



UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA

DECANATO DE POSGRADO

**MAESTRÍA EN INGENIERÍA AMBIENTAL MENCIÓN
SANEAMIENTO AMBIENTAL**

**PROYECTO DE TITULACIÓN CON COMPONENTES DE
INVESTIGACIÓN Y /O DESARROLLO PREVIO A LA
OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE: MAGISTER EN INGENIERÍA
AMBIENTAL**

**ANÁLISIS DE LA EFICIENCIA DEL TRATAMIENTO DE
LIXIVIADOS POR EVAPORACIÓN CON APLICACIÓN DE CAL
(CAO) EN LA PARROQUIA TOACASO, LATACUNGA.**

AUTOR: INGRID PRISCILA ALENCASTRO LOZANO

DIRECTOR: MSC. BILLY DANIEL CORONEL ESPINOZA

PUYO – ECUADOR

2022

Resumen

La descomposición de los residuos sólidos domiciliarios produce líquidos con mal olor, con alto contenido de contaminantes llamados lixiviados, convirtiéndose en un riesgo para la salud, ya que pueden filtrarse en el suelo contaminando mantos acuíferos o escurrirse y acumularse en la superficie generando compuestos volátiles que son transportados por corrientes de aire afectando a la población. Existen varios tratamientos para depurar lixiviados, en el presente trabajo se empleó el uso de un invernadero para la evaporación de lixiviados con Cal (CaO) con el fin de determinar el porcentaje de eficiencia del método. Se utiliza 2 bandejas una con Cal y otra solo con el lixiviado con 2.5L cada una tomando el registro de evaporación cada 24h bajo los siguientes factores: 72% humedad, radiación solar intensa y una temperatura de 27 °C. Presenta los siguientes resultados: La bandeja 1 tuvo un porcentaje de eficiencia de 80% puesto que presentó un límite de evaporación de 7 días, con una tasa de evaporación de 0.83mm/día dando a notar el potencial del coagulante ya que este ayuda a disolver las sales presentes en el lixiviado aumentando así la eficacia y rapidez de evaporación. En tanto la bandeja 2 sin cal tuvo un porcentaje de eficiencia de 40% debido a que el lixiviado se evaporó en un término de 11 días con una tasa de evaporación de 0.92mm/día esto debido a varios factores como el cambio de temperatura, la humedad relativa y la intensidad de radiación solar como fuente de energía.

Palabras clave: Lixiviado, Invernadero, Cal, tasa de evaporación, radiación solar.

Summary

The decomposition of solid household waste produces liquids with a bad odor, with a high content of contaminants called leachates, becoming a health risk, since they can seep into the soil contaminating aquifers or run off and accumulate on the surface generating volatile compounds that are transported by air currents affecting the population. There are several treatments to purify leachates, in the present work the use of a greenhouse for the evaporation of leachates with lime (CaO) is used in order to determine the percentage of efficiency of the method. Two trays were used, one with lime and the other one only with the leachate with 2.5 liters each, taking the evaporation record every 24 hours under the following factors: 72% humidity, intense solar radiation and a temperature of 27°C where the following results are obtained: Tray 1 has an efficiency percentage of 80% since it presents an evaporation limit of 7 days, with an evaporation rate of 0.83mm/day, showing the potential of the coagulant since it helps to dissolve the salts present in the leachate, thus increasing the efficiency and speed of evaporation. While tray 2 without lime has an efficiency percentage of 40% because the leachate evaporated after 11 days with an evaporation rate of 0.92 mm/day, this is attributed to several factors such as the change in temperature, relative humidity and the intensity of solar radiation as a source of energy.

Key words: Leachate, Greenhouse, Lime, evaporation rate, solar radiation.

1 Tabla de contenido

CAPÍTULO I.....	1
1.1 INTRODUCCIÓN	1
1.2 PROBLEMA	2
1.3 HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN	2
1.4 OBJETIVO.....	3
1.4.1 OBJETIVO GENERAL	3
1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:.....	3
2 CAPÍTULO II	4
2.1 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	4
2.1.1 Radiación Solar como Fuente de Energía	4
2.1.2 Estructuras de invernadero	4
2.1.3 Generación de lixiviados	5
2.1.4 La cantidad de lixiviado	6
2.1.5 Cal	7
2.1.6 Evaporación.....	7
2.1.7 Condiciones de Mezcla.	9
3 CAPÍTULO III.....	10
3.1 MATERIALES Y MÉTODOS	10
3.1.1 LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	10
3.1.2 FACTORES METEOROLÓGICOS	11
3.1.3 TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	14
3.1.4 MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN	14
3.1.5 TRATAMIENTO DE DATOS	16
3.1.6 RECURSOS HUMANOS Y MATERIALES	20
4 CAPÍTULO IV.....	21
4.1 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	21
4.1.1 Registro de datos diarios en la experimentación del método de evaporación con Cal en un invernadero en el mes de Julio, Bandeja 1 con Cal.....	21
4.1.2 Registro de datos diarios en la experimentación del método de evaporación con Cal en un invernadero en el mes de Agosto, Bandeja 2 sin Cal.	22
4.1.3 Comparación de Bandejas.	23
4.1.4 Tasa de evaporación	24
4.1.5 Tasa de evaporación mes de Julio-Bandeja 1 con Cal	24

4.1.6	Tasa de evaporación mes de Agosto-Bandeja 2 sin Cal.....	24
4.1.7	Porcentaje de eficiencia.....	25
4.1.8	Producto sobrante.....	26
4.1.9	Diferencias del Método aplicado.....	26
4.1.10	Propuesta.....	27
4.2	RECOMENDACIONES	34
5	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	35
6	ANEXOS.....	37

Índice de Figuras.-

<i>Figura 1.- Ubicación geográfica de la Parroquia Toacaso.</i>	<i>10</i>
<i>Figura 2.- Ubicación geográfica de los contenedores de RS.....</i>	<i>11</i>
<i>Figura 3.- Factores meteorológicos.....</i>	<i>12</i>
<i>Figura 4.- Radiación solar por horas en la Parroquia Toacaso.</i>	<i>13</i>
<i>Figura 5.- Metodología para la evaporación de lixiviados con Cal por bandejas.....</i>	<i>15</i>
<i>Figura 6.- Diseño del invernadero piloto.</i>	<i>16</i>
<i>Figura 7.- Diseño de invernadero piloto por herramienta de AutoCAD vista frontal y lateral, Anexo 6.....</i>	<i>17</i>
<i>Figura 8.- Diseño de invernadero piloto por herramienta de AutoCAD vista de la cubierta y Superior, Anexo 6.....</i>	<i>17</i>
<i>Figura 9.- Sistema de recolección de lixiviado.</i>	<i>18</i>
<i>Figura 10.- Parámetros de mezcla.....</i>	<i>19</i>
<i>Figura 11.- Registro de evaporación de lixiviados por día - Bandeja 1 con Cal.....</i>	<i>21</i>
<i>Figura 12.- Registro de evaporación de lixiviados por día - Bandeja 2 sin Cal.....</i>	<i>22</i>
<i>Figura 13.- Comparación de Bandeja 1 con Cal- Bandeja 2 sin Cal.....</i>	<i>23</i>
<i>Figura 14.- Disposición y distribución de bandejas para evaporación de lixiviado.</i>	<i>27</i>
<i>Figura 15.- Diseño y dimensionamiento del invernadero para el Tratamiento de Lixiviados por evaporación-Vista frontal.</i>	<i>29</i>
<i>Figura 16.- Diseño y dimensionamiento del invernadero para el Tratamiento de Lixiviados por evaporación-Vista superior.....</i>	<i>29</i>
<i>Figura 17.- Diagrama de proceso de Tratamiento de lixiviados.....</i>	<i>30</i>

Índice de Tablas.-

<i>Tabla 1.- Características de lixiviado.....</i>	<i>6</i>
<i>Tabla 2.- Coordenadas de los puntos de recolección de lixiviado.....</i>	<i>18</i>
<i>Tabla 3.- Diferencias del método de evaporación de lixiviados por bandejas con aplicación de cal mediante un invernadero piloto.</i>	<i>26</i>
<i>Tabla 4.- Presupuesto para desarrollo de la propuesta.</i>	<i>31</i>

