



**UNIVERSIDAD ESTATAL DE MILAGRO
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO**

MAESTRÍA EN MATEMÁTICA, MENCIÓN MODELACIÓN MATEMÁTICA

**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:
MAGÍSTER EN MATEMÁTICA, MENCIÓN MODELACIÓN MATEMÁTICA**

**TEMA: “MODELO MATEMÁTICO PARA CONTROL DE LIXIVIADOS
EN TRATAMIENTO DE DESECHOS SÓLIDOS URBANOS EN UN
MUNICIPIO DE ECUADOR”**

AUTOR: ING. EDWIN RAMON CEVALLOS AYÓN

TUTOR: ING. RICHARD IVÁN RAMÍREZ ANORMALIZA

Milagro, 24 de noviembre 2023

ECUADOR

ACEPTACIÓN DEL TUTOR

En calidad de Tutor de Proyecto de Investigación, nombrado por el Comité Académico del Programa de Maestría en Matemáticas

CERTIFICO

Que he analizado el Proyecto de Investigación con el tema **MODELO MATEMÁTICO PARA CONTROL DE LIXIVIADOS EN TRATAMIENTO DE DESECHOS SÓLIDOS URBANOS EN UN MUNICIPIO DE ECUADOR**, elaborado por el **ING. EDWIN RAMON CEVALLOS AYÓN**, el mismo que reúne las condiciones y requisitos previos para ser defendido ante el tribunal examinador, para optar por el título de **MAGÍSTER EN MATEMÁTICA, MENCIÓN MODELACIÓN MATEMÁTICA**

Milagro, a los 13 días del mes de noviembre de 2023

[firma electrónica]

Ing. Richard Iván Ramírez Anormaliza

[1203238132]

DECLARACIÓN DE AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN

El autor de esta investigación declara ante el Comité Académico del Programa de Maestría en Matemática, Mención Modelación Matemática, de la Universidad Estatal de Milagro, que el trabajo presentado es de mi propia autoría, no contiene material escrito por otra persona, salvo el que está referenciado debidamente en el texto; parte del presente documento o en su totalidad, no ha sido aceptado para el otorgamiento de cualquier otro Título de una institución nacional o extranjera.

Milagro, a los 24 días del mes de noviembre de 2023

Ing. Edwin Ramon Cevallos Ayón

Cedula: 1201222575

CERTIFICACIÓN DE LA DEFENSA



VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO DIRECCIÓN DE POSGRADO CERTIFICACIÓN DE LA DEFENSA

El TRIBUNAL CALIFICADOR previo a la obtención del título de **MAGÍSTER EN MATEMÁTICA CON MENCIÓN EN MODELACIÓN MATEMÁTICA**, presentado por **ING. CEVALLOS AYON EDWIN RAMON**, otorga al presente proyecto de investigación denominado **"MODELO MATEMÁTICO PARA CONTROL DE LIXIVIADOS EN TRATAMIENTO DE DESECHOS SÓLIDOS URBANOS EN UN MUNICIPIO DE ECUADOR"**, las siguientes calificaciones:

| | |
|-----------------------|-----------|
| TRABAJO DE TITULACION | 58.33 |
| DEFENSA ORAL | 39.33 |
| PROMEDIO | 97.67 |
| EQUIVALENTE | Excelente |



El grado otorgado corresponde por:
**ALBERTO ANDRES LEON
BATALLAS**

**MSc. LEON BATALLAS ALBERTO ANDRES
PRESIDENTE/A DEL TRIBUNAL**



El grado otorgado corresponde por:
**KLEBER ANDRES MORA
GUEVARA**

**MSc. MORA GUEVARA KLEBER
ANDRES
VOCAL**



El grado otorgado corresponde por:
**JHONNY DARWIN ORTIZ
MATA**

**Mgrt. ORTIZ MATA JHONNY DARWIN
SECRETARIO/A DEL TRIBUNAL**

DEDICATORIA

A: mi familia los Cevallos Andagoya, los Pachachos, los Arce Icaza, los Albarracín Naranjo, Sra. Cielo, la Pachacha, Don Miguel, Sra. Lourdes, los amigos de toda la vida, los Arcillosos, los Buenos muchachos, los Cítricos, compañeros Docentes, al Joven Max, a los alumnos que me han soportado durante más de 23 años, como Docente de la asignatura de Ecuaciones Diferenciales en la Universidad Estatal de Milagro.

AGRADECIMIENTO

A mis amigos: Ing. Richard Iván Ramírez Anormaliza tutor del presente trabajo, Ing. Luis Alejandro Palacios Echeverria especialista en obras civiles saneamiento ambiental, Ing. Dalva Icaza Rivera Docente de la Universidad Estatal de Milagro, en agradecimiento por la ayuda y colaboración prestadas en todo momento.

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Doctor Fabricio Guevara Viejó

Rector de la Universidad Estatal de Milagro

Presente.

Mediante el presente documento, libre y voluntariamente procedo a hacer la Cesión de Derecho de Autor del Trabajo realizado como requerimiento para la obtención del mi Título de Cuarto Nivel, cuyo tema fue “Modelo matemático para control de lixiviados en tratamiento de desechos sólidos urbanos en un Municipio de Ecuador”, que corresponde al Vicerrectorado de Investigación y Posgrado

Milagro, a los 24 días del mes de noviembre de 2023

Ing. Edwin Ramon Cevallos Ayón

Cedula: 1201222575

ÍNDICE GENERAL

| | |
|--|---|
| 1. CAPÍTULO I: EL PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN | 1 |
| 1.1. Planteamiento del problema | 1 |
| 1.2. Delimitación del problema | 2 |
| 1.3. Formulación del problema | 3 |
| 1.4. Preguntas de investigación | 3 |
| 1.5. Determinación del tema | 4 |
| 1.6. Objetivo general | 4 |
| 1.7. Objetivos específicos..... | 4 |
| 1.8. Hipótesis..... | 4 |
| 1.8.1. Hipótesis General..... | 4 |
| 1.8.2. Hipótesis particulares..... | 4 |
| 1.9. Declaración de las variables de operacionalización..... | 5 |
| Variable dependiente: | 5 |
| Variable independiente: | 5 |
| 1.10. Justificación | 6 |
| 1.10.1. Justificación Teórica | 6 |
| 1.10.2. Justificación metodológica..... | 6 |
| 1.10.3. Justificación practica | 6 |

| | | |
|--------|---|----|
| 1.11. | Alcance y limitaciones..... | 6 |
| 2. | CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO REFERENCIAL..... | 7 |
| 2.1. | Antecedentes | 7 |
| 2.1.1. | Antecedentes históricos | 7 |
| 2.1.2. | Antecedentes referenciales..... | 8 |
| 2.2. | Contenido teórico que fundamenta la investigación | 9 |
| 3. | CAPÍTULO III: DISEÑO METODOLÓGICO..... | 10 |
| 3.1. | Tipo y diseño de investigación..... | 10 |
| 3.1.1. | Investigación Exploratoria:..... | 10 |
| 3.1.2. | Investigación Documental: | 10 |
| 3.1.3. | Investigación de Campo:..... | 10 |
| 3.1.4. | Investigación Aplicada: | 10 |
| 3.1.5. | Investigación Cuantitativa: | 11 |
| 3.2. | La población y la muestra | 11 |
| 3.2.1. | Características de la población..... | 11 |
| 3.2.2. | Delimitación de la población | 11 |
| 3.2.3. | Tipo de muestra..... | 11 |
| 3.2.4. | Componentes de la muestra laboratorio..... | 12 |
| 3.2.5. | Proceso de selección de la muestra..... | 13 |
| 3.2.6. | Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce..... | 13 |

| | | |
|--------|---|----|
| 3.3. | Los métodos y las técnicas | 14 |
| 3.3.1. | Investigación cuantitativa: | 14 |
| 3.4. | Procesamiento estadístico de la información | 15 |
| | Sólidos suspendidos totales (SST): | 15 |
| | Sólidos sedimentados (SS): | 15 |
| | Aceites y grasas (AG): | 15 |
| | Hidrocarburos totales de petróleo (TPH): | 15 |
| | Potencial de hidrógeno (ph): | 16 |
| | Coliformes fecales (NMP): | 16 |
| | Demanda bioquímica de oxígeno (DBO): | 16 |
| | Demanda química de oxígeno (DQO): | 16 |
| 3.4.1. | Índice Biodegradabilidad Lixiviado | 16 |
| 3.5. | Ecuación diferencial lineal del lixiviado | 17 |
| 3.5.1. | Solución particular de la ecuación diferencial lineal | 18 |
| 3.5.2. | Solución de la ecuación diferencial lineal, de la “Descarga máxima permitida” ... | 18 |
| 3.5.3. | Solución EDO de la “descarga promedio los Aguacates” | 20 |
| 3.5.4. | Análisis matemático del cálculo de la descarga promedio de lixiviado | 21 |
| 4. | CAPÍTULO IV: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS | 22 |
| 4.1. | Medidas estadísticas descriptivas: | 22 |
| 4.2. | Medidas matemáticas inferenciales: | 22 |

| | | |
|------|---|----|
| 4.3. | Formulación del modelo matemático: | 22 |
| 4.4. | Análisis de la situación actual | 23 |
| 4.5. | Piscina de sedimentación: | 23 |
| 4.6. | Piscina de lixiviado: | 23 |
| 4.7. | Análisis Comparativo..... | 24 |
| | Descarga máxima normativa ambiental:..... | 24 |
| | Descarga promedio los Aguacates:..... | 24 |
| | Diferencia:..... | 24 |
| 4.8. | Formulación matemática | 24 |
| 5. | CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... | 27 |
| 5.1. | Conclusiones | 27 |
| 5.2. | Recomendaciones..... | 28 |
| 6. | Referencias Bibliográficas | 29 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---------------|----|
| Tabla 1. | 5 |
| Tabla 2. | 14 |
| Tabla 3. | 17 |
| Tabla 4. | 26 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---------------|----|
| Figura 1..... | 19 |
| Figura 2..... | 21 |
| Figura 3..... | 24 |
| Figura 4..... | 25 |

Resumen

El Cantón San Francisco de Milagro y sus Parroquias Rurales con más de 160.000 habitantes, producen 90 ton/día promedio de desechos sólidos, los cuales son recogidos por camiones recolectores, volquetas y otros, que son llevados hacia el botadero de basura a cielo abierto, ubicado en el Recinto Los Aguacates de la Parroquia Rural Mariscal Sucre, que se encuentra ubicado a 6 km de distancia del Cantón Milagro.

