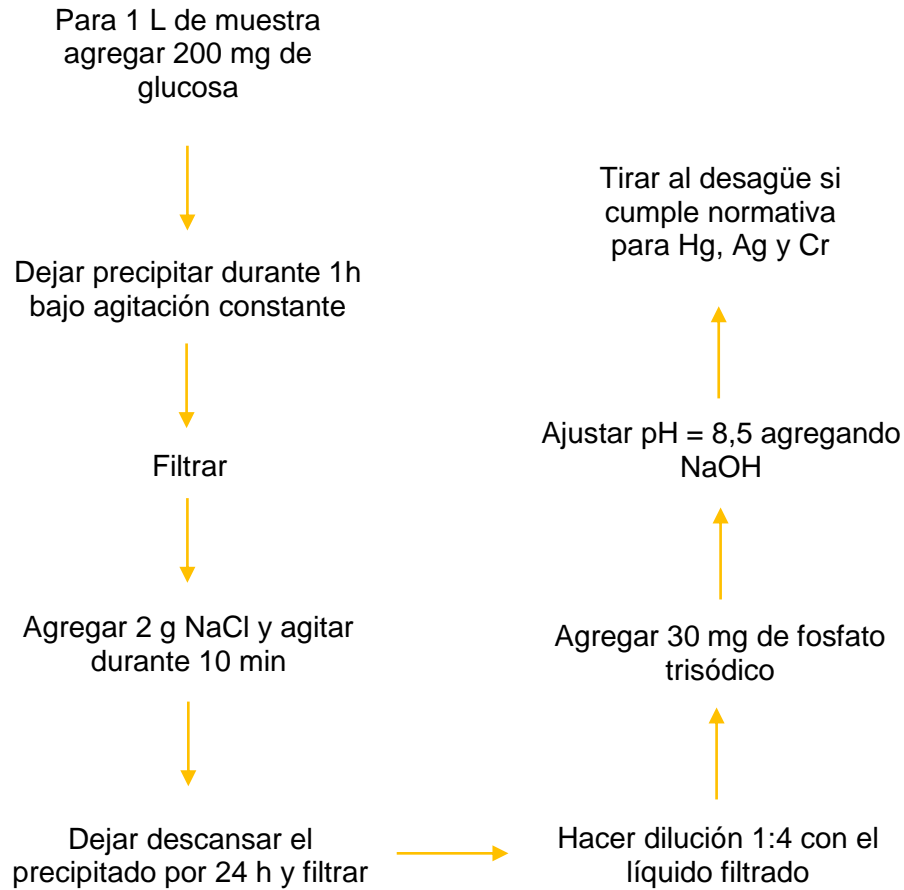
Figura 11. Procedimiento neutralización de residuos de DBO/DQO (2)



Fuente: (Flores *et al.*, 2013)

★ Mañunga *et al.* (2010)

Figura 12. Procedimiento neutralización de residuos de DBO/DQO (3)



Fuente: (Mañunga *et al.*, 2010)

Teniendo en cuenta la cantidad de reactivo que se necesita para la neutralización de cada residuo, se compara el costo del tratamiento por cada uno, con lo pagado a Descont para su descarte.

8.3. Análisis de la toxicidad del residuo tratado

8.3.1. Análisis de parámetros fisicoquímicos

A los residuos líquidos tratados se le realizan análisis fisicoquímicos que tiene acreditados ECOSAM SAS y de acuerdo con la metodología establecida en el Standard Methods (tabla 1). Los valores obtenidos en los análisis se comparan con el artículo 16 de la resolución 631 de 2015 para determinar si estos cumplen con los límites establecidos para vertimiento al alcantarillado público.

La resolución pide el análisis de 29 parámetros, de estos, ECOSAM tiene acreditados 16. Como el tratamiento se realiza solo para 1L de residuo, no es posible analizar todos los parámetros. Los análisis que se realizan corresponden a pH, DQO, nitritos, nitratos, nitrógeno amoniacal, sulfatos, dureza total, dureza cálcica, alcalinidad y cloruros. Los análisis de DBO, fenoles, sólidos sedimentables, sólidos suspendidos y metales no se realizan porque el volumen es insuficiente. Las grasas y aceites tampoco se analizan porque al ser residuos de este análisis, ya no contienen grasas y aceites.

Tabla 1. Procedimiento parámetros analizados

Parámetro	Procedimiento
pH	4500-H ⁺ B (Standard Methods)
DQO	5220 C (Standard Methods)
Nitrito	Método del reactivo de Zambelli.
Nitrato	Espectrofotometría de Absorción Molecular (J. Rodier, Ed. 2009)
Nitrógeno amoniacal	4500-NH ₃ B, C (Standard Methods)

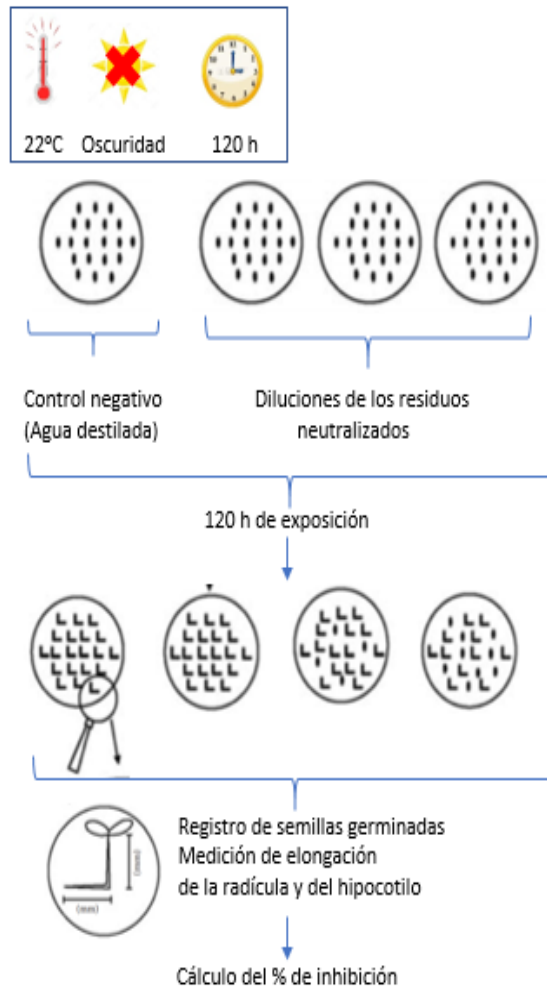
Sulfatos	4500 SO ₄ ⁻² (Standard Methods)
Dureza total	2340 C (Standard Methods)
Dureza cálcica	3500-Ca B (Standard Methods)
Alcalinidad	2320 B (Standard Methods)
Cloruros	4500-Cl ⁻ B (Standard Methods)

Fuente: Autor

8.3.2 Ensayo ecotoxicológico de los residuos tratados

Luego de neutralizar los residuos, se evalúa su toxicidad con un ensayo ecotoxicológico en semillas de lechuga. Se hicieron diluciones del 100%, 75%, 50% y 25% del residuo neutralizado. Dentro de una caja Petri se colocó un papel filtro de 90 mm de diámetro, a cada caja se le agregaron 5 ml de la dilución correspondiente (100, 75, 50 y 25), posteriormente, se ubicaron 20 semillas en cada caja petri, estas se dejaron 120 h en un lugar oscuro y manteniendo una temperatura de 22°C. Terminada la exposición, se observó si los residuos inhibieron la germinación de las semillas. A cada concentración se le realizó un duplicado. Se manejaron 2 blancos, 1 para las concentraciones y otro para los duplicados, a estos se les agregaron 5 ml de agua destilada. En la figura 13 se representa el procedimiento a seguir.

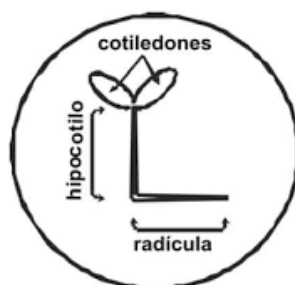
Figura 13. Procedimiento bioensayo con lechuga



Fuente: (Pinto, 2009)

Utilizando una regla o papel milimetrado, se mide cuidadosamente la longitud de la radícula y del hipocotilo de cada una de las plántulas, correspondientes a cada dilución de muestra y a los blancos. La medida de elongación de la radícula se considera desde el nudo (región más engrosada de transición entre la radícula y el hipocotilo) hasta el ápice radicular. La medida de elongación del hipocotilo se considera desde el nudo hasta el sitio de inserción de los dos cotiledones (Sobrero & Ronco, 2004). En la figura 14 se observa la radícula y el hipocotilo de la plántula.

Figura 14. Esquema plántula al finalizar periodo de exposición.



Fuente: (Sobrero & Ronco, 2004)

8.3.3 Curva dosis-respuesta

Se calculó el promedio de la elongación de la radícula y del hipocotilo de las plántulas de cada concentración, el porcentaje de inhibición del crecimiento de la radícula y del hipocotilo con el promedio de elongación para cada dilución respecto del promedio de elongación del control negativo y porcentaje de inhibición en la germinación.

Para calcular el % de inhibición de la radícula se utilizó la ecuación 1, reemplazando el promedio de longitud de la radícula de acuerdo con la concentración correspondiente.

Ecuación 1. % inhibición de la elongación de la radícula

$$\% \text{ inhibición} = 100 - \left(\frac{\text{prom. long. radícula []}}{\text{prom. long. radícula blanco}} \times 100 \right)$$

Fuente: (Hoekstra, Bosker, & Lantinga, 2002)

En el caso del % de inhibición de elongación del hipocotilo se usa la misma fórmula, pero reemplazando los datos por los obtenidos para el hipocotilo (ecuación 2).

Ecuación 2. % inhibición de la elongación del hipocotilo

$$\% \text{ inhibición} = 100 - \left(\frac{\text{prom. long. hipocotilo []}}{\text{prom. long. hipocotilo blanco}} \times 100 \right)$$

Fuente: (Hoekstra *et al.*, 2002)

El % de inhibición de la germinación se calculó con la ecuación 3.

Ecuación 3. % inhibición de la germinación

$$\% \text{ inhibición} = 100 - \left(\frac{\text{semillas germinadas}}{\text{total de semillas por bioensayo}} \times 100 \right)$$

Fuente: (Hoekstra *et al.*, 2002)

Con estos datos, se elabora la gráfica dosis-respuesta, colocando en la ordenada el porcentaje de inhibición de germinación y en la abscisa la concentración.

A partir de la curva dosis-respuesta, se determina la concentración de inhibición media - CI₅₀ (concentración que inhibe el crecimiento del 50% de la población de estudio)

8.4. Programas para la gestión de residuos peligrosos

En la práctica se crearon programas para implementar la adecuada gestión de los residuos peligrosos dentro de la empresa, estableciendo objetivos, metas, indicadores de cumplimiento y los responsables de que cada programa se ejecute.