CAPÍTULO I

1.1 INTRODUCCIÓN

La descomposición de los residuos sólidos domiciliarios produce líquidos con mal olor, de color marrón y con alto contenido de contaminantes los cuales son llamados lixiviados. Los lixiviados se han convertido por su dinámica de descomposición en un riesgo para la salud, ya que pueden filtrarse en el suelo contaminando mantos acuíferos, o escurrirse y acumularse en la superficie generando compuestos volátiles, que son transportados por corrientes de aire hacia distintas áreas habitacionales afectando a la población vulnerable sin que estén tipificados como enfermedad ya que se desconoce el agente causal (Roldán et al., s.f.). Existen varios tratamientos para depurar lixiviados entre ellos el uso de invernaderos para la evaporación de lixiviados, dado a que el lixiviado presenta una variabilidad en su composición, es indispensable realizar una determinación de su composición y cantidad de los compuestos presentes en los líquidos generados. Con los resultados obtenidos de este análisis, será posible determinar el funcionamiento de un invernadero en forma piloto, de acuerdo a las condiciones del lugar, y el tipo de lixiviado a evaporar, se explora esta técnica debido a los altos índices de evaporación en esta zona del país ya que la radiación solar se ha utilizado en diferentes procesos a través de la historia. En el caso de los lixiviados se utilizan piscinas de evaporación para disminuir su volumen, y disponer de los lodos resultantes en el mismo. Sin embargo su exposición no se reduce a la radiación solar, pero también a precipitaciones, viento, contaminación desde otras fuentes como polvo y animales. Dado que es abierto a la atmósfera, no posee sistema alguno de retención de la radiación, volviéndolos ineficientes entonces una forma de aprovechar la radiación solar es mediante el sistema de invernaderos, en donde la radiación es transmitida al interior del equipo, impidiendo que vuelva a salir debido al cambio en su longitud de onda. De esta forma, la atmósfera interior se calienta, aumentando su temperatura, y facilitando el proceso de evaporación, el cual se realiza en un menor tiempo que si se encontrara al aire libre, además para el correcto funcionamiento y mayor rapidez de evaporación del método se utilizara un aditivo en este caso la Cal. (Szantó et al., 2011). Se suministra cal (óxido de calcio (CaO) para el tratamiento de lixiviados, que son los líquidos que se generan por la descomposición o la fermentación de la materia orgánica o bien por la percolación de material contaminado. La cal se utiliza para conseguir un

residuo final sólido, fácilmente removible sujeto a producción y uso eficiente de las energías alternativas en el control de una fuente contaminante (Giraldo et al., 2001).

1.2 PROBLEMA

El incremento de la generación de residuos sólidos se vuelve directamente proporcional al crecimiento poblacional. Toacaso registra una tasa de natalidad del 36% anual, superando la nacional que es del 27%. El promedio de hijos que una mujer fértil tiene es de cinco. El índice de mortalidad es del 15.3 por diez mil habitantes, lo que en la actualidad se ha vuelto un problema por su inadecuado manejo y falta de interés social, especialmente en las zonas periurbanas como lo es la Parroquia Toacaso que tiene una economía definida de producción agrícola y pecuaria para el auto-consumo y también para el mercado provincial y nacional, por lo que se ve una gran cantidad de residuos sólidos generados los que al descomponerse generan la mayoría de los lixiviados producidos con altos índices de contaminantes orgánicos, mismos que pueden constituir un importante riesgo a la salud sumamente potencial para las poblaciones humanas y los ecosistemas circundantes si no se los trata, ya que podría afectar a los cultivos, animales y directamente impactar al sistema económico ya que la población subsiste en su gran mayoría del ecosistema. Además de la falta de recursos económicos para implementar tecnologías costosas para el tratamiento de los mismos. Para el tratamiento de lixiviados existen varios métodos que posibilitan su depuración, los cuales requieren de complicados parámetros. En el presente caso de estudio se busca proponer un tratamiento basado en la evaporación, aprovechando la energía solar y un compuesto adsorbente como el óxido de calcio (cal) para obtener un sedimento de fácil remoción y a la vez encontrar una mayor eficiencia de evaporación de lixiviados y así encontrar una tecnología limpia para tratar lixiviados y controlar los problemas de contaminación en pequeños poblados focalizados (Pasto, 1994).

1.3 HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

El tratamiento de evaporación con adición de óxido de calcio (cal) por medio de un invernadero será eficaz que cumpla con una eficiencia del 70% a diferencia de otros métodos convencionales para el tratamiento de lixiviados.

1.4 OBJETIVO

1.4.1 OBJETIVO GENERAL

Determinar el porcentaje de eficiencia del método de evaporación de lixiviado por medio de un invernadero, con adición de óxido de calcio (CaO) cal.

1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Realizar un análisis de la evaporación producida entre los meses de mayor evaporación julio-agosto mediante el sistema de tratamiento en bandejas, dentro de un invernadero para registrar la información del funcionamiento de dicho tratamiento y cuantificar su eficiencia.
- Implementar bandejas de evaporación junto con la construcción de un invernadero piloto para determinar los rangos de evaporación.
- Analizar los datos encontrados sobre las bandejas de experimentación obteniendo la tasa de evaporación a partir de datos generados.

2 CAPÍTULO II

2.1 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1.1 Radiación Solar como Fuente de Energía

La energía producida por el sol es inagotable y renovable además de ser cuidadosa con el medio ambiente, el Ecuador debido a su posición geográfica es un país propicio para aprovechar este recurso (Casal, 2010).

La radiación que produce el sol se da en dos direcciones: aquella que se denomina radiación directa y radiación difusa que proviene de diversas direcciones. Este al haber sido reflejado, desviado o dispersado los rayos solares por las nubes, la turbidez atmosférica, los accidentes topográficos o simplemente difundidos al atravesar un material transparente o translúcido (plástico, por ejemplo, en un invernadero). La suma de radiación directa y radiación difusa constituye la radiación solar total o global (Hernández et al., 2001).

La posición del sol influye en la radiación, la cantidad de energía solar que se obtiene depende de la inclinación de los rayos emitidos ya que cuanto más perpendiculares sean dichos rayos mayor será la intensidad de radiación solar. La mayor o menor perpendicularidad de los rayos del sol varía esta depende de la localización geográfica, de la época del año y hora del día (Hernández et al., 2001).

2.1.2 Estructuras de invernadero

Las estructuras de invernadero pueden ser sencillas, tipo artesanal (hechos con material y conocimiento locales) o más complejas.

Características constructivas: geometría, pendiente de cubierta y orientación. Material de cubierta: vidrio, plástico rígido, plástico flexible o combinaciones de ellos. Material de construcción: acero, aluminio, madera o combinaciones de ellos (Espí, 2012).

Las formas que se utilizan más frecuentemente son: techos planos, techos planos simétricos a dos aguas, techos planos asimétricos, arco redondeado, arco en punta (Espí, 2012).

2.1.3 Generación de lixiviados

Los lixiviados son líquidos residuales generados por la descomposición biológica de la parte orgánica o biodegradable de los residuos sólidos, bajo condiciones aeróbicas y anaeróbicas, o como resultado de la filtración a través de los residuos sólidos y que extrae materiales disueltos o en suspensión de la percolación de fuentes externas como el agua de lluvia, a través de los residuos en proceso de degradación. Los lixiviados son el resultado, de la infiltración de las aguas lluvias (95%) y de humedad y descomposición de los residuos (5%), aproximadamente. El aspecto común del lixiviado es negro, de olor fuerte y penetrante, fluido y en zonas de acumulación y/o estancamiento, presentan una capa superficial de varios centímetros de espuma en el presente caso los lixiviados no tendrán varias de las características mencionadas puesto que serán recolectados en los puntos recolectores de la parroquia (Fuentes y Vaca, 2006).

Las características físico-químicas de un lixiviado dependen de una serie de factores tales como:

- La naturaleza y la cantidad de los residuos almacenados.
- Antigüedad y forma de explotación del vertedero.
- Climatología del lugar o la época del año considerado.
- Su composición es bastante compleja y variable, pudiendo ser sus componentes clasificados en cuatro grandes categorías:
 - Materia orgánica disuelta
 - Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅),
 - Demanda química de oxígeno (DQO)
- Componentes inorgánicos: son sales disueltas o formando complejos, iones o moléculas como cloruros (Cl^-), nitrógeno amoniacal (N-NH₃), calcio (Ca^{2+}), magnesio (Mg^{2+}), sodio (Na^+), potasio (K^+), hierro (Fe), cadmio (Cd), cromo (Cr), cobre (Cu), plomo (Pb), níquel (Ni), zinc (Zn). Residuos + H₂O (materia orgánica + O₂) → CO₂ + NO₃ + H₂O + calor (materia orgánica sin O₂) → CH₄ + CO₂ + NH₃ + H₂S + ácidos orgánicos (materia orgánica sin O₂) → iones disueltos → lixiviado 8.