Los desechos sólidos recogidos en forma diaria están conformados por: plástico 9,17 %, papel – cartón 4,43 %, orgánicos 67,55 %, metales 1,05 %, vidrio 2,25%, sanitarios 12,14 %, otros 3,41 %, los cuales son apilados y tapados con material de préstamo importado (arcilla) por equipo pesado, trabajo que no cumple con las condiciones técnicas apropiadas para el tratamiento de basura lo que genera: gases (metano), lixiviados, proliferación de vectores y todo tipo de plagas que contaminan el medio ambiente, provocando a corto plazo la extinción de especies animales, vegetales y colaborando en forma negativa con el calentamiento global del planeta tierra

Debido al proceso natural de fermentación, descomposición, degradación de la materia orgánica presente en los desechos sólidos del botadero basura origina un líquido (lixiviado) de color negro, de olor muy penetrante, el cual arrastra todo tipo de sustancias nocivas: físicas, químicas y bacteriológicas que son altamente contaminante, tóxicas, y nocivas para el medio ambiente, por lo que el trabajo investigación utiliza una ecuación diferencial lineal como modelo matemático con la condición necesaria de que la suma de los variables físicas y químicas son equivalente a la variable bacteriológica, cuya descarga calculada en cualquier instante permitiría determinar si el lixiviado generado por la descomposición de los desechos sólidos cumple o no con las normas ambientales vigentes.

Palabras clave: Desechos sólidos, Botadero de basura, Contaminación ambiental, Lixiviado

Abstract

The Canton of San Francisco de Milagro and its Rural Parishes with more than 160,000 inhabitants, produce an average of 90 tons/day of solid waste, which is collected by collection trucks, dump trucks and others, which are taken to the open-air garbage dump. located in the Los Aguacates Campus of the Mariscal Sucre Rural Parish, which is located 6 km away from the Milagro Canton.

The solid waste collected daily is made up of: plastic 9.17%, paper – cardboard 4.43%, organic 67.55%, metals 1.05%, glass 2.25%, sanitary 12.14%, others 3.41%, which are stacked and covered with imported borrowed material (clay) by heavy equipment, work that does not comply with the appropriate technical conditions for garbage treatment, which generates: gases (methane), leachate, proliferation of vectors and all types of pests that contaminate the environment, causing the short-term extinction of animal and plant species and collaborating negatively with the global warming of planet Earth.

Due to the natural process of fermentation, decomposition, degradation of the organic matter present in the solid waste of the garbage dump, it creates a black liquid (leachate), with a very penetrating odor, which carries all types of harmful substances: physical, chemical and bacteriological that are highly polluting, toxic, and harmful to the environment, so the research work uses a linear differential equation as a mathematical model with the necessary condition that the sum of the physical and chemical variables are equivalent to the bacteriological variable, whose discharge calculated at any time would allow determining whether or not the leachate generated by the decomposition of solid waste complies with current environmental standards.

Keywords: Solid waste, Landfill, Environmental pollution, Leachate

CAPÍTULO I: EL PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Planteamiento del problema

El Cantón San Francisco de Milagro y sus Parroquias Rurales con más de 160.000 habitantes, producen 90 ton/día promedio de desechos sólidos, los cuales son recogidos por camiones recolectores, volquetas y otros, que son llevados hacia el botadero de basura a cielo abierto, ubicado en el Recinto Los Aguacates de la Parroquia Rural Mariscal Sucre, que se encuentra ubicado a 6 km de distancia del Cantón Milagro.

Los desechos sólidos recogidos en forma diaria están conformados por: plástico 9,17 %, papel – cartón 4,43 %, orgánicos 67,55 %, metales 1,05 %, vidrio 2,25%, sanitarios 12,14 %, otros 3,41 % (Zambrano Pazmiño, 2018).

Los desechos sólidos que llegan al botadero de basura Los Aguacates son apilados y tapados con material de préstamo importado (arcilla) por equipo pesado, trabajo que no cumple con las condiciones técnicas apropiadas para el tratamiento de basura lo que genera: gases, lixiviados, proliferación de vectores y todo tipo de plagas que contaminan el medio ambiente, provocando a corto plazo la extinción de especies animales, vegetales y colaborando en forma negativa con el calentamiento global del planeta tierra (Cedeño Villavicencio, 2005).

Con los datos de las pruebas de laboratorio realizados al lixiviado generado por la descomposición de basura en los Aguacates, correspondiente a los meses de mayo, junio, julio, agosto del 2023, obtenidos en el Municipio del Cantón Milagro, permitirá aplicar una ecuación diferencial lineal como modelo matemático que permitirá disminuir la contaminación ambiental o que se mantenga dentro de los parámetros permitidos por las normas ambientales (Municipio Milagro, 2023).

En el presente trabajo de investigación se aplicará una ecuación diferencial lineal como modelo matemático en la que sus componentes (variables independientes) físicos químicos y bacteriológicos, permitirán determinar en cualquier momento si el lixiviado generado por la descomposición de la basura, cumple con los parámetros permitidos por las normas ambientales (Zill Dennis, 2009).

La ecuación diferencial lineal a utilizar como modelo matemático, determinará en cualquier instante el comportamiento natural de los lixiviados en términos matemáticos, lo que permitirá

comprender como funciona, cuáles son los cambios, cuando ocurrirán los cambios, predecir su resultado, etc. (Escobar J., 2010).

Por ello nace la pregunta, ¿se puede desarrollar un modelo matemático aplicando ecuaciones diferenciales lineales, que me permita determinar en cualquier momento si los componentes físicos, químicos y bacteriológicos de los lixiviados cumplen con la normativa ambiental antes de ser descargados en el medio ambiente? (Suarez Montes, 2016).

3.2. Delimitación del problema

El artículo 14 de la Constitución de la Republica del Ecuador reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado (Constitución de la República del Ecuador, 2008).

El numeral 27 del artículo 66 de la Constitución de la Republica del Ecuador, reconoce y garantiza a las personas el derecho a vivir en un ambiente sano ecológicamente equilibrado libre de contaminación y en armonía con la naturaleza (Constitución de la República del Ecuador, 2008).

Los desechos sólidos tratados en el botadero Los Aguacates en su proceso natural de descomposición, generan lixiviados y gases tóxicos que contaminan el medio ambiente provocando a largo plazo el efecto invernadero en el planeta.

Los lixiviados generados por la descomposición de la basura orgánica al no tratados producen la destrucción de los ecosistemas mediante la contaminación del medio ambiente ríos y el aire de su entorno, considerando que el botadero se encuentra ubicado cerca de un centro poblado (Chávez Montes, 2011).

Los lixiviados generados contienen propiedades altamente contaminantes y al no ser tratados producen en forma directa la degradación de los suelos, además de la extinción de especies animales, vegetales, peces, etc., ocasionando una gran pérdida de la biodiversidad (Quintero Ramírez, 2017).

3.3. Formulación del problema

Debido al proceso natural de fermentación, descomposición, degradación de la materia orgánica presente en los desechos sólidos del botadero basura Los Aguacates, se origina un líquido (lixiviado) de color negro, de olor muy penetrante, el cual arrastra todo tipo de sustancias nocivas: físicas, químicas y bacteriológicas que son altamente contaminante, tóxicas, y nocivas para el medio ambiente (Cedeño Nieto, 2022).

El lixiviado sin tratar es descargado en forma directa al suelo adyacente lo que ocasiona la contaminación del suelo en forma directa y con el tiempo los ríos y esteros que se encuentran a su alrededor.

El lixiviado generado por la descomposición de la basura en los Aguacates está considerado como un efluente altamente tóxico cuyo componente bacteriológico contiene altas concentraciones de organismos patógenos, como la *Escherichia Coli*, *Citribacter Freundii*, *Hafnia Alvei* que pueden causar aumento de enfermedades de todo tipo incluso graves e irreversibles (cancerígenos) en la población que se encuentra en la zona de influencia (Diario La Hora, 2016).

3.4. Preguntas de investigación

¿Utilizar una ecuación diferencial lineal como modelo matemático, me permitirá determinar en cualquier momento si el lixiviado producido por la descomposición de la materia orgánica de los desechos sólidos generados en el botadero de basura los Aguacates, producirá contaminación ambiental?

¿Será posible minimizar la contaminación ambiental causada por los lixiviados producido por la descomposición de la materia orgánica de los desechos sólidos generados en el botadero de basura los Aguacates al utilizar una ecuación diferencial lineal como modelo matemático?

¿Usar en forma técnica microorganismos en el lixiviado permitirá que las variables físicas químicas y bacteriológicas de la ecuación diferencial lineal cumpla con las normativas ambientales?

3.5. Determinación del tema

Usar una ecuación diferencial lineal como modelo matemático que permita minimizar la contaminación ambiental del lixiviado generado por la descomposición de los desechos sólidos en el botadero basura los Aguacates del Cantón Milagro, Provincia del Guayas

3.6. Objetivo general

Proponer un modelo matemático que permita minimizar la contaminación ambiental producida por los lixiviados debido a la descomposición orgánica de los de desechos sólidos.

3.7. Objetivos específicos

Identificar las variables independientes que inciden directamente en la contaminación del medio ambiente producida por los lixiviados.

Construir un modelo matemático utilizando ecuaciones diferenciales lineales, que permita minimizar la contaminación ambiental producida por los lixiviados.

Realizar cambios de valores a las variables física, química y bacteriológica de la ecuación diferencial lineal usada como modelo matemático.