Entre los programas propuestos se encuentra el programa para la gestión interna de los residuos, programa para el uso racional de los productos químicos, programa para el tratamiento de residuos líquidos peligrosos generados en el laboratorio de aguas, programa para el almacenamiento de los residuos peligrosos y el programa para la gestión externa de los residuos peligrosos.

9. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

9.1. Diagnóstico de los residuos generados en el laboratorio de aguas de ECOSAM S.A.S

En ECOSAM se separan los residuos de acuerdo con el análisis en el que son generados, estos son almacenados en un recipiente plástico en el que se indica el análisis en el que se produjeron, las sustancias que se utilizaron para este y las características de toxicidad del residuo. En la figura 15 se evidencia el etiquetado que se le da a los residuos generados.

Figura 15. Etiquetado de los residuos del laboratorio de aguas.



Fuente: Autor

Los recipientes se tienen en el laboratorio y cuando completan la capacidad de este (12 L), se almacenan en la bodega hasta que la empresa encargada de su recolección pasa a recogerlos.

Las matrices de agua que se analizan son: agua residual doméstica, agua residual no doméstica y agua natural. Los residuos que se generan en los análisis

no son separados de acuerdo con las matrices de agua, aunque debería hacerse ya que las aguas residuales no domesticas generalmente están más contaminadas que las otras y pueden contener compuestos químicos (dependiendo de la industria en la que se genere), lo que hace al residuo mucho más peligroso.

9.1.1. Cuantificación de los residuos

En la tabla 2 se encuentra la composición de los residuos que se generan en el laboratorio de aguas, de acuerdo con el análisis que se realiza para cada muestra y, se cuantifica el residuo que se produce por muestra analizada y cuánto se genera aproximadamente al mes por análisis. Esta cuantificación se realizó para el mes de Julio de 2018.

Tabla 2. Composición de los residuos generados en el laboratorio de aguas de ECOSAM S.A.S

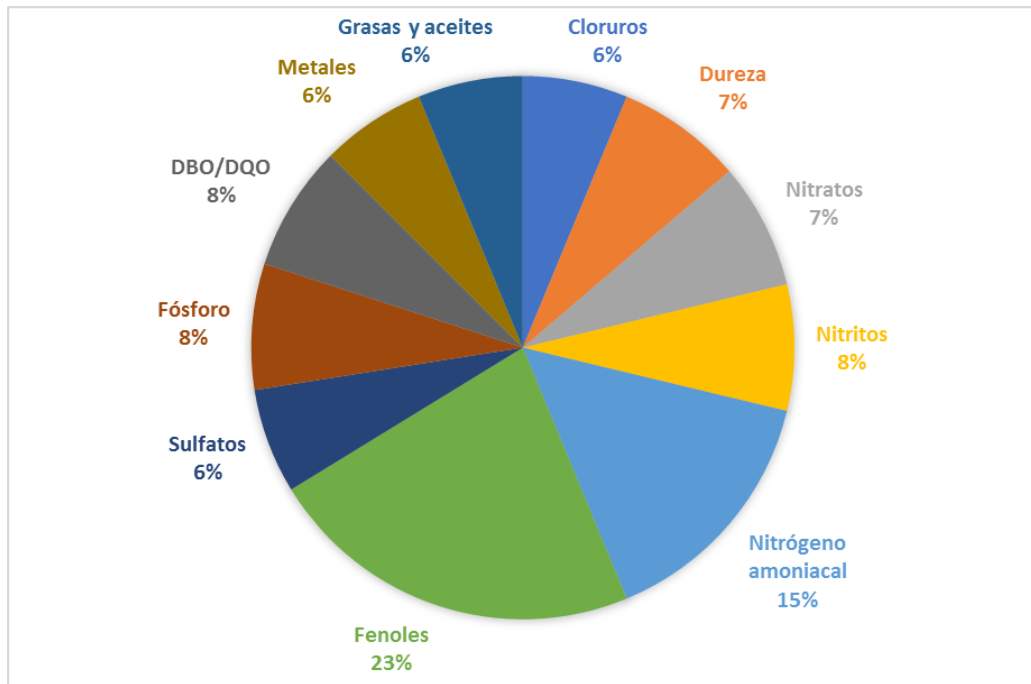
COMPOSICIÓN DEL RESIDUO	ANÁLISIS											
	CLORUROS	DUREZA	NITRATOS	NITRITOS	NITRÓGENO AMONIAICAL	FENOLES	SULFATOS	FÓSFORO	ALCALINIDAD / ACIDEZ	DBO / DQO	METALES	GRASAS Y ACEITES
K ₂ CrO ₄	X											
AgNO ₃	X									X		
Al (OH) ₃	X			X								
H ₂ SO ₄	X		X		X			X	X	X		
NaOH	X	X			X			X	X			
Negro de eriocromo		X										
Murexida		X										
HNO ₃		X									X	
EDTA		X	X									
NH ₃		X										
Ácido bórico					X							
Rojo de metilo					X							

Cu											X	
Al											X	
Ni											X	
Hg											X	
Borohidruro de sodio											X	
Hexano												X
Sulfato de sodio												X
TOTAL (L/muestra)	0,1	0,1	0,026	0,05	0,25	0,2	0,1	0,05	0,15	0,36	0,15	0,5
TOTAL (L/mes)	<12	12	12	12	24	36	<12	12	12	<12	<12	<12

Fuente: Autor

De acuerdo con la gráfica 1, los residuos líquidos tóxicos que más se generan son los de fenoles y nitrógeno amoniacal. Estas cantidades se deben a que para la mayoría de los proyectos llegan muestras para analizar estos parámetros y el volumen necesario para esto es de 1L por muestra.

Gráfica 1. Cantidad de residuos líquidos tóxicos generados en ECOSAM



Fuente: Autor

Cabe aclarar que la cantidad de residuos que se producen mensualmente en el laboratorio de aguas es variable debido a que hay proyectos en los que se requieren más análisis que otros y no todos los días llegan muestras para analizar.

9.1.2. Características de peligrosidad

Teniendo en cuenta las sustancias o productos químicos que se usan en cada análisis, se revisaron las fichas de seguridad para determinar las características de peligrosidad de cada uno (tabla 3).

Tabla 3. Características de peligrosidad de las sustancias usadas en cada procedimiento.

SUSTANCIA QUÍMICA	CARACTERÍSTICA DE PELIGROSIDAD					
	CORROSIVIDAD	REACTIVIDAD	INFLAMABILIDAD	TOXICIDAD	CANCERÍGENO	DAÑO PARA EL AMBIENTE
K ₂ CrO ₄				X	X	X
AgNO ₃	X		X			X
Al(OH) ₃	X					
H ₂ SO ₄	X					
NaOH	X					
Negro de eriocromo						X
Murexida			X			
HNO ₃	X					
EDTA					X	
NH ₃				X		X
Ácido bórico					X	
Rojo de metilo			X			
Azul de metileno				X		
Buffer de amonio	X					X
Hidróxido de amonio	X					
Fosfato de potasio dibasico						

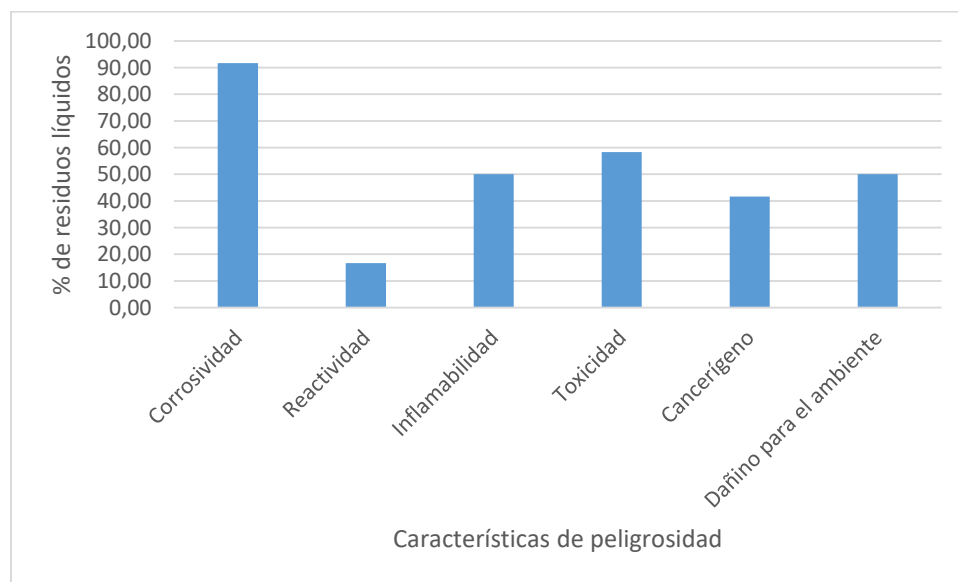
Fenol	X		X	X	X	
Fosfato monobásico						
Ácido ascórbico			X			
Ferricianuro de potasio		X				
Aminoantipirina				X		
Zambelli						
Amoniaco	X			X		X
Tartrato de sodio y potasio	X			X		X
Ácido acético	X		X			
Azida de sodio				X		X
Cloruro de bario				X		
Acetato de sodio			X			
Cloruro de magnesio						
Nitrato de potasio			X			
Molibdato de amonio						X
Tartrato de antimonio y potasio						X
Fosfato de potasio monobásico						
HCl	X					
H ₂ O ₂	X					
K ₂ CrO ₇	X		X	X	X	X
Sulfato de mercurio				X	X	X
Biftalato de potasio						
Ferroína				X		X
Fas						
Fe		X	X			
Pb		X				
As				X	X	X
Se				X	X	X
V				X	X	X
Cr			X	X		X
Mo					X	
Cd		X	X			
Zn			X			X
Cu		X				
Al		X	X			
Ni		X	X			
Hg				X		X
Borohidruro de sodio			X	X	X	X
Hexano			X			X
Sulfato de sodio						

Fuente: Autor

Entre los reactivos usados en cada análisis se encontró que el K_2CrO_7 es la sustancia más peligrosa que se utiliza en los análisis porque posee 5 de 6 características de peligrosidad (corrosividad, inflamabilidad, toxicidad, cancerígeno y dañino para el ambiente), lo que hace a los residuos de DQO los más peligrosos de todos los que se generan, ya que como se observa en la tabla 2, este análisis es el único en el que se utiliza este ácido.

En la gráfica 2 se presenta el porcentaje de características de peligrosidad que tienen los residuos líquidos tóxicos que se generan en la empresa. De ella se obtiene que el 91,67% de los residuos líquidos que se generan tienen la característica de corrosividad, el 58,33% se caracteriza por ser tóxico, el 50% es inflamable y dañino para el ambiente, el 41,67% es cancerígeno y solo el 16,67% se consideran residuos con característica de reactividad.