- Compuestos xenobióticos o aquellos que no forman parte de la naturaleza viva como hidrocarburos poli aromáticos (PAHs), compuestos orgánicos persistentes (COPs) compuestos halogenados absorbibles (AOX), fenoles, entre otros.
- Sustancias húmicas (SH) (compuestos orgánicos recalcitrantes). Conjunto de polímeros de alto peso molecular que se separan en distintas fracciones en base a su solubilidad
- Ácidos fúlvicos (AF): fracción soluble en soluciones acuosas a cualquier valor de pH, se las separa por acidificación y son de color amarillo amarronado.
- Huminas: fracción de SH insoluble en solución acuosa a cualquier valor de pH y son de color negro.
- Ácidos húmicos (AH): fracción no soluble en soluciones acuosas ácidas con pH.

2.1.4 La cantidad de lixiviado

Es un factor importante ya que es el punto de partida para el diseño del sistema de tratamiento. La cantidad de lixiviado va en función de tres variables que son: el área rellenada, la cantidad de infiltración y la impermeabilidad.

Tabla 1.- Características de lixiviado.

Característica	Lixiviado joven	Lixiviado viejo
Edad	Menor a 1 año	Mayor a 5 años
DQO	Muy alto	Alto
PH	Muy básico	Básico
Conductividad	Muy altas	Altas
Color	Muy altos	Bajos

Fuente: Propuesta metodológica para el tratamiento de lixiviados del Relleno Sanitario del Distrito Metropolitano de Quito (2017).

2.1.5 Cal

Cal viva (CaO): producto de cal que está compuesto principalmente por óxido de calcio, producido a partir de caliza de la que se ha eliminado el dióxido de carbono por calentamiento. Se trata del primer paso del ciclo de la cal. Control de pH: neutralización, coagulación y floculación y precipitación de los fosfatos, sulfatos y fluoruros que en forma de sales cálcicas insolubles son fácilmente recuperables cuando el pH es próximo a 7 y la precipitación de metales pesados (plomo, cromo, cobre, manganeso, níquel, arsénico, cadmio) así como otros metales también facilita la eliminación por filtración de los sólidos suspendidos causantes de la turbiedad del agua cruda. Es fundamental en la preparación y estabilización de las bases y entre capas de los suelos a fin de evitar y degradar sus lixiviados. En cantidades adecuadas no suprime la propia biodegradación de la basura, evita la proliferación de organismos nocivos (alimañas) y los malos olores Rivera Prado (Rivera, 2017).

2.1.6 Evaporación

La evaporación está definida como un fenómeno el cual puede cambiar de un estado líquido a gaseoso este proceso es definido también como sublimación por el calentamiento de la superficie que lo rodea por acción de la radiación solar

Este estado llamado sublimación se da por la adsorción de calor emitida por el sol lo que da paso a la agitación de las moléculas y a la vez estas rompen los enlaces que existe entre ellas, este al ceder energía calorífica hacen que las mismas alcancen un estado de mayor activación.

Por otra parte algunas de estas moléculas que pasaron al estado gaseoso pueden restituirse a estado líquido o sólido al disminuir su agitación. Juncosa y Padilla (2019) describen el proceso de equilibrio de dos estados cuando: el trasvase de un estado a otro alcanza un régimen estacionario, es decir que el número de moléculas que se evaporan es igual al que se condensa. Dicho equilibrio se conoce con el nombre de saturación, en cuyo caso la presión de vapor en el aire es igual a la tensión de saturación.

2.1.6.1 Cuantificación de la Evaporación

La Evaporación se puede cuantificar mediante el poder evaporante de la atmósfera, denominado como la cantidad de agua que se puede evaporar si disponemos de agua en cantidades ilimitadas con el fin de no limitar la capacidad de evaporación de la atmósfera, medida en altura de agua.

2.1.6.2 Factores que influyen en el poder evaporante de la atmósfera

Según Juncosa y Padilla (2009) Los factores que influyen en la evaporación son los que a continuación se detallan:

Déficit higrométrico.- El déficit higrométrico es la diferencia existente entre la presión de vapor P_v del aire y la tensión de saturación.

Temperatura del aire.- También llamada humedad relativa del aire varía de forma inversa con la temperatura del medio ya que la tensión de vapor saturado aumenta proporcionalmente. Al aumentar la temperatura el estado de agitación de las moléculas del agua en estado líquido aumenta y en consecuencia el poder evaporante de la atmósfera.

Insolación.- Puesto que el calor es absorbido por el agua y al tiempo este se evapora, cuya energía y efecto es proporcionado por la radiación solar, resulta lógico pensar que la tasa de vaporación aumenta con dicha radiación solar.

Velocidad y turbulencia del viento.- Existen dos tipos de viento: si el viento del medio posee un aire menos saturado que el existente en relación con el aire de la superficie de agua, la tasa de evaporación se incrementara ya que aumentará el déficit higrométrico. Por consiguiente, si el viento posee un aire con mayor saturación que el existente en relación con la superficie del agua, la tasa de evaporación disminuirá.

Presión barométrica.- La disminución de la presión atmosférica a medida que aumenta la altitud implica un crecimiento de la tasa de evaporación.

Salinidad.- La tensión de vapor disminuye con la salinidad aumentando el punto de evaporación, por lo que la tasa de evaporación disminuye.

Coagulación.- A este proceso se lo puede definir como la desestabilización de un coloide producida por la eliminación de las dobles capas eléctricas que rodean a todas las partículas coloidales, con la formación de núcleos microscópicos, es decir transformar a las moléculas las dividen para ser más pequeñas.

Dosis de coagulante utilizado. La cantidad del coagulante a utilizar tiene influencia directa en la eficiencia de la coagulación, según Juncosa y Padilla (2009) así: si se aplica poca cantidad de coagulante no neutraliza totalmente la carga de la partícula. Al contrario, si aplicamos una alta cantidad de coagulante conduce a la formación de gran cantidad de microflóculos con tamaños muy pequeños.

2.1.7 Condiciones de Mezcla.

El grado de agitación que se da a la masa de lixiviado durante la adición del coagulante, determina si la coagulación es completa; turbulencias desiguales hacen que cierta porción de agua tenga mayor concentración de coagulantes y la otra parte tenga poco o casi nada; la agitación debe ser uniforme e intensa en toda la masa de agua, para asegurar que la mezcla entre el agua y el coagulante haya sido bien hecho y que se haya producido la reacción química de neutralización de cargas correspondiente (Juncosa y Padilla, 2009).

3 CAPÍTULO III

3.1 MATERIALES Y MÉTODOS

3.1.1 LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

La Parroquia rural de Toacaso se encuentra ubicada en el Cantón Latacunga, Provincia de Cotopaxi sus límites son: al Norte: limitado por la parroquia Pastocalle y Chaupi, Sur: limitado por Saquisilí, Tanicuchí y Guaytacama, Este: limitado por Tanicuchí, Oeste: limitado por el Cantón Sigchos. Cuenta con 38 comunidades compuesta por el 70% de población indígena y el 30% de población mestiza. De acuerdo con el censo del año 2010 la población de Toacaso es de 7.971, con una proyección del Censo al año 2020 de 9.269 habitantes (PDOT. Toacaso, 2021).



Figura 1.- Ubicación geográfica de la Parroquia Toacaso.

Elaborado por: Ingrid Alencastro (2022).