3.8. Hipótesis

3.8.1. Hipótesis General

“La aplicación de un modelo matemático minimizara significativamente la contaminación ambiental producida por los lixiviados debido a la descomposición orgánica de los de desechos sólidos en el botadero de basura los Aguacates del Cantón Milagro”

3.8.2. Hipótesis particulares

“Es posible Identificar las variables independientes que inciden directamente en la contaminación del medio ambiente, producida por los lixiviados”.

“Es posible construir un modelo matemático utilizando ecuaciones diferenciales lineales, que permita minimizar la contaminación ambiental producida por los lixiviados”.

“Es posible realizar cambios de valores a las variables física, química y bacteriológica de la ecuación diferencial lineal usada como modelo matemático”.

3.9. Declaración de las variables de operacionalización

Variable dependiente: Modelo matemático

Variable independiente: Lixiviado (Questionpro, 2020).

Tabla 1.

Tabla de Operación de Variable

| Variable | Definición conceptual | Indicadores | Técnica |
|--|---|---|--|
| Dependiente: Modelo matemático | Utilización de una ecuación diferencial lineal como modelo matemático | Descarga de los lixiviados al medio ambiente | Solución analítica y grafica de la ecuación diferencial lineal |
| Independiente: lixiviado | Componentes físicos, químicos y bacteriológico de los lixiviados | Sólidos Suspendidos Totales (SST), Aceites y grasas, hidrocarburos totales de petróleo, coliformes fecales, potencial de hidrogeno, Metales pesados | Pruebas de laboratorio |

Nota. operacionalización de variable

3.10. Justificación

3.10.1. Justificación Teórica

Considerando que los lixiviados producidos por la descomposición de la materia orgánica de los desechos sólidos en el botadero de basura Los Aguacates, contienen materiales contaminantes, tóxicos, concentración de organismos patógenos, etc., que causan contaminación ambiental y aumento de enfermedades de todo tipo incluso graves e irreversibles (cancerígenos) en la población que se encuentra en la zona de influencia, es necesario analizar, e implementar una ecuación diferencial lineal como modelo matemático que permita minimizar la contaminación ambiental producida por los lixiviados antes de ser vertidos al medio ambiente (Diario La Hora, 2016).

3.10.2. Justificación metodológica

La investigación está basada en un análisis matemático de las variables físicas químicas y bacteriológicas del lixiviado producidos por la descomposición de la materia orgánica de los desechos sólidos en el botadero de basura Los Aguacates, cuyas variables independientes serán parte de la ecuación diferencial lineal usada como modelo matemático (Fernández Bedoya, 2020).

3.10.3. Justificación práctica

La investigación está justificada porque la aplicación de la ecuación diferencial lineal como modelo matemático, permitirá minimizar la contaminación ambiental del lixiviado producida por la descomposición de la materia orgánica de los desechos sólidos en el botadero de basura Los Aguacates (Fernández Bedoya, 2020).

3.11. Alcance y limitaciones

Alcance: la aplicación de una ecuación diferencial lineal como modelo matemático permitirá minimizar la contaminación ambiental del lixiviado producida por la descomposición de la materia orgánica de los desechos sólidos en el botadero de basura Los Aguacates.

Limitaciones: el botadero de basura se encuentra ubicado junto a un centro poblado, rodeada por sembríos de caña de azúcar, banano, café, cacao y frutales en invierno el nivel freático es muy alto.

Existe una infraestructura para el recoger y tratar los lixiviados, sin embargo, ésta no se encuentra operativa, por cuanto el sistema de drenaje de lixiviados está colapsado. El sistema de drenaje incluye tuberías, cajas de registros, lagunas de almacenamiento de lixiviado y geomembranas, se encuentran deterioradas, generando que los lixiviados se infiltran al suelo sin previo tratamiento.

Las pruebas de laboratorio realizado a los lixiviado indican la presencia de hidrocarburos, coliformes fecales, metales pesados, y otros contaminantes, que no cumplen las normativas ambientales, establecido en la TULSMA. Libro VI. Anexo 1, Tabla 12 – límite de descarga a un cuerpo de agua dulce (Ministerio Ambiente, 2017).

El biogás (metano) generado por la descomposición de los desechos sólidos orgánicos en el relleno sanitario los Aguacates del Cantón Milagro, es controlado a través de chimeneas, sin embargo, los quemadores existentes no se encuentran en óptimas condiciones por lo que el biogás producidos son descargados directamente a la atmósfera, siendo uno de los factores que inciden en el efecto invernadero del planeta tierra (Ibarra López, 2020).

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

4.1. Antecedentes

4.1.1. Antecedentes históricos

El actual relleno sanitario del Cantón Milagro se encuentra localizado en el Km. 6 de la vía Milagro–Mariscal Sucre, sector El Aguacate, de la Parroquia Mariscal Sucre, Cantón Milagro, provincia del Guayas (CONSULAT, 2011)

El Cantón San Francisco de Milagro y sus Parroquias Rurales con más de 160.000 habitantes, producen 90 ton/día (Villegas Yagual, 2018) promedio de desechos sólidos, los cuales son recogidos por camiones recolectores, volquetas y otros, que son llevados hacia el botadero de basura a cielo abierto, ubicado en el Recinto Los Aguacates de la Parroquia Rural Mariscal Sucre, que se encuentra ubicado a 6 km de distancia del Cantón Milagro.

Los desechos sólidos recogidos en forma diaria están conformados por: plástico 9,17 %, papel – cartón 4,43 %, orgánicos 67,55 %, metales 1,05 %, vidrio 2,25%, sanitarios 12,14 %, otros 3,41 % (Zambrano Pazmiño, 2018).

4.1.2. Antecedentes referenciales

Almudena en su tesis de grado, para la Universidad de La Coruña, describe la efectividad del tratamiento de aguas residuales (lixiviados) aplicando métodos biológicos, físicos, químicos y de oxidación avanzada, cuyo objetivo principal es eliminar la materia orgánica contaminante presente en el lixiviado antes de ser vertido al medio ambiente (Vilar Montesinos, 2015).

Martínez A. Jannet en su tesis de grado para la Universidad Autónoma del Estado de México, Cuantifica el volumen de descarga de los lixiviados generados por residuos sólidos aplicando el balance de humedad que sirva para mitigar la contaminación ambiental de los suelos, ríos, aire, del valle de Toluca México (Martínez Arias, 2019).

Alonso Solano, en su tesis de grado, para la Universidad Cantabria España, utiliza un proceso de oxidación avanzada que es la degradación de los contaminantes y transformarlos en compuestos susceptibles a ser tratados biológicamente, como tratamiento previo a los métodos convencionales para tratar lixiviados generados por la descomposición de residuos sólidos (Alonso Solana, 2013).

Villalta Murillo, en su tesis de grado, para la Universidad Estatal de Milagro, determina la incidencia de los residuos sólidos en el aumento de la contaminación ambiental de la ciudad, propone un manejo sistemático de los residuos sólidos (Villalta Murillo, 2013).

Ortiz Castro, en su tesis de grado, para la Universidad Estatal de Milagro, estudia los factores que inciden en forma directa en la contaminación ambiental, causada por los gases y lixiviados, en el relleno sanitario los Aguacates del Cantón Milagro (Ortiz Castro, 2014).

Ministerio Ambiente Ecuador, Texto unificado de legislación secundaria del medio ambiente del Ecuador (TULSMA), libro sexto, decreto ejecutivo 3516, Registro Oficial Edición Especial del 31 marzo 2003, Última modificación 29 marzo 2017.

La melaza es el producto final de la refinación de la sacarosa extraída de la caña de azúcar, es rica en potasio, calcio y magnesio, se la utiliza con el ac micro, para realizar la fermentación de los microorganismos patógenos presentes en los lixiviados orgánicos, favoreciendo la

actividad microbiana, disminuyendo la carga contaminante del lixiviado (Duque Aldana, 2014).

4.2. Contenido teórico que fundamenta la investigación

El relleno sanitario a campo abierto del Cantón Milagro se encuentra ubicado en el Km. 6 margen izquierdo de la Vía Milagro – Mariscal Sucre, sector Los Aguacates de la Parroquia Mariscal Sucre, el terreno de 10 hectáreas tiene una cota promedio de 17 metros sobre el nivel del mar, sus límites geográficos son al norte cultivos de caña de azúcar, al sur con la carretera al Recinto Los Aguacates, este con cultivos de caña azúcar, oeste con fincas.

Los desechos sólidos que llegan al botadero de basura Los Aguacates son apilados y tapados con material de préstamo importado (arcilla) por equipo pesado, trabajo que no cumple con las condiciones técnicas apropiadas para el tratamiento de basura lo que genera: gases, lixiviados, proliferación de vectores y todo tipo de plagas que contaminan el medio ambiente, provocando a corto plazo la extinción de especies animales, vegetales y colaborando en forma negativa con el calentamiento global del planeta tierra.

La Ciudad de Milagro no cuenta con un sistema de gestión ambiental, que abarque incluso el reciclaje y segregación de las 90 toneladas diarias de desechos sólidos que llegan al botadero de basura, razón por la cual la descomposición de la materia orgánica en gases (metano) y lixiviados se la realiza en forma directa al medio ambiente

Los desechos sólidos que llegan al botadero basura son tapadas con material de préstamo importado (arcilla), los cuales con el tiempo generan en forma continua gases (metano) que son quemados por chimeneas y medio litro de lixiviado por hora, que son vertidos a la piscina de sedimentación, líquido que al alcanzar su altura máxima rebosa y contamina el medio ambiente. En el botadero de basura Los Aguacates existe una infraestructura (piscina) que está colapsada que fue construida para recibir los lixiviados la misma que se encuentra colapsada e invadida por ratas, aves de rapina, vectores y otros.

El Departamento de Higiene del Municipio de Milagro y el Laboratorio Grupo Químico Marcos de la Ciudad de Guayaquil realizaron un estudio a los lixiviados generados por la

descomposición de materia orgánica en el botadero basura Los Aguacates, (Municipio Milagro, 2023).