Gráfica 2. *Porcentaje de residuos líquidos generados con características de peligrosidad*



Fuente: Autor

De acuerdo con la lista de residuos o desechos peligrosos por corrientes de residuos del convenio de Basilea (1989), los residuos producidos tienen la siguiente codificación:

- A1020 Desechos que tengan como constituyentes o contaminantes, excluidos los desechos de metal en forma masiva, cualquiera de las siguientes sustancias:
 - Antimonio; compuestos de antimonio
 - Berilio; compuestos de berilio
 - Cadmio; compuestos de cadmio
 - Plomo; compuestos de plomo
 - Selenio; compuestos de selenio
 - Telurio; compuestos de telurio

- A1030 Desechos que tengan como constituyentes o contaminantes cualquiera de las sustancias siguientes:
 - Arsénico; compuestos de arsénico
 - Mercurio; compuestos de mercurio
 - Talio; compuestos de talio

- A3070 Desechos de fenoles, compuestos fenólicos, incluido el clorofenol en forma de líquido o de lodo (Perez Montaña, 2011).

Teniendo en cuenta lo anterior, se consideran peligrosos los residuos de los análisis de metales y fenoles.

Según el catálogo europeo de residuos, la codificación es:

16 10 01* Residuos líquidos acuosos que contienen sustancias peligrosas (Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial, 2007).

Dentro del catálogo europeo de residuos se contemplan los residuos de todos los análisis.

En cuanto a la lista de la EPA, los códigos que manejan para los residuos del laboratorio son (EPA, n.d., 2014):

- D001 Residuos Inflamables
- D002 Residuos Corrosivos
- D003 Residuos Reactivos
- D004 Arsénico
- D005 Bario
- D006 Cadmio
- D007 Cromo
- D008 Plomo
- D009 Mercurio

Cloruros	Red	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
Dureza cálcica y total	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
Metales	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
DQO	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
Fenoles	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
Fósforo total	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
Nitritos	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
Nitratos	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
Nitrógeno amoniacal	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
Sulfatos	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
Alcalinidad/acidez	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde

Fuente: Autor

El área de almacenamiento temporal de los Respel debe cumplir con las condiciones establecidas por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, (2005), por lo que se propone adecuar un lugar para este propósito con las características de la tabla 5.

Tabla 5. Condiciones de diseño de almacenamiento de Respel.

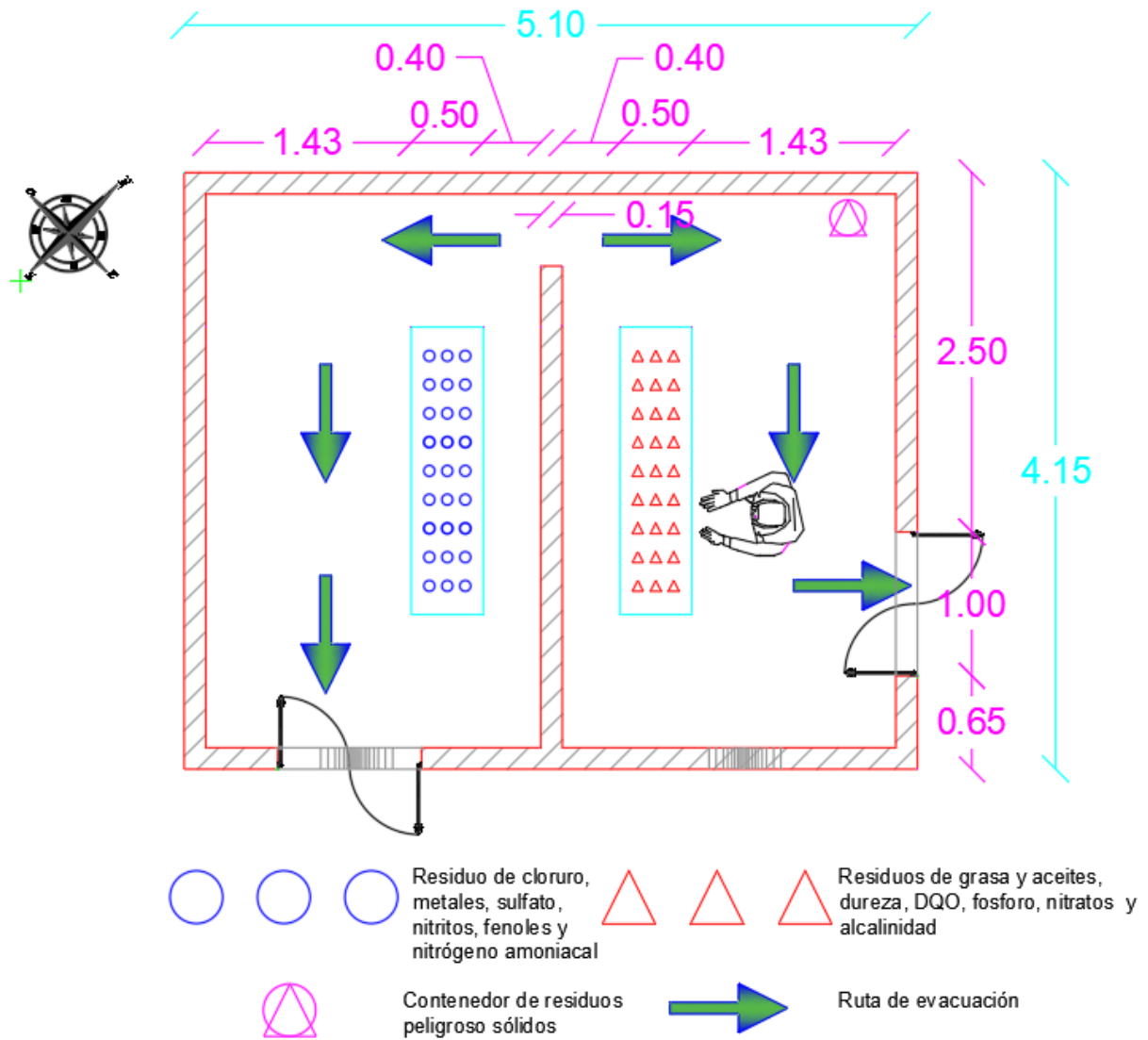
CONDICIONES	CARACTERÍSTICAS
Ubicación	<ul style="list-style-type: none"> • Estar alejado de las oficinas. • Área separada de los reactivos. • De fácil acceso para la empresa encargada de su disposición y para situaciones de emergencia.
Diseño	<ul style="list-style-type: none"> • Área total: 21,165 m² • Periodo de almacenamiento: Máximo 12 meses. • Paredes en cemento y en el interior terminado en cerámica. • Puertas: 2 puertas con 1m de ancho x 2,3m de alto, con resistencia al fuego mínimo de 1 hora. • Pisos: en concreto, impermeabilizado con pintura epóxica. • Muro de contención de 20 cm para evitar que, en caso de derrames, las sustancias lleguen a otras áreas de la empresa. • Ventilación: natural, con conductos de ventilación en paredes y

	<p>techo.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Señalización: letrero de identificación de almacenamiento de residuos peligrosos, no fumar, no comer, solo personal autorizado, cuadro de compatibilidad de los residuos. • Tener 2 extintores multipropósito.
Operación de almacenamiento	<ul style="list-style-type: none"> • Todos los Respel deben estar etiquetados, indicando el análisis en el que fueron generados, reactivos utilizados y las características de peligrosidad. • Llevar un control de la entrada y salida de los residuos, diligenciando el F-91. • Cada sector debe indicar el tipo de Respel almacenado. • Los residuos peligrosos deben estar separados entre sí a una distancia de 5 cm. • Los residuos de cloruros, metales, sulfatos, nitritos, fenoles y nitrógeno amoniacal deben ubicarse en una estantería y, los residuos de grasas y aceites, durezas, DQO, fósforo total, nitratos y alcalinidad, en otra. • Los residuos sólidos del laboratorio de hidrobiología y el de aguas se dispondrán en un contenedor de color rojo.
Orden y aseo	<ul style="list-style-type: none"> • Los pisos deben mantenerse limpios y libres de polvo, trapos o basura. • Todas las vías de evacuación y equipo de emergencia se deben mantener en forma adecuada.

Fuente: Autor

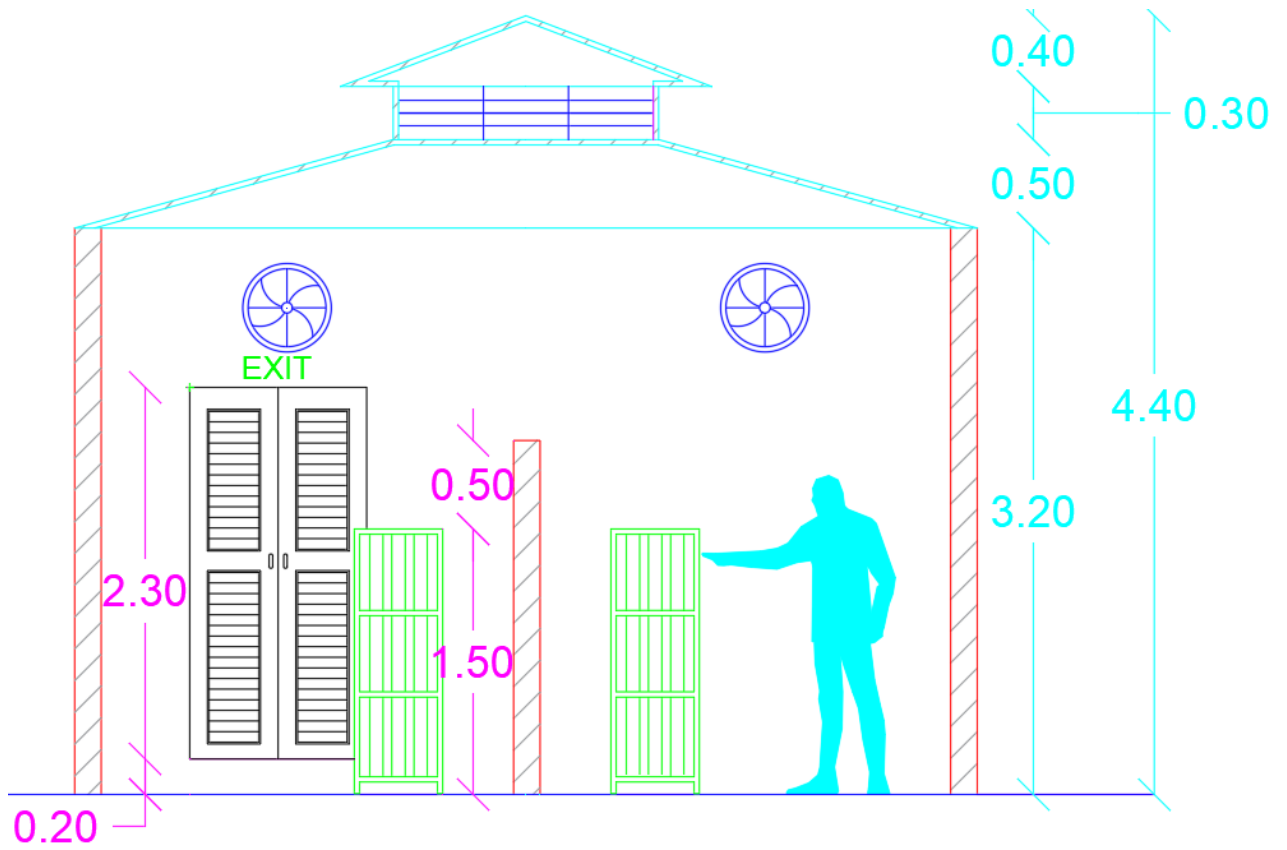
El diseño del área de almacenamiento de residuos tóxicos peligrosos propuesto para la empresa ECOSAM SAS consta de un plano con vista superior (ver figura 16) y vista lateral (ver figura 17) en AUTOCAD.