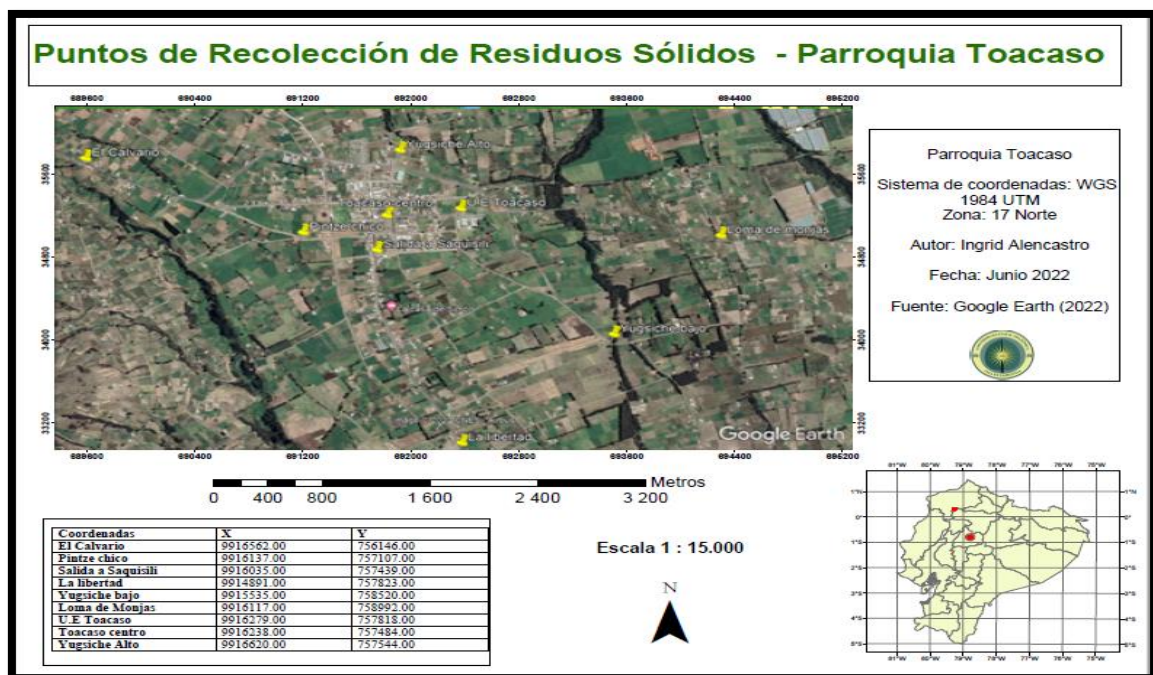


Figura 2.- Ubicación geográfica de los contenedores de RS.

Elaborado por: Ingrid Alencastro (2022).

3.1.2 FACTORES METEOROLÓGICOS

Los parámetros meteorológicos que se analizan a continuación fueron: precipitación, temperatura, humedad relativa, evaporación y vientos.

Precipitación

La precipitación oscila entre los 500 a 750 mililitros anuales y a la zona que se encuentra en el flanco occidental de la cordillera en mención, que se dirige hacia el trópico del Ecuador. Las mayores precipitaciones anuales, están dadas por la presencia de vientos calientes que vienen desde el trópico y la presencia de la niebla que se condensa para producir las precipitaciones (PDOT. Toacaso, 2021).

Temperatura

En general las temperaturas promedio oscilan entre los 6°C a 12°C. Dentro de la clasificación de formaciones bioclimáticas, el área de Toacaso le corresponde a la

Ecuatorial de Alta Montaña y nivel. A nivel micro podemos determinar 5 niveles, con rango de temperatura diferenciada en 2 grados en cada nivel (PDOT. Toacaso, 2021).

Humedad

La humedad más baja se presenta en los meses de julio y agosto con 74% y 71% respectivamente.

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Temperatura media (°C)	10.7	10.7	10.7	10.7	10.8	10.5	10.5	10.8	10.8	10.7	10.7	10.7
Temperatura min. (°C)	7.8	7.8	7.7	7.6	7.7	7.2	7	6.8	6.8	7.2	7.5	7.7
Temperatura máx. (°C)	15.1	15.2	15.3	15.3	15.3	15.1	15.4	16.1	16.2	15.6	15.4	15.1
Precipitación (mm)	236	238	305	275	189	97	68	70	146	235	243	244
Humedad(%)	84%	84%	85%	85%	82%	78%	74%	71%	74%	81%	84%	85%
Días lluviosos (días)	20	18	20	19	17	13	11	10	16	20	19	20
Horas de sol (horas)	5.9	5.6	5.9	6.2	6.6	6.9	7.4	8.2	8.1	6.8	6.1	5.9

Figura 3.- Factores meteorológicos.

Fuente: CLIMATE-DATA.ORG (2021).

En agosto, se presentó el mayor número de horas diarias de sol en promedio. En agosto hay una media de 8.21h de sol al día y un total de 254.56h de sol a lo largo de agosto esencial para la presente investigación.

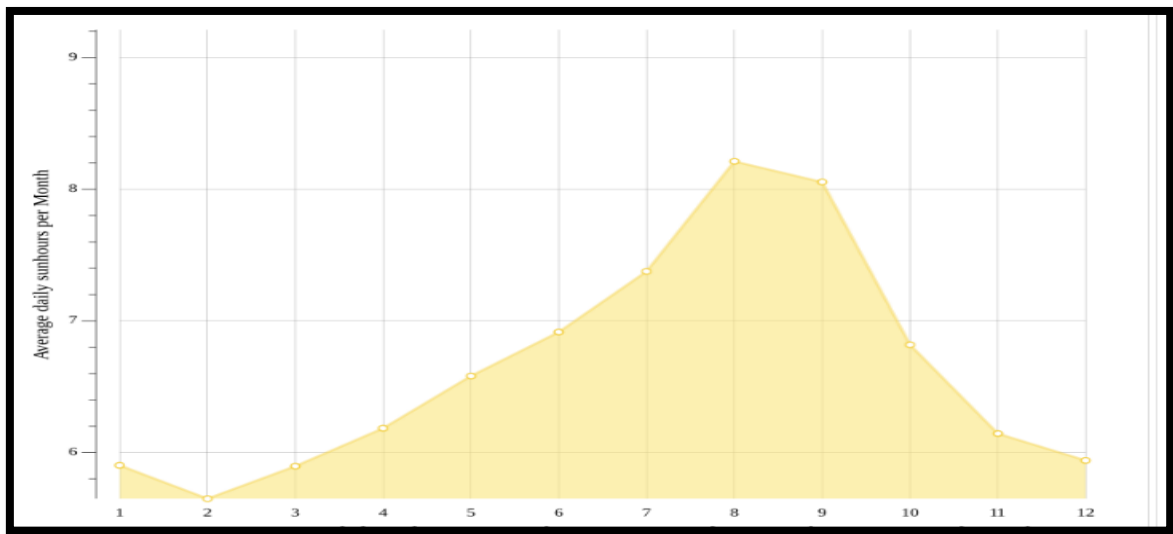


Figura 4.- Radiación solar por horas en la Parroquia Toacaso.

Fuente: CLIMATE-DATA.ORG (2021).

3.1.2.1 Tasa de evaporación

Cantidad de agua que se evapora de una superficie de agua dada por unidad de tiempo (Béjar, 2004).

$$1.- E=P. \pm \Delta D / T$$

Dónde: P: Es la diferencia de pérdida de lixiviado entre las dos mediciones. ΔD : La altura de la disminución del agua (+) es decir el agua (-) de la bandeja. T: Tiempo de registro.

Porcentaje de Eficiencia

Es la capacidad de disponer los elementos adecuados para conseguir el cumplimiento adecuado de una función. Sin embargo no se debe confundir con el termino eficacia, que se define como la capacidad de lograr el efecto que se desea o se espera.

$$2.- \% Efi= CLix/TEva$$

Dónde: CLix es la cantidad de lixiviado de entrada o total de cada bandeja y TEva es el tiempo que demora en evaporarse el lixiviado.

3.1.3 TIPO DE INVESTIGACIÓN

La presente investigación se desarrolla mediante el tipo de investigación experimental donde se pueden controlar las variables, el grupo de estudio ya existente no se modifica. Los datos se obtendrán a diferentes tiempos y en tiempo real, es decir, muestra el estado real del fenómeno a estudiar (Giner, 2019).

3.1.4 MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN

El método de investigación se realizó mediante el trabajo de campo, ya que los datos recolectados se los recogen del lugar de estudio y en un tiempo determinado. Para el desarrollo de la revisión bibliográfica se utilizó una metodología de búsqueda sistemática acerca de enfoques y tecnologías de depuración de lixiviados (Zafra y Romero, 2019).

Se pretende determinar un procedimiento para determinar la dosis de óxido de calcio (CaO) óptima para el tratamiento de lixiviados. La generación de lixiviados dependerá de muchos factores tales como: grado de compactación de los desechos, grado de humedad inicial de los desechos, precipitación pluvial, humedad atmosférica, temperatura, evaporación, evapotranspiración, escurrimiento, infiltración. Mientras que su composición va a depender del tipo de desecho, del nivel de degradación de los residuos y del volumen producido (Novelo et al., 2004).