CAPÍTULO III: DISEÑO METODOLÓGICO

5.1. Tipo y diseño de investigación

5.1.1. Investigación Exploratoria:

Es del tipo exploratoria, debido a que se realiza una aproximación a un tema de contaminación del medio ambiente provocado por los lixiviados en la descomposición de los desechos sólidos, que no ha sido estudiado a fondo y con la recolección de datos en el Municipio de Milagro, se pueda descubrir patrones (variables independientes), que permitirá lograr los objetivos generales y específicos, que permitieron desarrollar un modelo matemático aplicando ecuaciones diferenciales lineales.

5.1.2. Investigación Documental:

Este estudio es de carácter documental debido a que para su elaboración se utilizaron diferentes fuentes bibliográficas como libros, artículos científicos, tesis grados, informes, pruebas laboratorio, etc., entre otros que permitieron elaborar modelo matemático aplicando ecuaciones diferenciales lineales.

5.1.3. Investigación de Campo:

El trabajo de investigación se lo realizo en el sitio mismo del problema que es el botadero de basura ubicado en Los Aguacates y en la bodega de archivo del Municipio del Cantón Milagro, con la finalidad de conocer la situación real que siguen generando los lixiviados en la descomposición de la materia orgánica del botadero de basura.

5.1.4. Investigación Aplicada:

El trabajo de investigación es aplicable porque utiliza un conocimiento científico (matemático) a un problema sanitario comunitario del Cantón Milagro, en la que aplicando ecuaciones diferenciales lineales como modelo matemático se pueda controlar la contaminación ambiental producida por los lixiviados en la descomposición de la materia orgánica del botadero de basura.

5.1.5. Investigación Cuantitativa:

El trabajo de investigación es cuantitativa porque se recopilaban datos diarios de la bodega de archivo del Municipio de Milagro, como toneladas basura generada, número viajes, pruebas de laboratorio, cantidad de lixiviado generado, etc., que sirvieron para identificar la tendencia, cantidad lixiviado generado, grado de contaminación, lo que permitió realizar un modelo matemático aplicando ecuaciones diferenciales que permitieran controlar la contaminación ambiental producida por los lixiviados en la descomposición de la materia orgánica del botadero de basura.

5.2. La población y la muestra

5.2.1. Características de la población

En el presente trabajo se utilizó la información obtenida de las investigaciones tanto exploratoria, documental, campo, entregado por la Municipalidad de Milagro, el tamaño de la muestra analizada y estudiada fue los de los meses de mayo junio julio agosto del 2023 (Municipio Milagro, 2023).

5.2.2. Delimitación de la población

El universo finito de los componentes físicos, químicos, bacteriológicos de los lixiviados, que sirvieron para obtener las variables independientes del modelo matemático aplicando ecuaciones diferenciales líneas, cuya información fue entregada por la Municipalidad de Milagro cuando se realizó la investigación cuantitativa, corresponden a las pruebas de laboratorio realizado a los lixiviados (Municipio Milagro, 2023).

5.2.3. Tipo de muestra

Delimitada la población, las muestras a ser consideradas como variables independientes de la ecuación diferencial lineal como modelo matemático son:

Componente físico (F): Sólidos suspendidos totales (SST).

Componente químico (H): pH, Aceite y grasas (AG), Hidrocarburos totales de petróleo (TPH).

Componente bacteriológico (B): Demanda química de oxígeno (DQO), Demanda bioquímica de oxígeno (DBO).

5.2.4. Componentes de la muestra laboratorio

Sólidos suspendidos totales (SST): ES el residuo que queda después de evaporar una muestra de los lixiviados previamente filtrada a través de un elemento de fibra de vidrio con abertura de 1.5 micras. El agua se evapora y el residuo se lleva hasta 180°C., el valor máximo permitido es de 130 mg/l.

Sólidos totales (SS): son los sólidos sedimentados que se encuentran presente en los lixiviados, el valor máximo permitido es de 1600 mg/l.

Potencial de hidrogeno (ph): Determina el grado de alcalinidad o acidez de los lixiviados. Con el ph determinamos la concentración de hidrogeniones en las aguas residuales, el valor máximo permitido es de 7.5 ph

Aceite y grasas (AG): Son todas aquellas sustancias de naturaleza lipídica, que, al ser inmiscibles con el agua, van a permanecer en la superficie de los lixiviados dando lugar a la aparición de natas y espumas, que al ser vertidos al suelo destruyen el humus, mata la materia viva que hay en él y disminuye su fertilidad y por infiltración contamina las aguas subterráneas haciéndolas inadecuadas para el cultivo, el valor máximo permitido es de 30 mg/l.

Hidrocarburos totales de petróleo (TPH): se refiere a todos los compuestos químicos derivados del petróleo crudo, el valor máximo permitido es de 20 mg/l.

Demanda química de oxígeno (DQO): Indica la cantidad de oxígeno disuelto (mg/l) que se requiere durante un tiempo determinado para la degradación biológica de las sustancias orgánicas contenidas en el agua residual (lixiviado), el valor máximo permitido es de 200 mg/l.

Demanda bioquímica de oxígeno (DBO): determina la cantidad dae oxígeno disuelto (OD) consumida por los microorganismos para descomponer (en condiciones aeróbicas) la materia orgánica presente en una muestra durante un período de tiempo y temperatura específicos, el valor máximo permitido es de 100 mg/l.

Coliforme fecales (NMP): Consiste en la identificación de microorganismos fecales, hongos, levaduras, etc., en los lixiviados, el valor máximo permitido es de 0.002 mg/l.

5.2.5. Proceso de selección de la muestra

La muestra probabilística fue tomada de las pruebas de laboratorio realizado a los lixiviados en el botadero de basura Los Aguacates y corresponden a los meses de mayo, junio, julio, agosto del 2023, información entregada por la Municipalidad del Cantón Milagro, las variables independientes (muestras) consideradas para nuestra investigación y aplicadas en la ecuación diferencial lineal son los componentes: físico, químico y bacteriológico

Componente físico (f): La variable independiente a considerar es la de los sólidos suspendidos totales (SST), ya que los sólidos sedimentales (SS) serán retirados de las piscinas de lixiviados antes de ser descargados al medio ambiente, el valor máximo es de 130 mg/l.

Componente químico (q): La variable independiente a considerar es la suma de los aceite y grasas (AG) con los hidrocarburos totales de petróleo (TPH), el valor máximo es de 500 mg/l.

Componente bacteriológico (b): la variable independiente a considerar es la suma de la demanda química de oxígeno (DQO) con la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), el valor máximo es de 300 mg/l.

5.2.6. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce

Las muestras (variables independientes), fueron obtenidas según lo descrito en la tabla 9 “Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce” correspondiente al Ministerio del Ambiente y publicadas en el Registro Oficial No. 387 del día miércoles 4 de noviembre de 2015.

5.2.4.5 En los tramos del cuerpo de agua en donde se asignen usos múltiples, las normas para descargas se establecerán considerando los valores más restrictivos de cada uno de los parámetros fijados para cada uno.

5.2.4.6 En condiciones especiales de ausencia de estudios del cuerpo receptor, se utilizarán los valores de la TABLA 9 de limitaciones a las descargas a cuerpos de agua dulce, con el aval de la Autoridad Ambiental Competente. Las concentraciones corresponden a valores medios diarios.

5.2.4.7 Los lixiviados generados en los rellenos sanitarios cumplirán con las normas fijadas considerando el criterio de calidad de acuerdo al uso del cuerpo receptor. Adicionalmente, los límites máximos permisibles para descarga de estos lixiviados a cuerpos de agua, se regirán conforme a la normativa ambiental emitida para el efecto.

Tabla 2.***Resumen Limites de Descarga a un Cuerpo de Agua Dulce***

| COMPONENTE FÍSICO (F): | MÉTODO ANÁLISIS | UNIDAD | NORMA |
|---|----------------------------|---------------|--------------|
| SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (SST) | EPA 160.2 | mg/l | 130 |
| SOLIDOS SEDIMENTADOS (SS) | SA 254F | mg/l | 1600 |
| | | | 130 |
| COMPONENTES QUÍMICOS (Q): | MÉTODO ANÁLISIS | UNIDAD | NORMA |
| ACEITE Y GRASAS (AG) | EPA 413.2 | mg/l | 30 |
| HIDROCARBURO TOTALES DE PETROLEO | EPA 418.1 | Mg/l | 20 |
| | | | 50 |
| COMPONENTES BACTERIOLÓGICOS (B): | MÉTODO ANÁLISIS | UNIDAD | NORMA |
| POTENCIAL HIDROGENO (PH) | SA 4500-HB | ph | 7.5 |
| COLIFORMES FECALES (NMP) | EPA 160.2 | mg/l | 0.002 |
| DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGENO (DBO) | SM 5210B | mg/l | 100 |
| DEMADA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO) | EPA 410.4 | mg/l | 200 |
| | | | 300 |

Nota. Limites descarga un cuerpo de agua dulce

5.3. Los métodos y las técnicas

5.3.1. Investigación cuantitativa:

De acuerdo con las pruebas de laboratorio entregados por la Dirección de Obras Publicas del Municipio de Milagro, realizado en los meses de mayo, junio, julio, agosto del 2023 a los lixiviados (aguas residuales) generadas por la descomposición de los desechos sólidos en el botadero basura los Aguacates.

Se aplicará un método teórico lógico, deductivo, pruebas de laboratorio, que permita aplicar una ecuación diferencial lineal como modelo matemático, para minimizar la contaminación ambiental producida por los lixiviados debido a la descomposición de los desechos sólidos, los datos obtenidos en las pruebas de laboratorio son:

Potencial hidrogeno (ph)
Solidos suspendidos totales (SST)
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)
Demanda química de oxígeno (DQO)
Aceites y grasas (AG)
Solidos sedimentales (SS)
Hidrocarburos totales de petróleo (TPH)
Coliformes fecales (NMP)
Índice proporcionalidad (DBO/DQO)

5.4. Procesamiento estadístico de la información

La información obtenida de las investigaciones tanto exploratoria, documental, campo, entregado por la Municipalidad de Milagro, el tamaño de la muestra analizada y estudiada fue los de los meses de mayo junio julio agosto del 2023.