Figura 16. Vista superior del área de almacenamiento de residuos tóxicos peligrosos



Fuente: Autor

Figura 17. Vista lateral del área de almacenamiento de residuos tóxicos peligrosos



Fuente: Autor

9.2. Tratamientos de neutralización de los residuos

Para los tratamientos de neutralización de los residuos tóxicos líquidos de la empresa se realizó un análisis costo/beneficio donde se estima el precio de cada tratamiento de los residuos de acuerdo con la metodología propuesta. Posteriormente se escogió el residuo que es más viable económicamente para su tratamiento.

9.2.1. Costo de neutralización

En la tabla 6 se observa el costo que tiene tratar 1 L de cada residuo tóxico líquido, comparado con lo que se paga actualmente para su disposición final. Los residuos que se trataron se escogieron teniendo en cuenta el costo del tratamiento y el tiempo que dura el procedimiento.

Adicionalmente el costo del tratamiento se determinó de acuerdo con las cantidades y costo de los reactivos que se requieren.

Tabla 6. Costo de tratamiento por análisis

ANÁLISIS	TIEMPO (h)	COSTO TRATAMIENTO 1 L	COSTO DESCONT 1 L
CLORUROS	25	\$ 3.527,95	\$ 2.600,00
NITRATOS / NITRITOS	1,5	\$ 1.946,22	\$ 2.600,00
NITRÓGENO AMONIACAL	26	\$ 7.533,51	\$ 2.600,00
FENOLES	26	\$ 6.940,46	\$ 2.600,00
SULFATOS	26	\$ 3.457,38	\$ 2.600,00
FÓSFORO	3	\$ 5.617,92	\$ 2.600,00

DUREZA Y ALCALINIDAD / ACIDEZ	0,5	\$ 965,43	\$ 2.600,00
DBO / DQO (Flores <i>et al.</i>)	74	\$ 12.775,42	\$ 2.600,00
DBO / DQO (López-Galán)	3,2	\$ 19.379,93	\$ 2.600,00
DBO / DQO (Mañunga <i>et al.</i>)	52	\$ 10.607,75	\$ 2.600,00
METALES	0,42	\$ 8.804,82	\$ 2.600,00
GRASAS Y ACEITES, DUREZA Y ALCALINIDAD	0,5	\$ 45,43	\$ 2.600,00

Fuente: Autor

ECOSAM paga a Descont \$2600 por kg de residuo y, de acuerdo con los costos de los tratamientos, se evidencia que es más viable aplicar el tratamiento solo a la mezcla de residuos de dureza y alcalinidad/acidez; y grasas y aceites, dureza y alcalinidad.

El tratamiento de los residuos de dureza y alcalinidad/acidez también es viable económicamente, pero comparado con el de grasas y aceites, dureza y alcalinidad/acidez es más costoso y en este sólo se tratarían 2 tipos de residuos, mientras que en el otro son 3 los neutralizados.

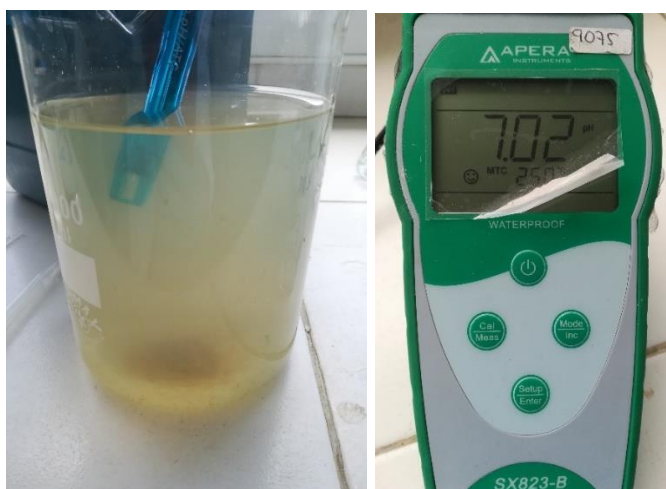
Aunque los residuos de DQO son los más peligrosos y son los que deben tener prioridad para su tratamiento, su costo es excesivamente alto, más del 400% de lo que cobra Descont, por lo que tratarlos no es viable económicamente.

9.2.2. Neutralización del residuo

Los residuos líquidos tóxicos escogidos para el tratamiento de neutralización fueron los generados en los análisis de dureza, alcalinidad y grasas y aceites por su bajo costo.

Para la neutralización de estos se midieron 100 ml de cada residuo y se completó 1 L con residuos de DBO. A cada residuo se le midió el pH inicialmente, luego al mezclarse se volvió a medir para saber si se le debía agregar NaOH o HNO₃. Como el pH de la mezcla fue mayor a 8, se agregaron 8 mL de HNO₃ hasta obtener pH = 7,02 (Figura 19). En la tabla 7 se observan los datos obtenidos.

Figura 18. Medición del pH



Fuente: Autor

Tabla 7. pH de los residuos

Residuo	pH inicial	pH mezcla	pH neutralización
Dureza	12,00	10,35	7,02
Alcalinidad	6,87		
Grasas y aceites	3,05		

Fuente: Autor

9.3. Análisis de la toxicidad del residuo tratado

La medición de los parámetros fisicoquímicos fue realizada para determinar si el residuo tratado cumplía con los límites máximos permisibles para su vertimiento según la resolución 631 de 2015, y posteriormente se determinó la concentración de inhibición media para germinación de las semillas de *Lactuca sativa*.

9.3.1. Análisis de los parámetros fisicoquímicos

Los parámetros fisicoquímicos analizados fueron: pH, DQO, sulfatos, dureza cálcica y total, alcalinidad, cloruros y fósforo total. Los valores obtenidos para cada uno de los parámetros fueron comparados con los límites permisibles en la resolución 0631 de 2015.

9.3.1.1. pH

En la medición del pH se obtuvo un valor de 7.02, que, al compararse con el límite máximo permisible según la resolución (tabla 8), indica que está en un rango aceptable, por lo cual el residuo se puede verter al alcantarillado en cuanto a este parámetro.

Tabla 8. Datos obtenidos de pH

Valor reportado (unidades de pH)	Límite máximo permisible (unidades de pH)
7,02	5,00 – 9,00

Fuente: Autor

9.3.1.2. DQO

En la tabla 9 se observa el dato obtenido para la DQO. Este valor se encuentra por debajo del límite que señala la norma, por lo cual, respecto a este parámetro, sí se puede verter al alcantarillado.

Teniendo en cuenta que el valor de DQO siempre es mayor a la DBO, se deduce que esta es menor a 144,00 mg/L. Para que cumpla con el valor que señala la norma, la DBO debe ser ≤ 75 mg/L.

Tabla 9. Datos obtenidos de DQO

Valor reportado (mg/L O ₂)	Límite máximo permisible (mg/L O ₂)
144,00	225,00

Fuente: Autor

9.3.1.3. Sulfatos

En la tabla 10 se observa el dato obtenido para los sulfatos. Al compararse este valor con la norma, se encuentra que está muy por debajo del límite máximo permisible, por lo que es posible verter al alcantarillado en cuanto a este parámetro.

Tabla 10. Datos obtenidos de sulfatos

Valor reportado (mg/L SO ₄ ²⁻)	Límite máximo permisible (mg/L SO ₄ ²⁻)
22,1	250,00

Fuente: Autor

9.3.1.4. Dureza cálcica y dureza total

En las tablas 11 y 12 se observan los datos obtenidos para la dureza cálcica y la dureza total. En la normativa actual no se registra un límite máximo permisible para estos parámetros, por lo cual cualquier valor obtenido está bien, indicando que, respecto a estos parámetros, es posible verter al alcantarillado este residuo.

Tabla 11. Datos obtenidos de dureza cálcica

Valor reportado (mg/L CaCO ₃)	Límite máximo permisible (mg/L CaCO ₃)
35,3	Análisis y reporte

Fuente: Autor

Tabla 12. Datos obtenidos de dureza total

Valor reportado (mg/L CaCO ₃)	Límite máximo permisible (mg/L CaCO ₃)
51,0	Análisis y reporte

Fuente: Autor

9.3.1.5. Alcalinidad

En la tabla 13 se observa el valor obtenido para la alcalinidad. En la normativa actual no se registra un límite máximo permisible para este parámetro, por lo cual cualquier valor obtenido está bien, indicando que, respecto a este parámetro, es posible verter al alcantarillado el residuo.

Tabla 13. Datos obtenidos Alcalinidad

Valor reportado (mg/L CaCO ₃)	Límite máximo permisible (mg/L CaCO ₃)
86,9	Análisis y reporte

Fuente: Autor

9.3.1.6. Cloruros

En la tabla 14 se registran los datos obtenidos para el análisis de cloruros. De acuerdo con estos, el valor reportado es inferior al límite máximo permisible, por lo cual, cumple la norma en cuanto a este parámetro y es posible verter al alcantarillado.

Tabla 14. Datos obtenidos cloruros

Valor reportado (mg/L Cl ⁻)	Límite máximo permisible (mg/L Cl ⁻)
193,00	250,00

Fuente: Autor

9.3.1.7. Fósforo total

En la tabla 15 se registra el valor obtenido para el fósforo total. En la normativa actual no se registra un límite máximo permisible para este parámetro, por lo cual cualquier valor obtenido está bien, indicando que, respecto a este parámetro, es posible verter al alcantarillado el residuo tratado.