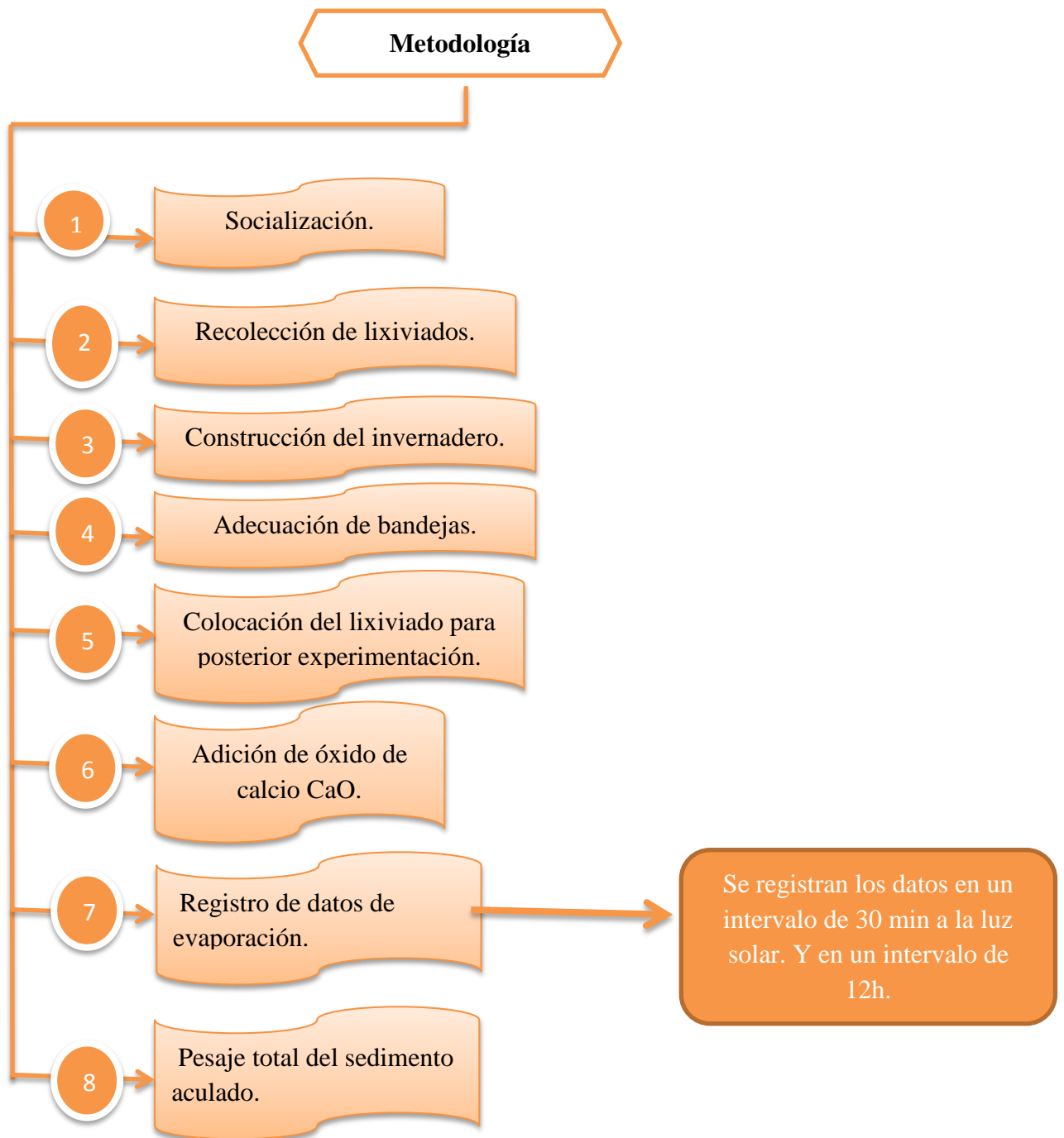


Figura 5.- Metodología para la evaporación de lixiviados con Cal por bandejas.

3.1.5 TRATAMIENTO DE DATOS

3.1.5.1 Diseño de invernadero

Se construye un invernadero piloto para recoger los datos de evaporación de lixiviados en el cual se puede controlar las condiciones ambientales para el fin investigativo.

El invernadero está construido por una estructura simple de madera, con recubierta de PVC (Policloruro de vinilo) transparente, plástico rígido el cual también resulta sensible a los cambios de temperatura. Consta de 4 paredes y un techo con un ala con una ligera pendiente de 35 grados para evitar emposamiento de agua y posibles daños, a continuación se muestran dimensiones en el Grafico 5.

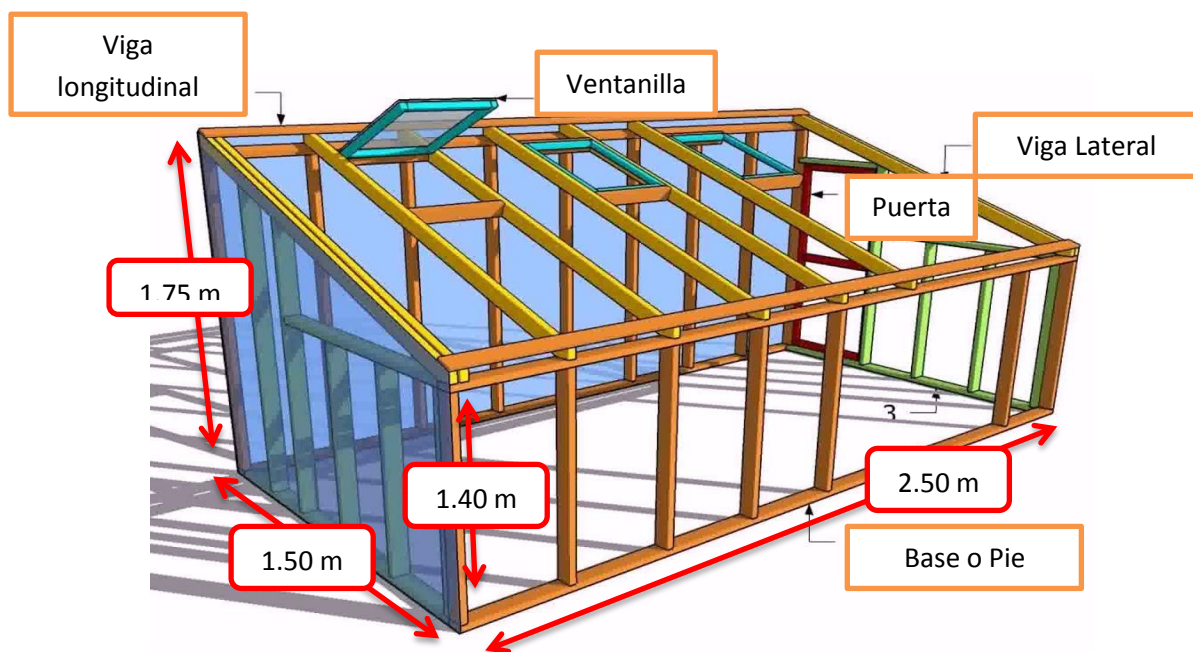


Figura 6.- Diseño del invernadero piloto.

Elaborado por: Ingrid Alencastro, (2022).

Para el desarrollo del invernadero piloto no se contempla un presupuesto, puesto que la mano de obra y construcción del mismo fue realizada con materiales reciclados gratuitos.

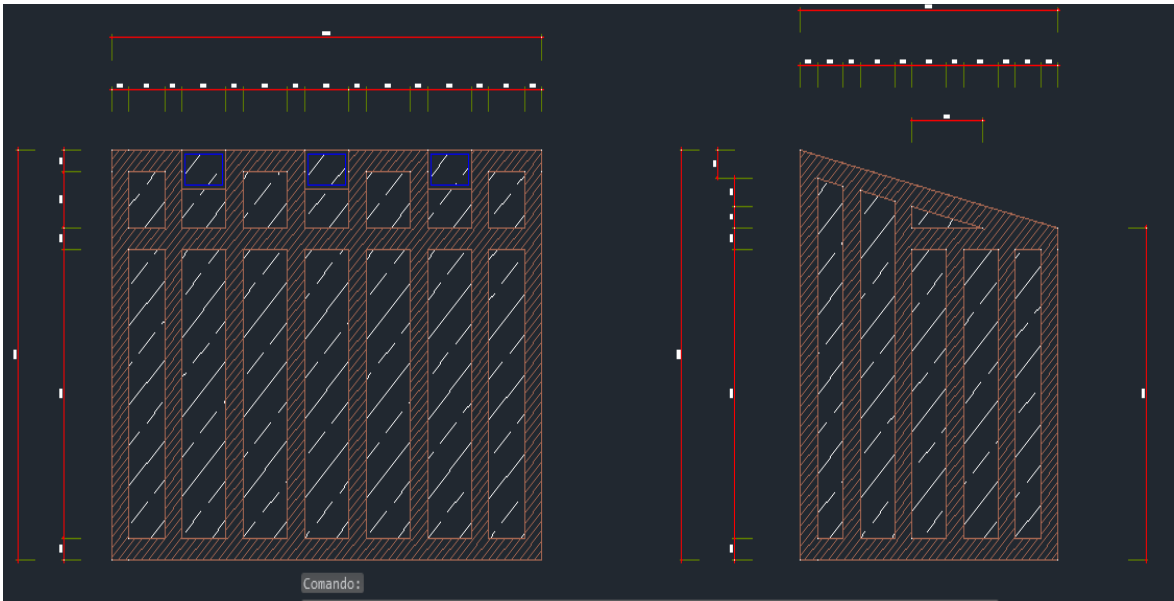


Figura 7.- Diseño de invernadero piloto por herramienta de AutoCAD vista frontal y lateral, Anexo 6.