Solidos suspendidos totales (SST): La norma ambiental EPA 160.2 determina que el valor máximo de los sólidos suspendidos totales es de 130,00 mg/l, el valor promedio obtenido es de 250,00 mg/l, generando un incremento contaminante al medio ambiente de 120,00 mg/l equivalente al 92,31%.

Solidos sedimentados (SS): La norma ambiental SA240F determina que el valor máximo de los sólidos sedimentados es de 1600,00 mg/l, el valor promedio obtenido es de 1950,00 mg/l, generando un incremento contaminante al medio ambiente de 350,50 mg/l equivalente al 21,88%.

Aceites y grasas (AG): La norma ambiental EPA 413.2 determina que el valor máximo de los aceites y grasa es de 30,00 mg/l, el valor promedio obtenido es de 47,50 mg/l, generando un incremento contaminante al medio ambiente de 17,50 mg/l equivalente al 62,50%.

Hidrocarburos totales de petróleo (TPH): La norma ambiental EPA 418.1 determina que el valor máximo de los Hidrocarburos totales de petróleo es de 20,00 mg/l, el valor promedio

obtenido es de 32,50 mg/l, generando un incremento contaminante al medio ambiente de 13,00 mg/l equivalente al 62,50%.

Potencial de hidrógeno (ph): La norma ambiental SA 4500-HB determina que el valor mínimo del potencial de hidrogeno es de 7,50 mg/l, el valor promedio obtenido es de 3,44 mg/l, generando un decremento contaminante al medio ambiente de -4,06 mg/l equivalente al -54,17%.

Coliformes fecales (NMP): La norma ambiental EPA 160.2 determina que el valor máximo de coliformes fecales es de 0,002 mg/l, el valor promedio obtenido es de 0,006 mg/l, generando un incremento contaminante al medio ambiente de 0,004 mg/l equivalente al 175,00%.

Demanda bioquímica de oxígeno (DBO): La norma ambiental SM 5210B determina que el valor máximo de la demanda bioquímica de oxígeno es de 100,00 mg/l, el valor promedio obtenido es de 250,00 mg/l, generando un incremento contaminante al medio ambiente de 150,00 mg/l equivalente al 150,00%.

Demanda química de oxígeno (DQO): La norma ambiental EPA 410.4 determina que el valor máximo de la demanda química de oxígeno es de 200,00 mg/l, el valor promedio obtenido es de 350,00 mg/l, generando un incremento contaminante al medio ambiente de 150,00 mg/l equivalente al 75,00%.

5.4.1. Índice Biodegradabilidad Lixiviado

El grado de biodegradabilidad de los lixiviados es inversamente proporcional a su edad, siendo más biodegradables los lixiviados jóvenes y menos los maduro, La relación DBO5/DQO, me permite saber si el lixiviado es poco, medianamente o muy biodegradable, (INDUANALISIS, 2020).

$DBO/DQO < 0,2$ el lixiviado es poco biodegradable, tiene limitaciones a tratamientos biológico y la única solución es un tratamientos físico-químicos.

$0,2 < DBO/DQO < 0,6$ el lixiviado es medianamente biodegradable permite la selección de un tratamiento físico-químico o biológico.

$DBO/DQO > 0,6$ el lixiviado es muy biodegradable, se recomienda un tratamiento biológico

Tabla 3.

Índice Biodegradable de la Muestra de Lixiviado Botadero los Aguacates

| COMPONENTE BACTERIOLÓGICO (B): | MÉTODO | UNIDAD | NORMA | PROM |
|---|---------------|---------------|--------------|-------------|
| DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO) | SM 5210B | mg/l | 100 | 250 |
| DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO) | EPA 410.4 | mg/l | 200 | 350 |
| ÍNDICE BIODEGRADABILIDAD DBO/DQO | | | | 0.71 |

Nota. Índice de biodegradabilidad.

El índice de biodegradabilidad DBO/DQO = 0,71 promedio obtenido de las pruebas de laboratorio realizado en el botadero basura Los Aguacates, nos permite seleccionar un tratamiento biológico, con la aplicación de una ecuación diferencial lineal como modelo matemático, para minimizar la contaminación ambiental del medio ambiente, (INDUANALISIS, 2020)

5.5. Ecuación diferencial lineal del lixiviado

La ecuación diferencial lineal como modelo matemático aplicada al fluido (lixiviado) generado por la descomposición de la basura orgánica en el basurero los Aguacates, está determinada con la condición necesaria de que la suma de los componentes físicos y químico es equivalente al componente bacteriológico por que ocasionan la disminución de oxígeno en forma inversamente proporcional, es decir a mayor cantidad de componentes físicos y químicos menor será la cantidad de oxígeno en el lixiviado, la ecuación diferencial lineal es (Castro Cepeda, 2022):

$$Fq' + Hq = B$$

Donde:

F: es el componente físico determinado por los sólidos suspendidos totales (SST), su unidad de medida es mg/l.

H: es el componente químico determinado por suma de los aceite y grasas (AG) con los hidrocarburos totales de petróleo (TPH), su unidad de medida es mg/l.

B: es el componente bacteriológico determinado por la suma de la demanda química de oxígeno (DQO) con la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), su unidad de medida es mg/l.

q': derivada de la carga lixiviado con respecto al tiempo dq/dt,

q: ecuación de la carga lixiviado, unidad de medida es mg/l

t: tiempo (minutos)

5.5.1. Solución particular de la ecuación diferencial lineal

$$Fq' + Hq = B \quad \text{Ecuación diferencial lineal carga}$$

$$q' + \frac{H}{F}q = \frac{B}{F} \quad \text{Álgebra}$$

$$p(t) = \frac{H}{F} \quad Q(t) = \frac{B}{F} \quad \text{Identificación variable}$$

$$v = \int p(t) dt \quad \text{Formula Integral}$$

$$v = \int \frac{H}{F} dt = \frac{H}{F}t \quad \text{Solución integral}$$

$$h(t) = e^v \quad \text{Formula exponencial}$$

$$h(t) = e^{\frac{H}{F}t} \quad \text{Solución exponencial}$$

$$h(t) \cdot q = \int h(t) \cdot Q(t) dt + c \quad \text{Formula ED lineal de la carga}$$

$$e^{\frac{H}{F}t} \cdot q = \int e^{\frac{H}{F}t} \cdot \frac{B}{F} dt + c$$

$$e^{\frac{H}{F}t} \cdot q = \frac{B}{H} e^{\frac{H}{F}t} + c \quad \text{Solución general ED lineal de la carga}$$

$$q(0) = 0 \quad \text{Condiciones } t=0 \quad q=0 \quad c = -\frac{B}{H}$$

$$q = \frac{B}{H} (1 - e^{-\frac{H}{F}t}) \quad \text{Solución particular ED lineal de la carga } q$$

5.5.2. Solución de la ecuación diferencial lineal, de la “Descarga máxima permitida”

Según lo descrito en la tabla de “Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce” correspondiente al Ministerio del Ambiente y publicadas en el Registro Oficial No. 387 del día miércoles 4 de noviembre de 2015, las variables a intervenir en la ecuación diferencial son:

$$Fq' + Hq = B \quad \text{Ecuación diferencial lineal carga}$$

$$130q' + 50q = 300$$

$$q' + 0.38q = 2.30 \quad \text{Álgebra}$$

$$p(t) = 0.38 \quad Q(t) = 2.30 \quad \text{Identificación variable}$$

$$v = \int p(t) dt \quad \text{Formula Integral}$$

$$v = \int 0.38 dt = 0.38t \quad \text{Solución integral}$$

$$h(t) = e^v \quad \text{Formula exponencial}$$

$$h(t) = e^{0.38t} \quad \text{Solución exponencial}$$

$$h(t) \cdot q = \int h(t) \cdot Q(t) dt + c \quad \text{Formula ED lineal de la carga}$$

$$e^{0.38t} \cdot q = \int e^{0.38t} \cdot 2.30 dt + c$$

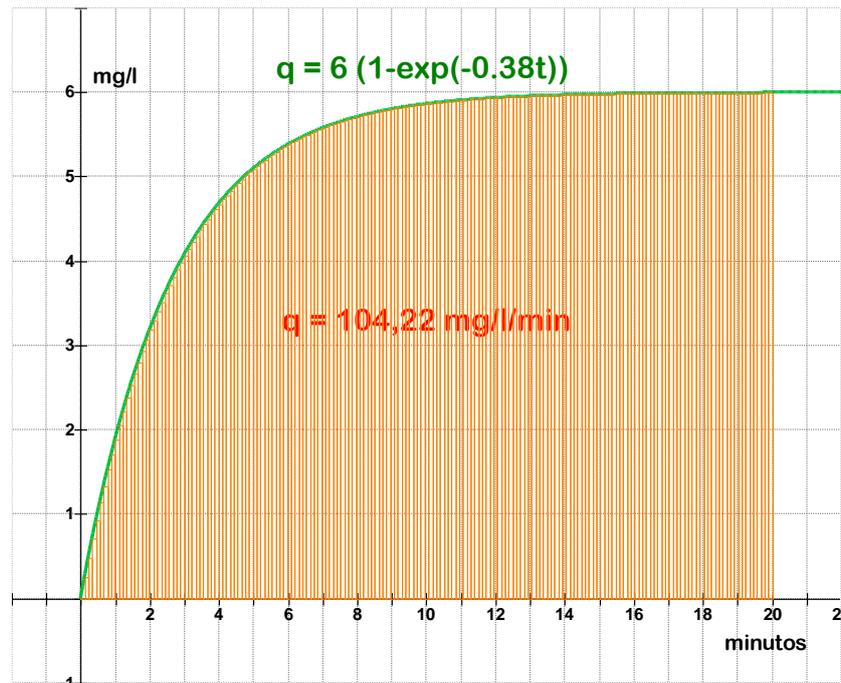
$$e^{0.38t} \cdot q = 6 e^{0.38t} + c \quad \text{Solución general ED lineal de la carga}$$

$$q(0) = 0 \quad \text{Condiciones } t=0 \quad q=0 \quad c = -6.05$$

$$q = 6 (1 - e^{-0.38t}) \quad \text{Solución particular ED lineal de la carga } q$$

Figura 1.