Tabla 15. Datos obtenidos de fósforo total

Valor reportado (mg/L P)	Límite máximo permisible (mg/L P)
0,820	Análisis y reporte

Fuente: Autor

Los análisis para los compuestos de nitrógeno no se realizaron debido a que al ser neutralizado el pH con HNO₃, los valores para estos análisis iban a estar alterados.

9.3.2. Ensayo ecotoxicológico de los residuos tratados

Las 20 semillas se ubicaron de tal manera que quedaran en formación 2-3-5-5-3-2 para que quedaran con espacio suficiente para crecer. En la figura 20 se aprecia la formación de estas. Las semillas fueron ubicadas con una pinza para facilitar su manipulación.

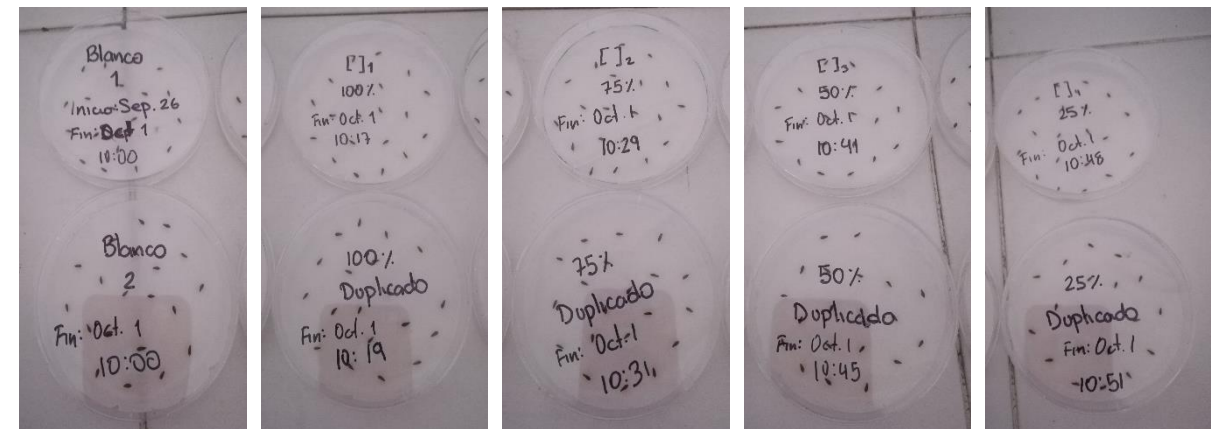
Figura 19. Siembra de semillas



Fuente: Autor

Las cajas Petri se marcaron con la dilución que contenían y la fecha y hora que debían revisarse, como se evidencia en la figura 21. Posteriormente, se guardaron en un lugar protegido de la luz y conservando una temperatura de 22°C (figura 22).

Figura 20. Montaje bioensayo con diluciones



Fuente: Autor

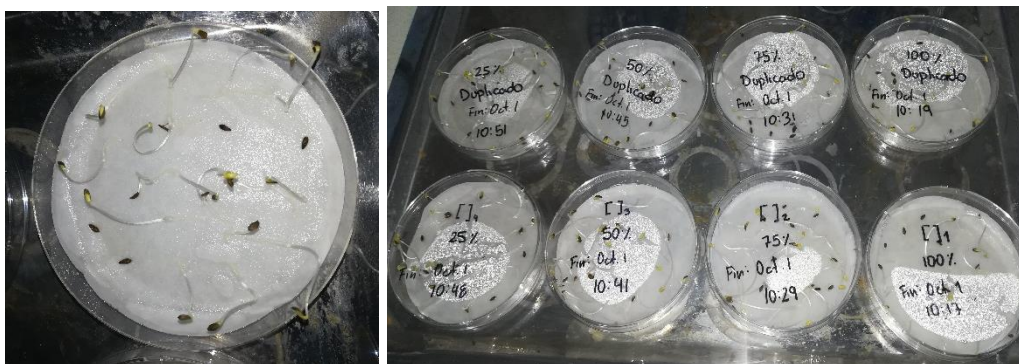
Figura 21. Almacenamiento del bioensayo



Fuente: Autor

Pasadas las 120 h de exposición, se observó la germinación de las semillas para todas las concentraciones, como se aprecia en la figura 23.

Figura 22. Germinación de las semillas

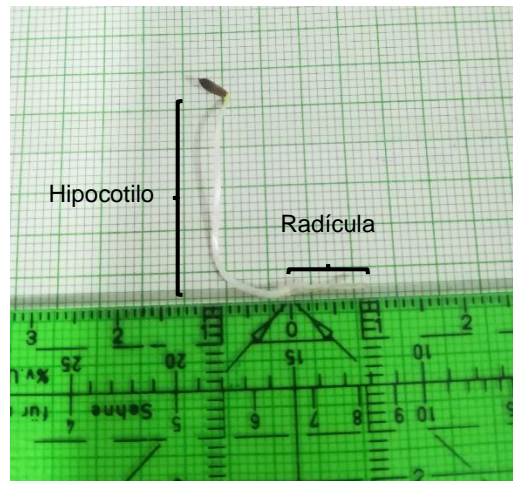


Fuente: Autor

Las semillas que contenían concentraciones de 100 y 75% presentaban pequeños pelos en las radículas, conocidos como pelos radiculares y son las partes de la raíz en la que se absorbe la mayor parte de nutrientes y agua (Klaassen, n.d.). Para las otras concentraciones estos no se apreciaron. Para Sobrero & Ronco (2004) el poco desarrollo de estos pelos se toma como indicador de fitotoxicidad.

A las semillas se les midió la radícula y el hipocotilo con ayuda de una regla y un papel milimetrado (figura 24). Los datos en promedio obtenidos de la elongación de la radícula se encuentran en la tabla 16 y los de la elongación del hipocotilo se encuentran en la tabla 17. En el anexo B se presentan todos los datos obtenido en las mediciones.

Figura 23. Medición del hipocotilo y radícula



Fuente: Autor

Tabla 16. Elongación de la radícula

Elongación (cm) de la radícula					
Nº de semilla	Concentración (%)				
	Blanco	25	50	75	100
1	3	1,1	0,6	0,8	1
2	2	1,5	1,4	2,3	1
3	1,6	1,4	1,1	0,9	1,2
4	2,5	2	0,9	1	0,9
5	3,2	1,5	1,1	1,7	1,1
6	2,4	1,2	1	1,4	1,3
7	2	1,3	1,1	1,3	1,1
8	1,1	1,1	0,6	2,1	0,9
9	2,2	1,2	0,8	0,5	1,1
10	3,6	1,5	1,5	2,2	1
11	1,3	1,6	1,6	1,4	0,6
12	1,6	1,1	1,6	1,9	0,5
13	2,5	1,5	0,9	0,5	0,4
14	1,5	1,8	1,4	2,1	1,2
15	1,4	1,2	1,2	1,4	1,1
16	0,6	0,3	1	1,3	0,9
17	0,1	1,1	1,3	0	0
18	0,4	1,4	1,4	0	0
19	0,9	1,2	1	0	0
20	0	0	0	0	0

Prom. (cm)	1,7	1,3	1,1	1,1	0,8
---------------	-----	-----	-----	-----	-----

Fuente: Autor

Tabla 17. Elongación del hipocotilo

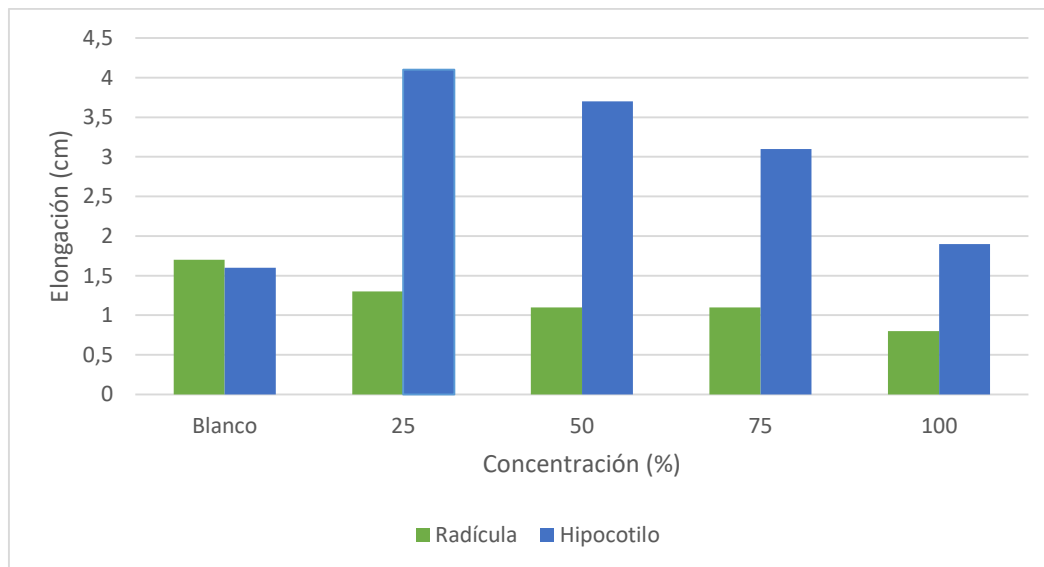
Elongación (cm) del hipocotilo					
Nº de prueba	Concentración (%)				
	Blanco	25	50	75	100
1	2	4,6	2,4	4,7	2,9
2	2,1	4,6	4,4	4,3	2,2
3	1,7	4,9	5	4,1	3
4	2,1	3,9	4,5	4,2	2,5
5	2,6	4,4	4,5	4	2,7
6	2	4,2	4,3	4,2	3
7	1,8	5,2	5	4,1	1,8
8	2,1	4,6	2,8	5,2	1
9	2	4,4	1,5	1	2,8
10	2,1	4,6	4,5	5,3	3
11	1,9	5,2	3,2	5,4	2,5
12	2,4	4,2	4,7	4,9	1,7
13	1,8	4,6	4,2	0,8	1,6
14	2,5	4,9	4,3	4,9	2,9
15	0,9	4,4	4,1	4,2	1,8
16	0,4	0,1	2,5	0,9	1,7
17	0,1	4,3	4,1	0	0
18	0,3	4,7	5	0	0
19	0,9	4,4	3,3	0	0
20	0	0	0	0	0
Prom. (cm)	1,6	4,1	3,7	3,1	1,9

Fuente: Autor

En la gráfica 3 se compara la elongación de la radícula y el hipocotilo para el blanco y cada concentración. Se observó que, a mayor concentración, menor fue el crecimiento de la radícula comparado con el blanco. En el caso del hipocotilo, su elongación fue mayor para todas las concentraciones, comparado

con el blanco, sin embargo, se observó que para la concentración de 25% se obtuvo la mayor elongación y en las siguientes concentraciones, la elongación fue disminuyendo. Los efectos en la radícula y el hipocotilo se consideran efectos subletales. El aumento de la elongación del hipocotilo en comparación con el blanco puede deberse a que el residuo contenía HNO_3 , brindándole nitrógeno a la plántula, ya que es un macronutriente vegetal.