Elaborado por: Ingrid Alencastro, (2022).

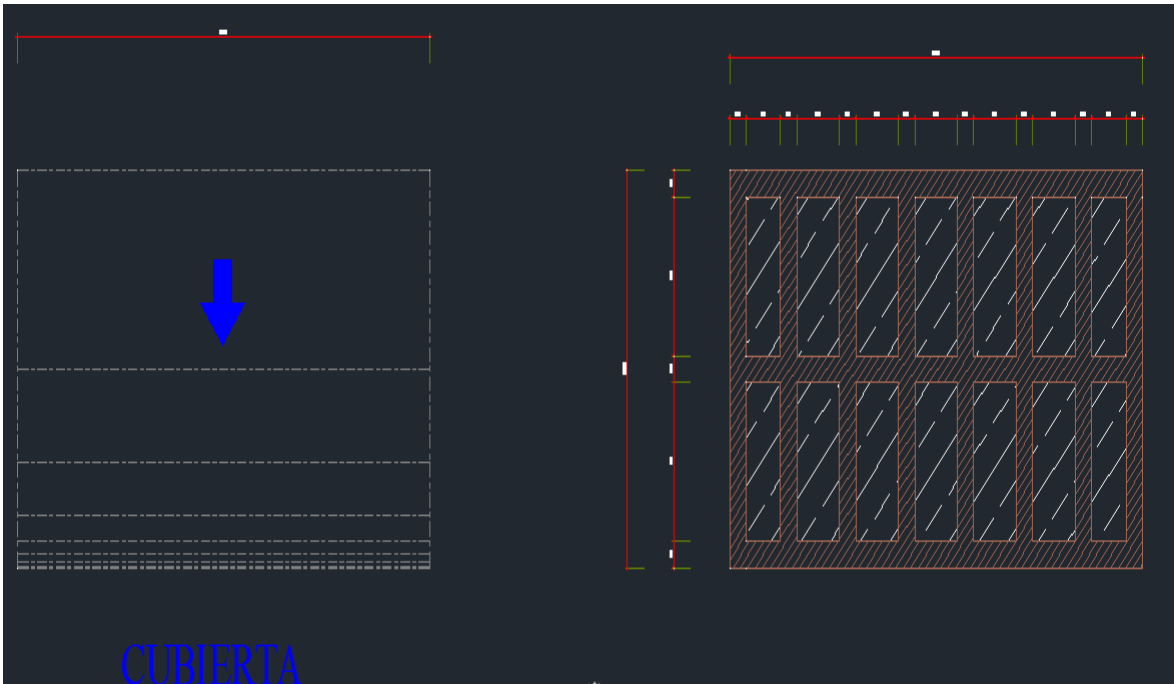


Figura 8.- Diseño de invernadero piloto por herramienta de AutoCAD vista de la cubierta y Superior, Anexo 6.

Elaborado por: Ingrid Alencastro, (2022).

3.1.5.2 Tratamiento de lixiviado - Recolección de muestras

Se toma muestras simples de cada contenedor de residuos sólidos por medio de envases herméticos de 1000 ml posteriormente etiquetados con su ubicación, tiempo y nombre designado.

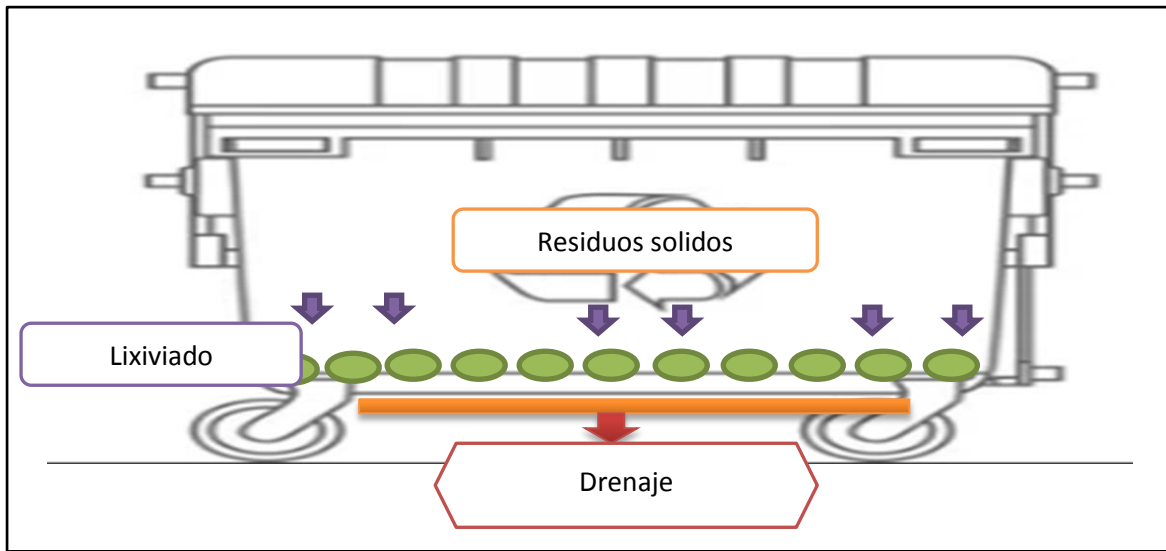


Figura 9.- Sistema de recolección de lixiviado.
Elaborado por: Ingrid Alencastro (2022).

3.1.5.3 Coordenadas de los puntos de recolección de lixiviado.

La tabla 2 muestra los puntos de recolección de lixiviado mismos que representan cada uno de los barrios que componen el centro de la parroquia Toacaso producto de la descomposición de los residuos sólidos contenidos en los contenedores que representan un punto de coordenada X-Y.

Tabla 2.- Coordenadas de los puntos de recolección de lixiviado.

Coordenadas	X	Y
El Calvario	9916562.00	756146.00
Pintze chico	9916137.00	757107.00
Pilacumbi	9916035.00	757439.00
La libertad	9914891.00	757823.00
Yugsiche bajo	9915535.00	758520.00
Loma de Monjas	9916117.00	758992.00

U.E Toacaso	9916279.00	757818.00
Toacaso centro	9916238.00	757484.00
Yugsiche Alto	9916620.00	757544.00

Elaborado por: Ingrid Alencastro (2022).

Se procedió a realizar el tratamiento de lixiviado por evaporación en el invernadero piloto.

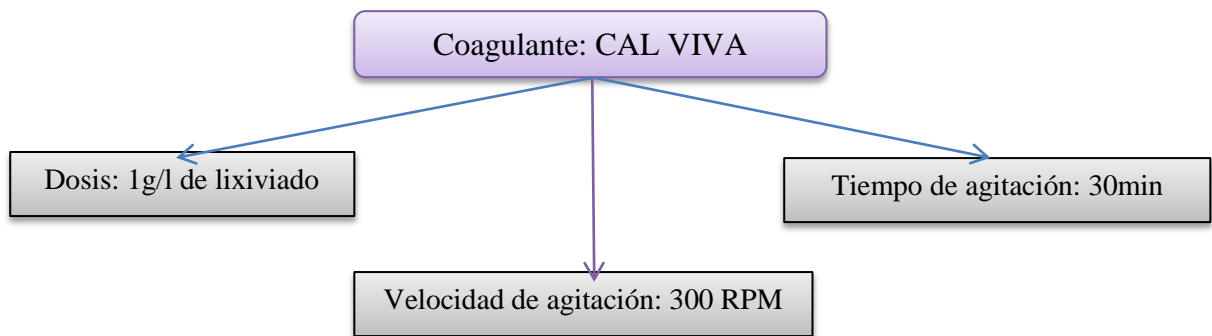


Figura 10.- Parámetros de mezcla.