Solución EDO Grafica Descarga Lixiviado Máximo Permitida



Nota. Solución Grafica EDO

El límite de descarga de los componentes físicos químicos y bacteriológicos de lixiviado al medio ambiente en los primeros 20 minutos en la cual se estabiliza no puede exceder de $q = 104.22 \text{ mg/l/min}$.

5.5.3. Solución de la ecuación diferencial lineal de la “descarga promedio los Aguacates”

Se presenta el cálculo de la descarga promedio de lixiviado generado por la descomposición de los desechos sólidos orgánicos y otros en el botadero basura Los Aguacates del Cantón Milagro:

F: Componente físico, sólidos suspendidos totales (SST), 250 mg/l.

H: Componente químico, suma de los aceite y grasas (AG) con los hidrocarburos totales de petróleo (TPH), 80 mg/l.

B: Componente bacteriológico, suma de la demanda química de oxígeno (DQO) más demanda bioquímica de oxígeno (DBO), 600 mg/l.

$$Fq' + Hq = B \quad \text{Ecuación diferencial lineal carga}$$

$$250 q' + 80 q = 600$$

$$q' + 0.32 q = 2.40 \quad \text{Álgebra}$$

$$p(t) = 0.32 \quad Q(t) = 2.40 \quad \text{Identificación variable}$$

$$v = \int p(t) dt \quad \text{Formula Integral}$$

$$v = \int 0.32 dt = 0.32t \quad \text{Solución integral}$$

$$h(t) = e^v \quad \text{Formula exponencial}$$

$$h(t) = e^{0.32t} \quad \text{Solución exponencial}$$

$$h(t) \cdot q = \int h(t) \cdot Q(t) dt + c \quad \text{Formula ED lineal de la carga}$$

$$e^{0.32t} \cdot q = \int e^{0.32t} \cdot 2.40 dt + c$$

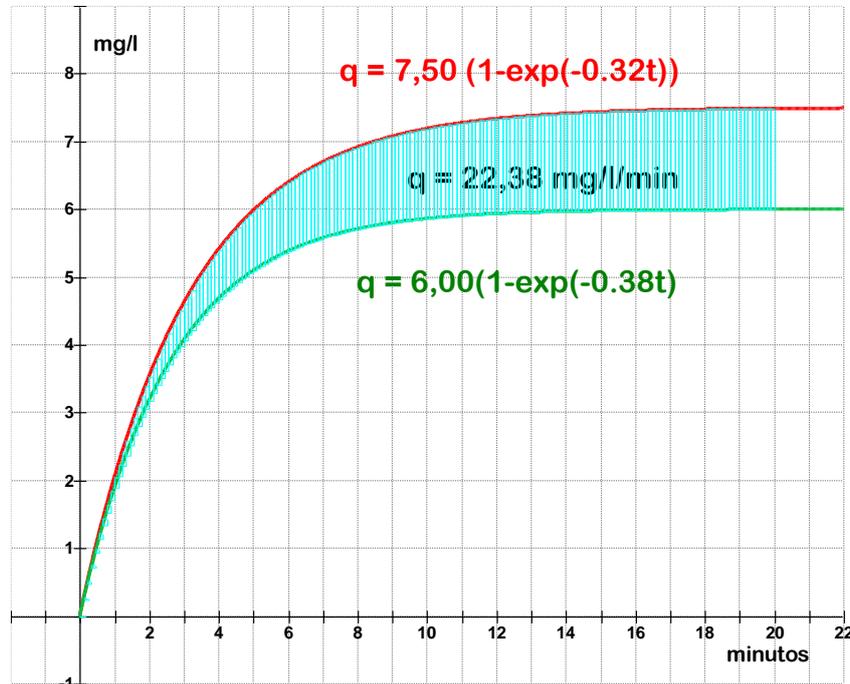
$$e^{0.32t} \cdot q = 7.50e^{0.32t} + c \quad \text{Solución general ED lineal de la carga}$$

$$q(0) = 0 \quad \text{Condiciones } t=0 \quad q=0 \quad c = -7.50$$

$$q = 7.50 (1 - e^{-0.32t}) \quad \text{Solución particular ED lineal de la carga } q$$

Figura 2.

Solución EDO Grafica Descarga Lixiviado Promedio los Aguacates



Nota. Solución EDO

5.5.4. Análisis matemático del cálculo de la descarga promedio de lixiviado

El valor de la descarga total promedio de los componentes físicos químicos y bacteriológicos de lixiviado al medio ambiente en los Aguacates en los primeros 20 minutos que se estabiliza es de 126,60 mg/l/min.

Con la aplicación de la ecuación diferencial lineal como modelo matemático, se puede observar que la descarga directa de lixiviado al medio ambiente en los primeros 20 minutos sin el tratamiento biológico aerobio determinado en forma técnica, se produce un aumento contaminante de 22,38 mg/l/min equivalente al 21,47 %

Con un índice de biodegradabilidad DBO/DQO = 0,71 el cual me permite realizar un tratamiento biológico aerobio, usando microorganismos en presencia de oxígeno y agitación, para depurar los compuestos orgánicos presentes en el lixiviado (AC MICRO, 2020).

CAPÍTULO IV: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

6.1. Medidas estadísticas descriptivas:

Con los datos obtenidos en la investigación se determinó el valor de las medidas estadísticas descriptivas e inferenciales que sirvieron como variables independientes de la ecuación diferencial lineal (modelo matemático) aplicada al lixiviado generado por la descomposición de la basura orgánica en el basurero los Aguacates, que son los componentes físicos, químicos y bacteriológicos (Escudero Trujillo, 2022).

6.2. Medidas matemáticas inferenciales:

La investigación se realiza a partir de la condición necesaria, de que la suma de los componentes físicos y químico es equivalente al componente bacteriológico de la ecuación diferencial lineal por que ocasionan la disminución de oxígeno en forma inversamente proporcional, es decir a mayor cantidad de componentes físicos y químicos menor será la cantidad de oxígeno en el lixiviado (Acosta Salomón, 2014).

6.3. Formulación del modelo matemático:

La ecuación diferencial lineal como modelo matemático aplicada al fluido (lixiviado) generado por la descomposición de la basura orgánica en el basurero los Aguacates, está determinada con la condición necesaria de que la suma de los componentes físicos y químico es equivalente al componente bacteriológico por que ocasionan la disminución de oxígeno en forma inversamente proporcional, es decir a mayor cantidad de componentes físicos y químicos menor será la cantidad de oxígeno en el lixiviado, (Intriago, 2022).

$$Fq' + Hq = B$$

Donde:

F: es el componente físico determinado por los sólidos suspendidos totales (SST), su unidad de medida es mg/l.

H: es el componente químico determinado por suma de los aceite y grasas (AG) con los hidrocarburos totales de petróleo (TPH), su unidad de medida es mg/l.

B: es el componente bacteriológico determinado por la suma de la demanda química de oxígeno (DQO) con la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), su unidad de medida es mg/l.

q': derivada de la carga lixiviado con respecto al tiempo dq/dt,

q: ecuación de la carga lixiviado, unidad de medida es mg/l

t: tiempo (minutos)

6.4. Análisis de la situación actual

La descomposición de las 90 toneladas diaria de desechos sólidos que llegan al botadero de basura los Aguacates genera gas metano sin cuantificar y medio litro lixiviados por hora, que va a la piscina de sedimentación, pero cuando alcanza su altura máxima rebosa y va en forma directa al medio ambiente, cuya área se encuentra invadida por ratas, aves de rapina, vectores y otros.

6.5. Piscina de sedimentación:

La piscina de sedimentación con un área de 1200 m² tiene en su perímetro inferior y lateral membrana que impide que el lixiviado se filtre al medio ambiente, los sólidos sedimentales que quedan se decantan y de manera simultánea se inicia la degradación aerobia del líquido afluente (lixiviado),

Área piscina sedimentación (a) = 20 x 60 = 1200 m².

Altura útil (h) = 1,00 m.

Volumen máximo (v)= 1200 m³.

Carga de lixiviado (q) = 12 litros/día = 0.012 m³/día

Llenado piscina (p=v/q) = 100 días

Tiempo asentamiento solidos en suspensión = 20 min

6.6. Piscina de lixiviado:

El líquido afluente pasa de la piscina de sedimentación a la de lixiviado la cual tiene un área de 600 m². esta piscina tiene membrana que hace la labor de filtros percoladores al que los microorganismos se adhieren y a través del mismo se filtra el lixiviado al medio ambiente, los sólidos sedimentales que pasaron sé que quedan se decantan y de manera simultánea se inicia la degradación aerobia del líquido afluente (lixiviado).

Área piscina lixiviado (a) = 10x 60 = 600 m².

Altura útil (h) = 1,00 m.

Volumen máximo (v)= 600 m³.

Carga de lixiviado (q) = 12 litros/día = 0.012 m³/día

Llenado piscina (p=v/q) = 50 días

6.7. Análisis Comparativo

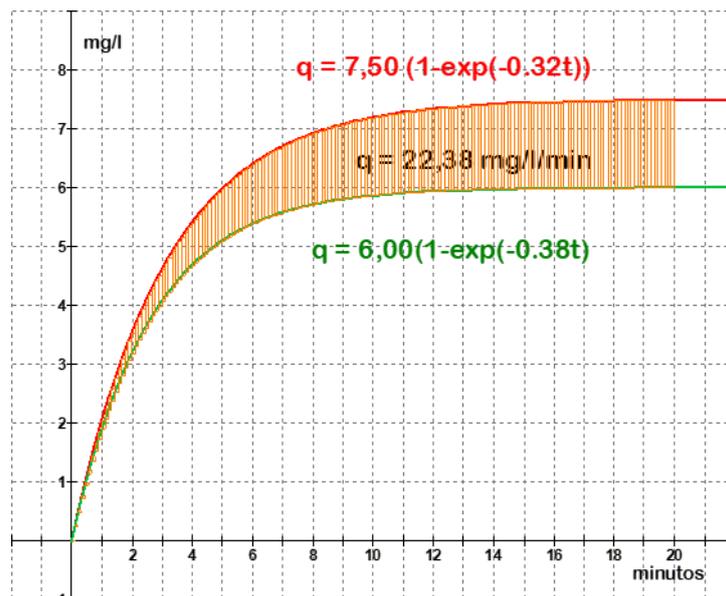
Descarga máxima normativa ambiental: El límite máximo de la descarga de lixiviado que cumple las normativas ambientales, descrito en el numeral 3.5.2 es de $q = 104.22 \text{ mg/l/min}$.