Gráfica 3. *Elongación de la semilla vs. concentración del residuo*



Fuente: Autor

9.3.3. Curva dosis-respuesta

Se calculó el promedio de elongación de la radícula y el hipocotilo tanto para los blancos, como para las diferentes concentraciones con sus respectivos duplicados (tabla 18).

Tabla 18. Promedio radícula e hipocotilo

Concentración del residuo	Promedio	
	Long. Radícula (cm)	Long. Hipocotilo (cm)
Blanco	1,5	1,3
25	1,1	3,9
50	1,1	3,5
75	1,1	3
100	0,8	2

Fuente: Autor

A partir de estos datos se calculó el porcentaje de inhibición del crecimiento de la radícula y del hipocotilo con el promedio de elongación para cada dilución respecto del promedio de elongación del blanco, y el porcentaje de inhibición en la germinación (tabla 19).

Tabla 19. % de inhibición de las semillas

Concentración (%)	% inhibición radícula	% inhibición hipocotilo	% inhibición germinación
100	46,67	-53,85	20
75	28,00	-132,31	20
50	27,67	-171,35	5
25	25,17	-198,27	5

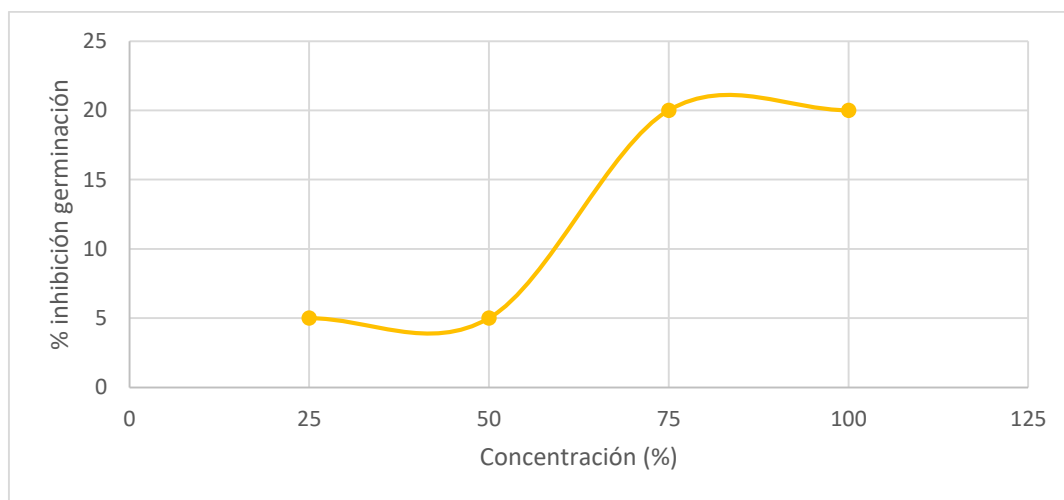
Fuente: Autor

De estos datos se obtuvo que la mayor inhibición en la elongación de la radícula fue para la concentración de 100%, y el menor porcentaje es para la concentración de 25%. En este caso, los % de inhibición son negativos debido a

que la elongación del hipocotilo fue mayor para todas las concentraciones, comparadas con el blanco.

A partir de estos datos se graficó la curva dosis-respuesta (gráfica 4). En esta curva se puede observar que para las concentraciones de 25 y 50% el porcentaje de inhibición de germinación fue del 5% y para las concentraciones de 75 y 100% fue del 20%. Gráficamente no se puede obtener la CI_{50} debido a que, durante el experimento, no se obtuvieron % de mortalidad mayores al 20%.

Gráfica 4. Curva dosis-respuesta



Fuente: Autor

Para poder calcular la CI_{50} se hizo por medio del modelo Probit, que es comúnmente aplicado en toxicología para determinar la toxicidad relativa de productos químicos en organismos vivos (Maraza, Jalire, Banegas, Mamani, & Ticona, 2016). Para calcularla, se utilizaron los datos de la tabla 20.

Tabla 20. Datos modelo Probit

Concentración del residuo (%)	Log []	No. de organismos	No. de muertos	% mortalidad	Probit
25	1,4	20	1	5	3,36
50	1,7	20	1	5	3,36
75	1,9	20	4	20	4,16
100	2	20	4	20	4,16

Fuente: Autor

Los datos de la columna Probit hacen referencia al porcentaje de mortalidad, en unidades Probit, para esto se utilizó el anexo C.

Una vez obtenidas las unidades Probit, se procede a utilizar el paquete de análisis de datos de Excel. De los datos obtenidos (anexo D), se tomaron los coeficientes dados (tabla 21) y se reemplazaron en la ecuación 4.

Tabla 21. Coeficientes análisis Probit

<i>Coeficientes</i>	
Intercepción	1,10699186
Variable X 1	1,52209929

Fuente: Autor

Ecuación 4. Análisis Probit

$$y = ax + b$$

Fuente: (Pinto, 2009)

Reemplazando los valores de a y b

$$y = 1,5x + 1,1$$

Fuente: Autor

Luego, para calcular la CI_{50} , se convierte el 50% de mortalidad en unidades Probit y este resultado se reemplaza en la ecuación anterior para el valor de Y (ecuación 5).

Ecuación 5. Cálculo CI_{50}

$$5 = 1,5x + 1,1$$

Fuente: Autor

Despejando x

$$x = \left(\frac{5-1,1}{1,5} \right) \quad x = 2,55$$

Por último, se aplica antilogaritmo al valor obtenido de x, para determinar la concentración de inhibición media (ecuación 6).

Ecuación 6. CI_{50} del residuo neutralizado

$$CI_{50} = 10^{2,55} \quad CI_{50} = 361,12\%$$

Fuente: Autor

De acuerdo con el resultado obtenido, el residuo neutralizado no es letal para las semillas de lechuga.

9.4. PROGRAMAS PARA LA GESTIÓN DE LOS RESIDUOS PELIGROSOS

Con el fin de disminuir los residuos peligrosos que se generan y darles una correcta disposición, se propone implementar algunos programas ambientales dentro de la empresa.

9.4.1. Programa para la gestión interna de los residuos

Debido a que se evidenció que no se hace una adecuada separación de todos los residuos que se generan, se propone este programa con el fin de mejorar la gestión de los residuos

Tabla 22. Programa para la gestión interna de los residuos

PROGRAMA PARA LA GESTIÓN INTERNA DE LOS RESIDUOS	
OBJETIVO	<ul style="list-style-type: none">➤ Realizar una correcta clasificación de los residuos generados en la empresa.
META	<ul style="list-style-type: none">➤ Cada 2 meses disponer el 80% de los residuos en los recipientes correspondientes, según su clasificación.
ACTIVIDADES	<ul style="list-style-type: none">➤ Identificar y clasificar los residuos que se generan.➤ Capacitar al personal sobre los recipientes en los que se debe disponer cada tipo de residuo.
HERRAMIENTAS DE VERIFICACIÓN	<ul style="list-style-type: none">➤ Control de registro de las capacitaciones.➤ Evaluación sobre los temas de las capacitaciones.
INDICADORES DE SEGUIMIENTO Y MONITOREO	$IRCC = \frac{\text{Residuos clasificados correctamente (kg/mes)}}{\text{Total de residuos generados (kg/mes)}} * 100\%$ <p><i>IRCC = Índice de residuos clasificados correctamente</i></p>

	$IC = \frac{\text{Número de empleados capacitados}}{\text{Total de empleados}} * 100\%$ <p><i>IC = Índice de capacitaciones</i></p>
RESPONSABLE	Encargada SSTA

Fuente: Autor

9.4.2. Programa para el uso racional de los productos químicos

Este programa se propone con el fin de disminuir la cantidad de recipientes de los productos químicos que se generan.

Tabla 23. Programa para el uso racional de los productos químicos

PROGRAMA PARA EL USO RACIONAL DE LOS PRODUCTO QUÍMICOS	
OBJETIVO	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Hacer uso racional de los productos químicos que se utilizan dentro de los laboratorios
META	<ul style="list-style-type: none"> ➤ En 12 meses emplear al menos el 75% de los productos comprados, verificando fecha de expiración.
ACTIVIDADES	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Utilizar solo la cantidad necesaria de los productos químicos para cada análisis ➤ Verificar fecha de expiración de cada reactivo y llevar un registro de ello. ➤ Capacitar a los analistas en cuanto al manejo y manipulación de sustancias químicas periódicamente.
HERRAMIENTAS DE VERIFICACIÓN	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Registro control de reactivos ➤ Registro de asistencia a capacitaciones
INDICADORES DE SEGUIMIENTO Y MONITOREO	$IPV = \frac{\text{Cantidad de productos químicos vencidos (año)}}{\text{Cantidad de productos químicos comprados (año)}} * 100\%$ <p><i>IPV = Índice de productos vencidos</i></p>

	$IAC = \frac{\text{Número de analistas capacitados}}{\text{Total de analistas}} * 100\%$ <p><i>IAC = Índice de analistas capacitadas</i></p>
RESPONSABLE	Director SGI Encargada SSTA

Fuente: Autor

9.4.3. Programa para el tratamiento de residuos líquidos peligrosos generados en el laboratorio de aguas

Este programa se plantea con el fin de tratar los residuos líquidos generados en los análisis realizados en el laboratorio de aguas y de esta manera disminuir los residuos que se entregan a una empresa externa para que se encarguen de su disposición.