Fuente: *Propuesta metodológica para el tratamiento de lixiviados del Relleno Sanitario del Distrito Metropolitano de Quito (2017).*

Bandeja 1.- Las bandejas de 30cm de largo*10cm de ancho*10cm de altura previamente colocadas dentro del invernadero sobre soportes de madera para evitar su contacto con el suelo y posibles alteraciones. En las cuales se vierte el lixiviado para registrar su proceso de evaporación por el método directo el cual calcula la evaporación a través del control de ingresos y salidas de agua.

Bandeja 2.- Enterrada con una base de plástico (polietileno) negro con medidas 30cm*10cm.

Se añadió la Cal como medio coagulante para disminuir las sales que posee el lixiviado y ayude a su evaporación con mayor rapidez fue añadida 1kg de Cal en la bandeja 1 y la bandeja 2 sin ningún tipo de coagulante para su próxima comparación y análisis.

Se pesó el sedimento resultante de la evaporación de las bandejas en mención.

3.1.6 RECURSOS HUMANOS Y MATERIALES

A continuación se detalla los recursos Humanos utilizados para el desarrollo de la Investigación y la construcción del Invernadero piloto.

Recursos Humanos

Ingrid Alencastro – Investigador

Vicente Alencastro – Constructor

Posteriormente se describe los recursos materiales para el desarrollo de la metodología para el tratamiento de lixiviados por evaporación en bandejas.

Recursos Materiales

- Recipientes para lixiviado
- Cal
- Plástico
- Bandejas 30cm de largo*10cm ancho*10cm
- Computadora
- Lápiz
- Marcador
- Nivel
- Excavadora Hansa
- Etiquetas
- Tiras de madera de 3m
- Soportes de madera
- Cuaderno de registro
- Reglas
- Clavos
- SERRUCHO
- Flexómetro
- Piola
- Balanza eléctrica

4 CAPÍTULO IV

4.1 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con base a los datos recogidos se presenta el análisis de evaporación en los meses de julio y agosto.

4.1.1 Registro de datos diarios en la experimentación del método de evaporación con Cal en un invernadero en el mes de Julio, Bandeja 1 con Cal.

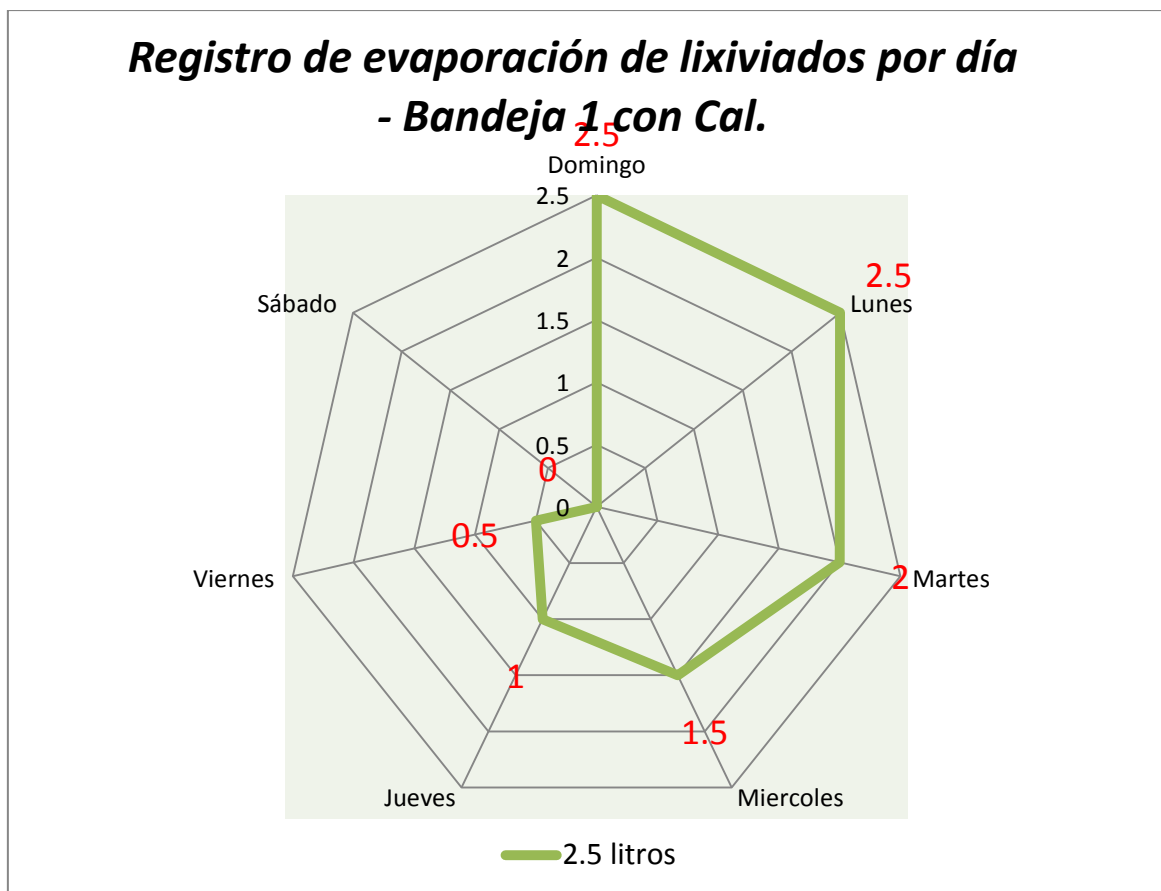


Figura 11.- Registro de evaporación de lixiviados por día - Bandeja 1 con Cal.

Según los datos de evaporación como se muestra en la figura anterior se evidenció como la línea radial descende continuamente y de manera uniforme en un rango de 5 mm por día bajo los siguientes factores obtenidos por medio el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) con un promedio de humedad relativa de 72%, con una radiación solar intensa sobre las horas del día de 8am a 5pm, a una temperatura promedio de 27 °C dentro del invernadero piloto. Bajo estas condiciones la muestra de lixiviado se evapora a un término de 7 días, durante los 3 primeros días se observa como

la cal contenida en la bandeja reacciona de manera efervescente, luego esta se equilibra y comienza a descender para formar una capa de sedimento de aproximadamente 5 mm en la bandeja, esta también presenta rastros de quemadura al aluminio lo que muestra un nuevo indicio de otro factor a tomar en cuenta el material de la bandeja.

4.1.2 Registro de datos diarios en la experimentación del método de evaporación con Cal en un invernadero en el mes de Agosto, Bandeja 2 sin Cal.