Descarga promedio los Aguacates: El valor total de la descarga de lixiviado, sin tratamiento biológico aerobio y descrito en el numeral 3.5.3 es de $q = 126,60 \text{ mg/l/min}$.

Diferencia: se produce un aumento contaminante de $22,38 \text{ mg/l/min}$, equivalente al $21,47 \%$

Figura 3.

Solución EDO Grafica Comparativa Descarga Máxima Permitida – los Aguacates



Nota. Solución grafica EDO

6.8. Formulación matemática

AC MICRO sugiere utilizar mínimo $0,020$ litros de solución melaza más bacterias (m/b) por cada litro de lixiviado con la finalidad de disminuir la carga contaminante, considerando que en los primeros 20 minutos los valores de las descargas contaminante de lixiviado (q) alcanza su máximo valor y se mantienen constante

Los lixiviados generados por la descomposición de los desechos orgánicos en el botadero de basura los Aguacates, alcanzan un valor contaminante del $22,38 \text{ mg/l/día}$, equivalente al $21,47\%$,

Con la finalidad de asegurar que no se produzca contaminación ambiental al descargar los lixiviados al medio ambiente, en el presente trabajo investigativo se utilizara un porcentaje del 25% que es superior porcentaje obtenido del $21,47\%$.

Los datos de las variables independientes de los componentes físico y químico serán afectados por el 25% y el componente bacteriológico con el 50%.

F: Componente físico = $250 - 0.25 \times 250 = 187,50$ mg/l.

H: Componente químico = $80 - 0.25 \times 80 = 60$ mg/l.

B: Componente bacteriológico = $600 - 0,50 \times 600 = 300$ mg/l.

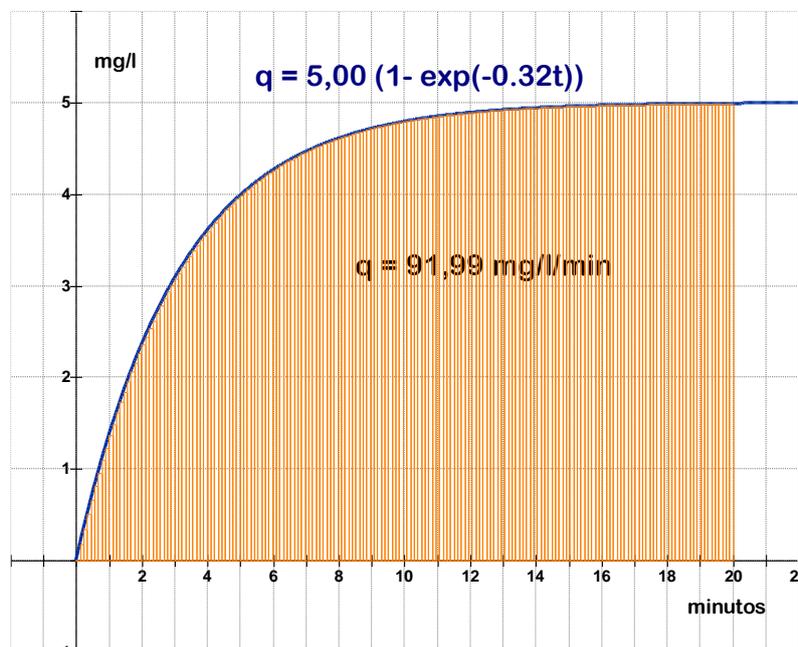
$$Fq' + Hq = B$$

$$187,50 q' + 60 q = 300$$

$$q = 5,00 (1 - e^{-0,32t}) \quad \text{ecuación de la descarga del lixiviado}$$

Figura 4.

Solución EDO Grafica Descarga Lixiviado Cumple Norma Ambiental



Nota. Gráfico de solución EDO

El valor de la descarga obtenido es de $q = 91,99$ mg/l/min, inferior al valor máximo permitido de cumplimiento ambiental que determina que no puede ser superior $q = 104,22$ mg/l/min, con un margen de seguridad del 11,73%.

Tabla 4.

Cálculo de Descarga Lixiviado (q) – Porcentaje (%)

| VARIABLES | UNIDAD | NORMA AMBIENTAL | LOS AGUACTES | INVESTIGACIÓN |
|----------------------------|----------|-----------------|--------------|---------------|
| COMPONENTE FÍSICO (F): | mg/l | 130.0 | 250.00 | 187.50 |
| QUÍMICO BACTERIOLÓGICO (B) | mg/l | 50.00 | 80.00 | 60.00 |
| DESCARGA LIXIVIADO (q) | mg/l/min | 300.00 | 600.00 | 300.00 |
| AC MICRO DIFERENCIA | mg/l | 104.22 | 126.60 | 91.99 |
| DESCARGA | mg/l/min | 0.025 | 0.025 | 0.031 |
| PORCENTAJE | % | | -22.38 | 12.23 |
| | | | -21.47 | 11.73 |

Nota. Cálculo descarga lixiviado

Según la solución particular de la ecuación diferencial lineal utilizada como modelo matemático de la presente investigación, el tratamiento bacteriológico a utilizar en las piscinas de sedimentación, para disminuir la contaminación ambiental producida por los lixiviados de los Aguacates será de 0,025 litros de solución melaza + bacterias (m/b) por cada litro de lixiviado,

$$m/b = 0.020 + 25\% (0.020) = 0.025 \text{ litros.}$$

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1. Conclusiones

Debido al proceso natural de fermentación, descomposición, degradación de la materia orgánica presente en los desechos sólidos del botadero basura Los Aguacates origina un líquido (lixiviado) de color negro, de olor muy penetrante, el cual arrastra todo tipo de sustancias nocivas: físicas, químicas y bacteriológicas que son altamente contaminante, tóxicas, y nocivas para el medio ambiente.

El trabajo investigación utiliza una ecuación diferencial lineal como modelo matemático con la condición necesaria de que la suma de los variables físicas y químicas son equivalente a la variable bacteriológica, cuya descarga calculada en cualquier instante permitiría determinar si el lixiviado generado por la descomposición de los desechos sólidos cumple o no con las normas ambientales vigentes.

La ecuación diferencial lineal a utilizar como modelo matemático, determinará en cualquier instante el comportamiento natural de los lixiviados en términos matemáticos, lo que permitirá comprender como funciona, cuáles son los cambios, cuando ocurrirán los cambios, predecir su resultado,

La utilización de 0,020 litros de solución melaza + bacterias (m/b) por cada litro de lixiviado, sugerido por ac micro no asegura que el lixiviado generado por la descomposición de desechos orgánicos en los Aguacates produzca contaminación ambiental.

Los datos mensuales obtenidos de las pruebas de laboratorio realizados en los Aguacates, demuestran que la cantidad utilizada de la solución melaza + bacterias no es la adecuada para minimizar la contaminación ambiental, ya que la descarga contaminante no cumple con las normas ambientales.

La ecuación diferencial lineal utilizada como modelo matemático permite determinar la cantidad mg/l de ac micro a utilizar y se puede determinar en que tiempo el valor de la descarga contaminante alcanza su máximo valor.

7.2. Recomendaciones

Realizar un mantenimiento periódico a las piscinas de sedimentación y lixiviado, retirando los sólidos sedimentados y otros desechos del botadero basura los Aguacates además las pruebas de laboratorio a los lixiviados se las deben hacer máximo en periodos semanales.

Construir una caja hormigón con su respectivo medidor de caudal, ubicada al ingreso de la piscina de lixiviados, el cual sirva para medir la cantidad de lixiviado generado por la descomposición de la materia orgánica en cualquier tiempo.

Realizar una clasificación de los desechos solidos antes de colocarlos en las celdas de confinamientos para ser tapados con arcilla, esta labor va a disminuir considerablemente la carga contaminante de los lixiviados generados.

Utilizar la cantidad mg/l de solución melaza + bacterias (m/b), obtenido por el cálculo de la descarga de la ecuación diferencial lineal, antes de descargar el lixiviado al medio ambiente.

Referencias Bibliográficas

- AC MICRO VIALTEC S.A. (2020). Complejo microbiano de bacterias lácticas.
<https://vialtecsa.com/index.php/ac-micro-2/>
- Acosta Salomón. (2014). Estadística Inferencial. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC). <http://hdl.handle.net/10757/316022>
- Almudena Vilar Montesinos. (2015). Evaluación del tratamiento integral del lixiviado de vertedero de residuos sólidos urbanos [Tesis Doctoral, Universidad de la Coruña].
<https://core.ac.uk/download/pdf/61917856.pdf>
- Castro Cepeda Lidia. (2022). Ecuaciones diferenciales ordinarias. Escuela Superior Politécnica del Chimborazo
- Cedeño Nieto Ismael. (2022). Qué son los lixiviados y por qué deberían preocuparnos.
Revista GTA Ambiental. <https://gtaambiental.com/lixiviados/>
- Cedeño Villavicencio Roberto Antonio. (2005). Análisis de viabilidad de una instalación de recuperación de materiales, dentro del marco de un sistema de manejo integral de desechos sólidos municipales [Tesis grado].
<https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/34840/1/D-65180.pdf>
- Chávez Montes Wendy Margarita. (2011). Tratamiento de lixiviados generados en el relleno sanitario de la Ciudad de Chihuahua, México. Centro de investigación en materiales avanzado Chihuahua México.
- CONSULAT. (2011). Estudio de impacto ambiental expost y plan de manejo ambiental de la operación y mantenimiento del relleno sanitario del Cantón Milagro.
www.consultoralatinoamericana.com
- Dennis G. Zill. (2009). Ecuaciones Diferenciales con aplicaciones de modelado (novena edición). EDITEC S.A. México.