Tabla 24. Programa para el tratamiento de Respel líquidos del laboratorio de aguas

PROGRAMA PARA EL TRATAMIENTO DE RESPEL LÍQUIDOS DEL LABORATORIO DE AGUAS	
OBJETIVO	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Reducir la cantidad de residuos que son entregados a terceros para su disposición final. ➤ Disminuir la cantidad de residuos peligrosos que se generan.
META	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Tratar el 20% mensual, de los residuos líquidos peligrosos generados en el laboratorio de aguas.
ACTIVIDADES	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Cuantificar los residuos que se generan en el mes. ➤ Reducir la cantidad de guantes que se utilizan mensualmente. ➤ Realizar el tratamiento correspondiente según el análisis en el que es generado el residuo. ➤ Verificar que el residuo tratado cumpla la normatividad

	para vertimiento.
HERRAMIENTAS DE VERIFICACIÓN	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Registro de cuantificación de residuos. ➤ Guía con el tratamiento de los residuos según cada tipo de análisis.
INDICADORES DE SEGUIMIENTO Y MONITOREO	$IRT = \frac{\text{Residuos tratados (L/mes)}}{\text{Total de residuos generados (L/mes)}} * 100\%$ <p style="text-align: center;"><i>IRT = Índice de residuos tratados</i></p>
RESPONSABLE	Encargada SSTA

Fuente: Autor

9.4.4. Programa para el almacenamiento de los residuos peligrosos

Debido a que se observó que en ECOSAM no se dispone de un área con las condiciones adecuadas para la disposición de los residuos peligrosos, se plantea este programa

Tabla 25. Programa para el almacenamiento de los residuos peligrosos

PROGRAMA PARA EL ALMACENAMIENTO DE LOS RESIDUOS PELIGROSOS	
OBJETIVO	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Optimizar las condiciones para el almacenamiento de los Respel.
META	<ul style="list-style-type: none"> ➤ En 12 meses, almacenar correctamente el 90% de los Respel generados en ECOSAM.
ACTIVIDADES	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Disponer de un área especial para el almacenamiento de los Respel. ➤ Señalizar el área de almacenamiento de los residuos peligrosos. ➤ Etiquetar todos los recipientes de los residuos indicando el análisis en el que se generó, composición y características de peligrosidad. ➤ Almacenar los residuos peligrosos de acuerdo con la

	compatibilidad entre ellos.
HERRAMIENTAS DE VERIFICACIÓN	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Espacio físico acondicionado de acuerdo con la Guía ambiental para el almacenamiento y transporte de sustancias químicas y residuos peligrosos. ➤ Señalización. ➤ Cuadro de compatibilidad de residuos en el área de almacenamiento.
INDICADORES DE SEGUIMIENTO Y MONITOREO	$\%RAC = \frac{\text{Cantidad de respel almacenado correctamente (kg/mes)}}{\text{Cantidad de respel almacenado (kg/mes)}} \times 100\%$ <p style="text-align: center;"><i>%RAC = porcentaje de respel almacenado correctamente</i></p>
RESPONSABLE	Encargada SSTA

Fuente: Autor

9.4.5. Programa para la gestión externa de los residuos peligrosos

Es importante realizar un seguimiento a la empresa externa encargada de la disposición de los residuos peligrosos de la empresa, para verificar que no se estén generando impactos al ambiente y a las personas.

Tabla 26. Programa para la gestión externa de los residuos peligrosos

PROGRAMA PARA LA GESTIÓN EXTERNA DE LOS RESIDUOS PELIGROSOS	
OBJETIVO	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Disminuir los riesgos causados por la inadecuada gestión de residuos peligrosos.
META	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Realizar al año el 100% de las auditorías planeadas para la empresa encargada de la disposición final de los residuos peligrosos.
ACTIVIDADES	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Llevar un registro de la cantidad de residuos peligrosos que se entregan a la empresa externa para su gestión. ➤ Elaborar un formato para llevar el control de la disposición final que se realiza a los residuos peligrosos en la

	empresa encargada.
HERRAMIENTAS DE VERIFICACIÓN	➤ Documentación de las auditorías realizadas
INDICADORES DE SEGUIMIENTO Y MONITOREO	$\%CA = \frac{\text{Número de auditorías realizadas (año)}}{\text{Número de auditorías a realizar (año)}} * 100\%$ <p><i>%CA = porcentaje de cumplimiento de auditorías</i></p>
RESPONSABLE	Director SGI Encargada SSTA

Fuente: Autor

10. CONCLUSIONES

- Para la empresa ECOSAM SAS se realizó un diagnóstico a los residuos líquidos tóxicos generados en los análisis fisicoquímicos y se encontró que los residuos que más se producen son los provenientes de los análisis de nitrógeno amoniacal y fenoles, ya que para estos análisis se necesita 1 L de muestra para el procedimiento, y son requeridos para la mayoría de los proyectos. Adicionalmente, se determinó que los residuos que se consideran más peligrosos son los generados en el análisis de DQO porque posee 5 de las características de peligrosidad reconocidas por el Ministerio de Ambiente para residuos peligrosos.
- De la metodología propuesta para tratar cada residuo, se estableció que el procedimiento más conveniente a seguir es el de la neutralización de los residuos de grasas y aceites, alcalinidad y durezas, porque es el menos costoso y en este se tratan los residuos de 3 análisis distintos en el mismo proceso.
- Al analizar los parámetros fisicoquímicos del residuo neutralizado se encontró que se puede verter al alcantarillado sin que generen daños al sistema o al ecosistema, ya que al compararse los resultados obtenidos con la resolución 631 de 2015 estos están por debajo del límite máximo permisible.

- En cuanto a la fitotoxicidad del residuo, no tuvo efectos letales para las semillas de lechuga, sólo se obtuvieron algunos efectos subletales como el poco desarrollo de los pelos radiculares, y una elevada elongación del hipocotilo, que se puede relacionar con el nitrógeno que se adicionó como HNO_3 durante la neutralización, ya que este es un nutriente importante para las plantas.

11. RECOMENDACIONES

Aplicando el concepto de producción limpia, tratar de minimizar las cantidades de reactivos que se usan en los análisis y, recuperar dentro de los procesos los reactivos que se puedan. Con esto, se disminuyen costos de análisis y de reactivos.

Buscar otras metodologías que sean menos costosas pero efectivas para la neutralización de los residuos de DQO que son los que se consideran más peligrosos.

Investigar otras metodologías de tratamiento para los demás residuos, ya que los de DQO al ser los más peligrosos, es en los que los demás autores se han concentrado en tratar.

Sustituir el uso de HNO_3 en los tratamientos, por ácido cítrico para que no se vean alterados los parámetros de los compuestos nitrogenados.

Realizar bioensayos con otros indicadores, ya que en algunos casos los resultados pueden variar de un sujeto a otro, y con otra matriz de agua, pues en este caso los residuos se obtuvieron de análisis de agua natural y agua doméstica porque eran las matrices que estaban llegando, pero para aguas residuales no domésticas los resultados pueden ser variables.

12. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- APHA. (2012). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. Washington, DC: Clearway Logistics Phase 1a.
- Bohórquez Echeverry, P., & Campos Pinilla, C. (2007). Evaluación de lactuca sativa y selenastrum capricornutum como indicadores de toxicidad en aguas. *Universitas Scientiarum*, 12(2), 83–98. <https://doi.org/10.11144/univ.sci.v12i2.4868>
- ECOSAM SAS. (n.d.-a). Mision y Vision. Retrieved July 25, 2018, from <http://ecosamsas.com/mision-y-vision.html>
- ECOSAM SAS. (n.d.-b). Quienes somos. Retrieved September 13, 2018, from <https://ecosamsas.com/quienes-somos.html>
- EPA. (n.d.). EPA hazardous waste codes, 1–24. Retrieved from <http://www.gecap.org/pdf/hazardouswastecodes.pdf>
- EPA. (2014). Manejando sus Residuos Peligrosos. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Flores, R., Valladares, P., & Villegas, W. (2013). Propuesta de tratamiento y disposición final de los residuos químicos generados en el laboratorio de calidad de aguas del ministerio de medio ambiente y recursos naturales. Universidad de El Salvador.
- Hernandez-sori, L. (2015). Estudios ecotoxicológicos en diferentes bioindicadores ambientales del bioplaguicida Tricosave-34. Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas.
- Hoekstra, N. J., Bosker, T., & Lantinga, E. A. (2002). Effects of cattle dung from

- farms with different feeding strategies on germination and initial root growth of cress (*Lepidium sativum* L.). *Ecosystems and Environment* (Vol. 93). Retrieved from https://ac-els-cdn-com.consultaremot.upb.edu.co/S0167880901003486/1-s2.0-S0167880901003486-main.pdf?_tid=53829558-3dc4-4f81-92bf-3a1afd0aa6fe&acdnat=1538743811_67b4ac177b586a59905b0e5143ee7bf2
- Iannacone, J., Dale, W., & Alviño, L. (1998). Pruebas ecotoxicológicas para la evaluación del impacto ambiental en los ecosistemas acuáticos. *Boletón de Lima*, (January), 53–68.
- IBA-HAMBURG. (n.d.). Energy Hill Georgswerder. Retrieved September 13, 2018, from <https://www.iba-hamburg.de/en/projects/energieberg-georgswerder/projekt/energy-hill-georgswerder.html>
- IDEAM. (2017). Informe Nacional de Desechos Peligrosos en Colombia - 2016. Bogotá, D.C. Retrieved from <http://www.ideam.gov.co/documents/51310/68175684/Respel+Informe+Nal+internet+2016+-+IDEAM.pdf/4cd6899c-2ab7-487f-ac01-badd19dda42c?version=1.0>
- Klaassen, P. (n.d.). Raíces y pelos radicales | CANNA España. Retrieved October 4, 2018, from http://www.canna.es/raices_y_pelos_radicales
- Lallana, M. del C., Billard, C. E., Elizalde, J. H., & Lallana, V. H. (2008). Bioensayo de germinación de *Lactuca sativa* (L.): Determinación de calidad de agua en represas para riego. *Revista de La Facultad de Ciencias Agrarias*, 40(1), 29–38.
- López-galán, J. E. (2006). Separación de plata , mercurio y cromo de residuos

provenientes de los análisis de demanda química de oxígeno (DQO).
Ingeniería y Competitividad, 8, 46–54.

MADS. (2015). Minambiente presenta nueva Norma de Vertimientos que permitirá mejorar la calidad agua del país | Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Retrieved December 4, 2018, from <http://www.minambiente.gov.co/index.php/noticias/1700-minambiente-presenta-nueva-norma-de-vertimientos-que-permitira-mejorar-la-calidad-agua-del-pais>

Mañunga, T., Gutiérrez, H. M., Victoria, J. A. R., & Díaz, A. V. (2010). Tratamiento de residuos de DQO generados en laboratorios de análisis ambientales. *Ingeniería e Investigación*, 30(2), 87–95.

Maraza, Lady, Jalire, Y., Banegas, D., Mamani, L., & Ticona, A. (2016). Análisis Probit. Tacna, Perú. Retrieved from <https://es.slideshare.net/lalymraz/anlisis-probit>

Márquez, F. (2013). Residuos Peligrosos. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

Martínez, J., Mallo, M., Lucas, R., Álvarez, J., Salvarrey, A., & Gristo, P. (2005). *Guía para la Gestión Integral de Residuos Peligrosos-Fundamentos*. Montevideo, Uruguay. Retrieved from http://www.cempre.org.uy/docs/biblioteca/guia_para_la_gestion_integral_residuos/gestion_respel01_fundamentos.pdf

Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial. Decreto 4741 de 2005 (2005). Retrieved from <http://www.cdmb.gov.co/web/ciudadano/centro-de-descargas/277-decreto-4741-de-2005-1/file>

Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial. (2007). Gestión Integral de Residuos o Desechos Peligrosos Bases Conceptuales. *Dirección de Desarrollo Sectorial Sostenible*, 1(24), 186. Retrieved from <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/IA/INS/manual-gestion-integral-residuos.pdf>

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2005). Guías ambientales de almacenamiento y transporte por carretera de sustancias químicas peligrosas y residuos peligrosos., 167. Retrieved from <https://www.minambiente.gov.co/index.php/component/content/article?id=190:plantilla-asuntos-ambientales-y-sectorial-y-urbana-sin-galeria-6#información-de-interés>

PBS NewsHour. (2018). Residents say Love Canal chemicals continue to make them sick - *YouTube*. Retrieved from <https://www.youtube.com/watch?v=64GRkGYaBmM>

Pentreath, V., González, E., Barquín, M., Maris Ríos, S., & Perales, S. (2015). Bioensayo de toxicidad aguda con plantas nativas para evaluar un derrame de petróleo. *Revista de Salud Ambiental*, 15(1), 13–20. Retrieved from <http://ojs.diffundit.com/index.php/rasa/article/viewFile/551/668>

Perez Montaña, E. (2011). Procedimiento para la gestión y disposición de los residuos sólidos y peligrosos.

Pinto, L. (2009). Determinación De La Concentración De Inhibición Media (Ce50) De Cromo Para La Semilla Lactuca Sativa Mediante Ensayos De Toxicidad. Universidad de la Salle. Retrieved from <http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/14908/T41.09>

P658d.pdf?sequence=1%0Arepository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/14908/T41.09 P658d.pdf?...1

Portillo, G. (2017). ¿Qué ocurrió exactamente en el Love Canal? Retrieved August 28, 2018, from <https://www.renovablesverdes.com/ocurrio-exactamente-love-canal/>

Sánchez, L., & Andrade, A. (2012). Determinación de la concentración letal media (CL50-60) del cianuro, por medio de bioensayos sobre alevinos de trucha arco iris (*Oncorhynchus mukiss*). Universidad de la Salle.

Semana. (2017, March 7). Colombia está inundada de residuos peligrosos. *Semana Sostenible*. Retrieved from <https://sostenibilidad.semana.com/medio-ambiente/articulo/residuos-peligrosos-en-colombia-un-grave-problema/37263>

Silbergeld, E. K. (2000). Toxicología, principios generales de la toxicología. *Enciclopedia de Salud y Seguridad En El Trabajo*, 33.

Sobrero, M. C., & Ronco, A. (2004). Ensayo de toxicidad aguda con semillas de lechuga *Lactuca sativa* L. *Imta*, 55–67. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

Thompson, M., Rothman, M., & Regan, M. D. (2018, August 5). Residents say Love Canal chemicals continue to make them sick | PBS NewsHour. *PBS NewsHour*. Retrieved from <https://www.pbs.org/newshour/show/residents-say-love-canal-chemicals-continue-to-make-them-sick>

Vela-Correa, O. I., & Beltrán-Paz, G. (2008). Suelos Contaminados. *Vasa*, 1–10. Retrieved from <http://medcontent.metapress.com/index/A65RM03P4874243N.pdf>

VROM. (n.d.). Soil Pollution in the Netherlands. Ámsteram. Retrieved from

http://www.renaremark.se/filarkiv/holland2006/A1_Ruud_Cino.pdf

ANEXO A.

Punto ecológico ECOSAM SAS



ANEXO B.

Recolección de datos bioensayo

- Blancos

No. Semilla	BLANCO 1		BLANCO 2	
	Long. Radícula (cm)	Long. Hipocotilo (cm)	Long. Radícula (cm)	Long. Hipocotilo (cm)
1	3	2	2,5	2,2
2	2	2,1	3,5	2,25
3	1,6	1,7	1,7	1,9
4	2,5	2,1	3,65	2,2
5	3,2	2,6	3,7	2,6
6	2,4	2	1,1	1,2
7	2	1,8	1,4	2
8	1,1	2,1	1,2	1,9
9	2,2	2	2,7	2,4
10	3,6	2,1	0,6	0,1
11	1,3	1,9	0,6	0,5
12	1,6	2,4	0,3	0,4
13	2,5	1,8	0,5	0,7
14	1,5	2,5	0,5	0,1
15	1,4	0,9	0,5	0,1
16	0,6	0,4	0,2	0,1
17	0,1	0,1	0,2	0,3
18	0,4	0,3	0,5	0,1
19	0,9	0,9	0,3	0,1
20	0	0	0	0

- Concentración del 25% y duplicado

No. Semilla	25%		25% Duplicado	
	Long. Radícula (cm)	Long. Hipocotilo (cm)	Long. Radícula (cm)	Long. Hipocotilo (cm)
1	1,1	4,6	1,1	4,4
2	1,5	4,6	1,9	5,4
3	1,4	4,9	1,7	6,1
4	2	3,9	1,2	4,9
5	1,5	4,4	1,2	4,2
6	1,2	4,2	1	4,4
7	1,3	5,2	1	4,6
8	1,1	4,6	1,1	4,4
9	1,2	4,4	1,1	5,2
10	1,5	4,6	0,8	3,7
11	1,6	5,2	1,1	4,7
12	1,1	4,2	1,2	3,1
13	1,5	4,6	1,5	3,9
14	1,8	4,9	1,2	5,3
15	1,2	4,4	1,4	3,7
16	0,3	0,1	0,2	0,2
17	1,1	4,3	0,1	0,2
18	1,4	4,7	1,1	4,5
19	1,2	4,4	0	0
20	0	0	0	0

- Concentración del 50% y duplicado

No. Semilla	50%		50% Duplicado	
	Long. Radícula (cm)	Long. Hipocotilo (cm)	Long. Radícula (cm)	Long. Hipocotilo (cm)
1	0,6	2,4	1	3,2
2	1,4	4,4	1	3,5
3	1,1	5	1,3	3,5
4	0,9	4,5	2,6	5,9
5	1,1	4,5	1,4	2,4
6	1	4,3	1,2	5
7	1,1	5	1	4
8	0,6	2,8	1,2	4,3
9	0,8	1,5	1,5	3,8
10	1,5	4,5	1,6	5,5
11	1,6	3,2	1,5	4,6
12	1,6	4,7	1,4	3,6
13	0,9	4,2	1,5	4,2
14	1,4	4,3	0,2	0,3
15	1,2	4,1	0,5	0,8
16	1	2,5	0	0,2
17	1,3	4,1	0,8	4,3
18	1,4	5	1,2	4
19	1	3,3	1	3,7
20	0	0	0	0

- Concentración del 75% y duplicado

No. Semilla	75%		75% Duplicado	
	Long. Radícula (cm)	Long. Hipocotilo (cm)	Long. Radícula (cm)	Long. Hipocotilo (cm)
1	0,8	4,7	2,1	4,9
2	2,3	4,3	1,8	5,2
3	0,9	4,1	1,1	1,2
4	1	4,2	1,9	5,9
5	1,7	4	1,1	3,5
6	1,4	4,2	1,8	4,7
7	1,3	4,1	2,3	5
8	2,1	5,2	1	3,9
9	0,5	1	1,5	4,3
10	2,2	5,3	0,2	0,4
11	1,4	5,4	1	4,2
12	1,9	4,9	1,1	4
13	0,5	0,8	1,1	2,3
14	2,1	4,9	1,3	4,6
15	1,4	4,2	0,8	3,8
16	1,3	0,9	0,3	0,7
17	0	0	0	0
18	0	0	0	0
19	0	0	0	0
20	0	0	0	0

- Concentración del 100% y duplicado

No. Semilla	100%		100% Duplicado	
	Long. Radícula (cm)	Long. Hipocotilo (cm)	Long. Radícula (cm)	Long. Hipocotilo (cm)
1	1	2,9	1,6	3,6
2	1	2,2	1,6	3,8
3	1,2	3	1,2	4
4	0,9	2,5	1,1	3,6
5	1,1	2,7	0,7	3,4
6	1,3	3	1,4	3,4
7	1,1	1,8	2	2,9
8	0,9	1	1,5	3,8
9	1,1	2,8	0,8	1,9
10	1	3	0,9	3
11	0,6	2,5	1	3,8
12	0,5	1,7	1,3	3,3
13	0,4	1,6	0,6	0,9
14	1,2	2,9	0,5	0,5
15	1,1	1,8	0,6	1,5
16	0,9	1,7	0	0
17	0	0	0	0
18	0	0	0	0
19	0	0	0	0
20	0	0	0	0

ANEXO C.

Relación entre el Probit empírico y el porcentaje de mortalidad.

%	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	-	2,67	2,95	3,12	3,25	3,36	3,45	3,52	3,59	3,66
10	3,72	3,77	3,82	3,87	3,92	3,96	4,01	4,05	4,08	4,12
20	4,16	4,19	4,23	4,26	4,29	4,33	4,36	4,39	4,42	4,45
30	4,48	4,50	4,53	4,56	4,59	4,61	4,64	4,67	4,69	4,72
40	4,75	4,77	4,80	4,82	4,85	4,87	4,90	4,92	4,95	4,97
50	5,00	5,03	5,05	5,08	5,10	5,13	5,15	5,18	5,20	5,23
60	5,25	5,28	5,31	5,33	5,36	5,39	5,41	5,44	5,47	5,50
70	5,52	5,55	5,58	5,61	5,64	5,67	5,71	5,74	5,77	5,81
80	5,84	5,88	5,92	5,95	5,99	6,04	6,08	6,13	6,18	6,23
90	6,28	6,34	6,41	6,48	6,55	6,64	6,75	6,88	7,05	7,33
%	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
99a	7,33	7,37	7,41	7,46	7,51	7,58	7,65	7,75	7,88	9,09

A Valores entre 99, 0 y 99, 9.

ANEXO D.

Resultados Probit

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,620389359
Coefficiente de determinación R²	0,384882957
R² ajustado	0,077324435
Error típico	0,443663672
Observaciones	4

ANÁLISIS DE VARIANZA					
	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>
Regresión	1	0,246325092	0,246325092	1,25141373	0,379610641
Residuos	2	0,393674908	0,196837454		
Total	3	0,64			

	<i>Coefficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Inferior 95%</i>	<i>Superior 95%</i>	<i>Inferior 95,0%</i>	<i>Superior 95,0%</i>
Intercepción	3,884878892	0,248337	15,64360	0,00406139	2,81637281	4,95338498	2,816373	4,9534
Variable X 1	0,10129863	0,090553	1,11866	0,37961064	-0,28831973	0,49091699	-0,2883197	0,4909