- Diario La Hora Esmeralda Ecuador. (2016). Los lixiviados y sus efectos sobre la salud.
<https://www.lahora.com.ec/noticias/los-lixiviados-y-sus-efectos-sobre-la-salud/>
- Duque Aldana Carolina Estefanía. (2014). Formulación de una solución melaza-bacterias para el tratamiento de lixiviados en el relleno sanitario de Machachi Cantón Mejía [Universidad Tecnológica Equinoccial].
https://repositorio.ute.edu.ec/bitstream/123456789/4671/1/56631_1.pdf
- Constitución de la República del Ecuador, (2008).
https://www.oas.org/juridico/pdfs/mesicic4_ecu_const.pdf
- Elia Alonso Solana. (2013). Contribución al tratamiento de lixiviados de vertedero de residuos sólidos urbanos mediante procesos de oxidación avanzada [Tesis grado, Universidad de Cantabria].
<https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/10902/2612/1/TesisEAS.pdf>
- Escobar J. Hernán Alberto. (2010). Oferta y demanda: Un modelo matemático con ecuaciones diferenciales. Revista de la facultad de Ciencias Económicas y Administrativas de la Universidad de Nariño, Vol. XI No.2, Colombia.
<https://revistas.udenar.edu.co/index.php/rtend/article/view/546>
- Escudero Trujillo Rafael. (2022). Influencia de la tecnología en el aprendizaje de cálculo diferencial y estadística descriptiva. Universidad del Norte Barranquilla Colombia.
<https://doi.org/10.14482/zp.06.102.56>
- Fernández Bedoya Víctor Hugo. (2020). Tipos de justificación en la investigación científica. Universidad César Vallejo, Perú. <https://doi.org/10.33970/eetes.v4.n3.2020.207>
- Ibarra López Bertha Elizabeth. (2020). Análisis de la disposición de los desechos sólidos y generación de biogás en el relleno sanitario de Ambato. Revista AIDIS, 13(3).
<http://dx.doi.org/10.22201/iingen.0718378xe.2020.13.3.68441>

- INDUANALISIS. (2020). Monitoreo y análisis ambientales de emisiones, calidad del aire, agua, ruido, suelo y comunidades hidrobiológicas. Consultoría ambiental para elaboración de estudios e informes ambientales, Bucaramanga Colombia.
https://www.induanalisis.com/publicacion/detalle/dbo_y_dqo_31
- Intriago Christel. (2022). Ecuaciones diferenciales como modelos matemáticos. Escuela Superior Politécnica del Chimborazo.
<https://www.studocu.com/ec/document/escuela-superior-politecnica-de-chimborazo/matematica-ii/ecuaciones-diferenciales-como-modelos-matematicos/16462519>
- Martínez Arias, Jannet. (2019). Cuantificación del volumen de percolación de lixiviados mediante el balance de humedad de los residuos sólidos (Tesis con mención honorífica). [Tesis grado]. <http://hdl.handle.net/20.500.11799/106046>
- Ministerio Ambiente Ecuador. (2017). Texto unificado de legislación secundaria del medio ambiente del Ecuador (TULSMA) (libro sexto). <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/05/TULSMA.pdf>
- TULSMA. Libro VI. Anexo 1, Tabla 12 – Límite de descarga a un cuerpo de agua dulce., (2015). https://www.gob.ec/sites/default/files/regulations/2018-09/Documento_Registro-Oficial-No-387-04-noviembre-2015_0.pdf
- Municipio de Milagro. (2023). Pruebas de laboratorio del lixiviados en el botadero basura los Aguacates del Cantón Milagro.
- Ortiz Castro Holger. (2014). Estudio de los factores de contaminación que genera el relleno sanitario en el Cantón Milagro [Tesis grado]. Universidad Estatal de Milagro.
- Questionpro. (2020). Cuáles son los tipos de variables en una investigación.
<https://www.questionpro.com/blog/es/tipos-de-variables-en-una-investigacion/>

- Quintero Ramírez Alejandro. (2017). Efecto de los lixiviados de residuos sólidos en un suelo tropical. DYNA, 84(núm. 203), 283-290.
- Suárez Montes Néstor D. (2016). Elementos esenciales del diseño de la investigación, sus características. Revista científica dominio de las ciencias, Vol. 2(núm. esp., dic.), 72-85.
- Villalta Murillo Eder Gabriel. (2013). Estudio de factibilidad para la creación de una recicladora de residuos sólidos para el cuidado del medio ambiente del Cantón Milagro [Universidad Estatal de Milagro].
<https://repositorio.unemi.edu.ec/handle/123456789/5/browse?type=author&order=ASC&rpp=20&value=Villalta+Murillo%2C+Eder+Gabriel>
- Villegas Yagual Félix Enrique. (2018). Análisis de la contaminación ambiental y sus repercusiones en la Ciudad de Milagro – Ecuador.
<http://www.eumed.net/rev/caribe/2018/11/contaminacion-ambiental-ecuador.html>
- Zambrano Pazmiño Alan Roberto. (2018). Propuesta de plan de gestión integral para los residuos sólidos generados en la cabecera cantonal de Milagro en la Provincia del Guayas [Trabajo de Titulación de Ingeniero en Gestión Ambiental, Universidad Técnica Particular de Loja UTPL]. PDF.
<http://dspace.utpl.edu.ec/jspui/handle/20.500.11962/21752>

Anexos

Límites de Descarga de un Cuerpo

REPUBLICA DEL ECUADOR
REGISTRO OFICIAL NO. 387, 4 DE NOVIEMBRE DE 2015
MINISTERIO DEL AMBIENTE

LÍMITES DE DESCARGA A UN CUERPO DE AGUA DULCE TABLA NO 12

| Parámetros | Expresado como | Unidad | Límite máximo permisible |
|-----------------------------|--|---------------|---------------------------------|
| Nitrógeno Total Kjeldahl | N | mg/l | 15 |
| Organoclorados totales | Concentración de organoclorados totales | mg/l | 0,05 |
| Organofosforados totales | Concentración de organofosforados totales. | mg/l | 0,1 |
| Plata | Ag | mg/l | 0,1 |
| Plomo | Pb | mg/l | 0,2 |
| Potencial de hidrógeno | pH | | 5-9 |
| Selenio | Se | mg/l | 0,1 |
| Sólidos Sedimentables | | ml/l | 1,0 |
| Sólidos Suspendidos Totales | | mg/l | 100 |
| Sólidos totales | | mg/l | 1 600 |
| Sulfatos | SO ₄ ⁼ | mg/l | 1000 |
| Sulfitos | SO ₃ | mg/l | 2,0 |
| Sulfuros | S | mg/l | 0,5 |
| Temperatura | °C | | < 35 |
| Tensoactivos | Sustancias activas al azul de metileno | mg/l | 0,5 |
| Tetracloruro de carbono | Tetracloruro de carbono | mg/l | 1,0 |
| Tricloroetileno | Tricloroetileno | mg/l | 1,0 |
| Vanadio | | mg/l | 5,0 |
| Zinc | Zn | mg/l | 5,0 |

Nota. Gráfico de análisis de laboratorio adquirido de: dirección obras publicas municipio de milagro

Resumen de Pruebas de laboratorio

RESUMEN PRUEBAS DE LABORATORIO REALIZADO EN EL BOTADERO BASURA LOS AGUACATES

| COMPONENTE FÍSICO (F): | ANÁLISIS | UNIDAD | NORMA | MAYO | JUNIO | JULIO | AGOSTO | PROM | DIF | % |
|---|-----------------|---------------|--------------|-------------|--------------|--------------|---------------|-----------------|------------|----------|
| SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (SST) | EPA 160.2 | mg/l | 130 | 240.00 | 250.00 | 260.00 | 250.00 | 250.00 | 120.00 | 92.31 |
| SOLIDOS SEDIMENTADOS (SS) | SA 2540F | mg/l | 1600 | 2,000.00 | 1,900.00 | 2,000.00 | 1,900.00 | 1,950.00 | 350.00 | 21.88 |
| | | | 130 | | | | | 250.00 | | |
| | | | | | | | | | | |
| COMPONENTE QUÍMICO (Q): | ANÁLISIS | UNIDAD | NORMA | MAYO | JUNIO | JULIO | AGOSTO | PROM | DIF | % |
| ACEITE Y GRASAS (AG) | EPA 413.2 | mg/l | 30 | 47.00 | 48.00 | 47.00 | 48.00 | 47.50 | 17.50 | 58.33 |
| HIDROCARBUROS TOTALES DE PETRÓLEO (TPH) | EPA 418.1 | mg/l | 20 | 31.00 | 33.00 | 32.00 | 34.00 | 32.50 | 12.50 | 62.50 |
| | | | 50 | | | | | 80.00 | | |
| | | | | | | | | | | |
| COMPONENTE BACTERIOLÓGICO (B): | ANÁLISIS | UNIDAD | NORMA | MAYO | JUNIO | JULIO | AGOSTO | PROM | DIF | % |
| POTENCIAL HIDROGENO (PH) | SA 4500-HB | ph | 7.50 | 3.40 | 3.40 | 3.45 | 3.50 | 3.44 | -4.06 | -54.17 |
| COLIFORMES FECALES (NMP) | EPA 160.2 | mg/l | 0.002 | 0.005 | 0.005 | 0.006 | 0.006 | 0.006 | 0.004 | 175.00 |
| DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO) | SM 5210B | mg/l | 100 | 250 | 250 | 250 | 250 | 250.00 | 150.00 | 150.00 |
| DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO) | EPA 410.4 | mg/l | 200 | 350 | 350 | 350 | 350 | 350.00 | 150.00 | 75.00 |
| ÍNDICE PROPORCIONALIDAD DBO/DQO | | | 0.50 | 0.71 | 0.71 | 0.71 | 0.71 | 0.71 | 0.21 | 42.86 |
| | | | 300 | | | | | 600.00 | | |

Nota. Gráfico de resumen de laboratorio elaboración propia.