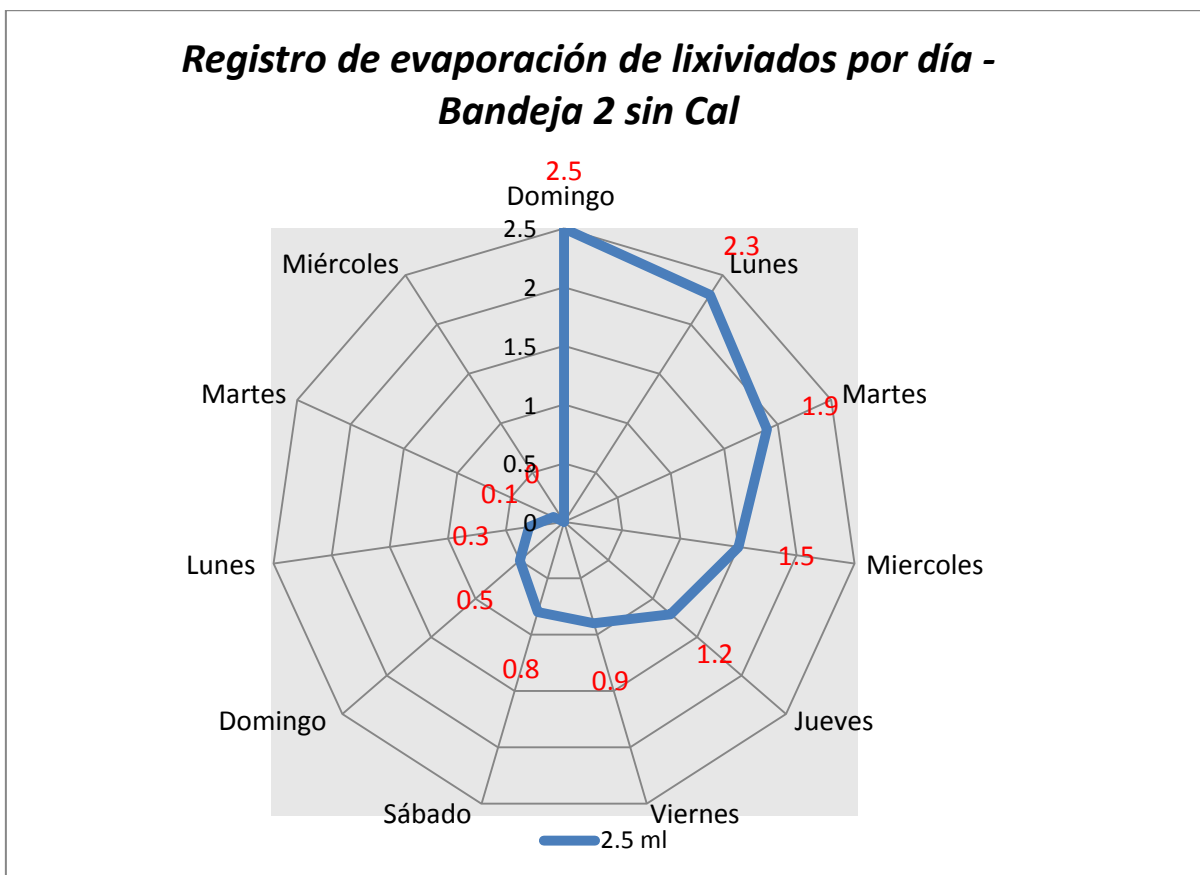


Figura 12.- Registro de evaporación de lixiviados por día - Bandeja 2 sin Cal.

En la figura anterior se muestra una curva discontinua que desciende bajo los siguientes factores: un promedio de 72% de humedad relativa, una temperatura promedio de 27 °C y una radiación solar intensa sobre las horas de 8am a 5pm. Este descenso se registra en un rango de 1 a 4 mm por día, y su evaporación total a un término de 11 días sin presencia de ningún cambio en la estructura de la bandeja y con un sedimento luego del procedimiento de evaporación de lixiviado que comprende 1mm.

4.1.3 Comparación de Bandejas.

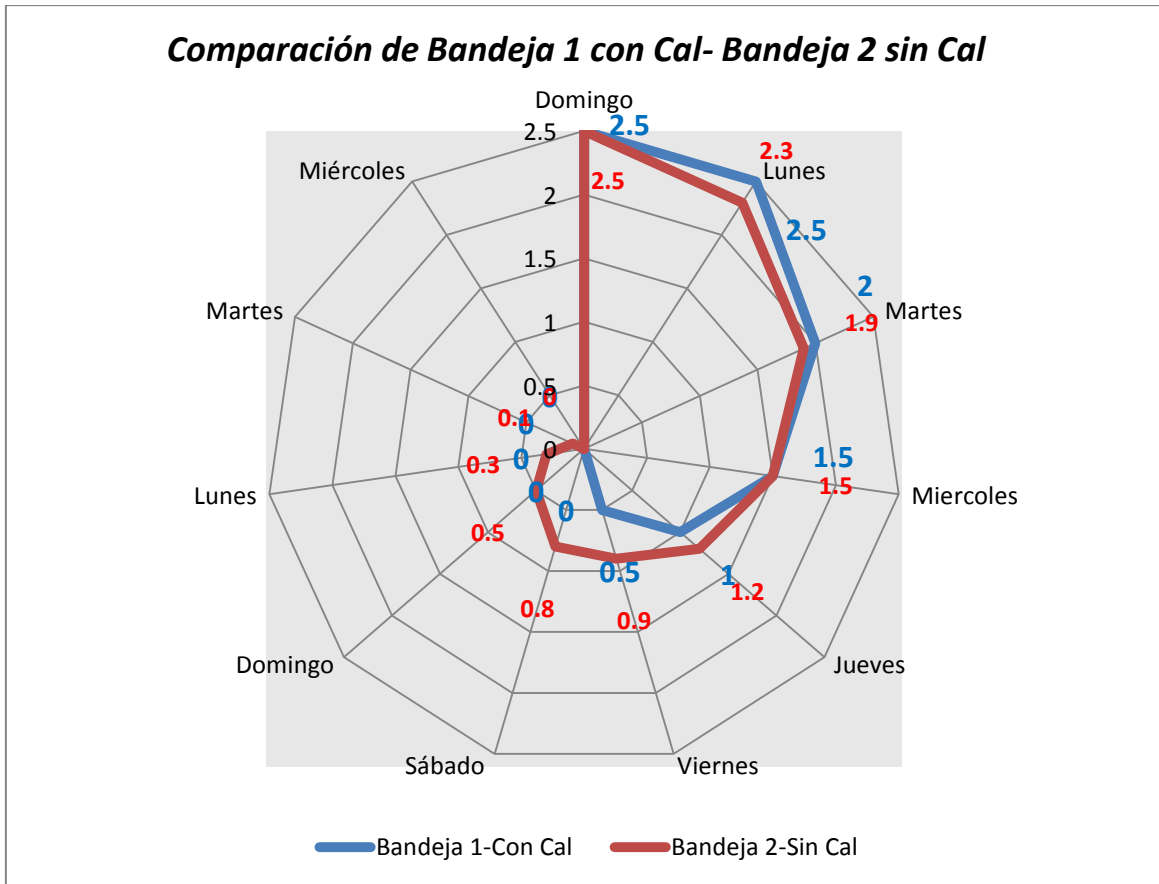


Figura 13.- Comparación de Bandeja 1 con Cal- Bandeja 2 sin Cal.

Dentro de la imagen se observa en la Bandeja 1 que contiene la Cal que se evapora con mayor rapidez en un término de 7 días, esto debido a que la Cal ayuda a disolver las sales en el lixiviado, mientras que la bandeja 2 la cual no contiene Cal se evapora dentro de 11 días, sumado a varios factores como la humedad relativa, temperatura y radiación solar. Se lo define también como la rapidez de evaporación de lixiviado y determinar los factores que benefician y perjudican en este proceso y presenciamos que el factor que favorece a la rapidez de evaporación es el reactivo aplicado en este caso la Cal, es decir, depende de la composición de lixiviado. También se percibe que la bandeja 1 que está enterrada a ras del suelo recibe el calor de las paredes laterales a diferencia de la Bandeja 2 que se encuentra sobre el suelo. También influye la cobertura del suelo como base en este caso para ambas bandejas se utilizó polietileno negro utilizado como aislante térmico y resistencia contra reacción química e impermeabilidad.

4.1.4 Tasa de evaporación

A continuación se calcula la tasa de evaporación por hora.

4.1.5 Tasa de evaporación mes de Julio-Bandeja 1 con Cal

$$E = 5\text{mm} - 25\text{mm} = 20\text{mm}$$

$$20\text{mm} / 24\text{h} = 0.83 \text{ mm/h}$$

4.1.6 Tasa de evaporación mes de Agosto-Bandeja 2 sin Cal

$$E = 3\text{mm} - 25\text{mm} = 22\text{mm}$$

$$22\text{mm} / 24\text{h} = 0.91 \text{ ml/h}$$

Interpretación

Si se representa 2.5 litros en milímetros que es el volumen total de lixiviado para la altura dentro de la bandeja que marca 25 mm esto equivale a 0.1 litros. Es decir en la bandeja 1 se evaporan diariamente 5mm que representan 0.5 litros mientras que en la bandeja 2 se evapora de entre 3 mm a 4 que equivale a 0.3 litros, corresponde a la velocidad del cambio de estado de la materia en este caso el lixiviado en el tiempo en efecto cuando las moléculas de lixiviado se evaporan forman un tipo de barrera por el mayor poder energético es decir el aire saturado forma esta barrera impidiendo que las moléculas ahora de vapor regresen al estado líquido. Es importante reconocer que como el proceso se realiza dentro de un invernadero para lo cual controlamos varios factores para el cálculo del mismo se elimina la velocidad del viento el cual permite que la superficie del lixiviado a evaporar se mantenga a una temperatura constante y mantiene la curva de evaporación continua. También se debe tomar en cuenta la cantidad de reactivo a utilizar es decir mientras aumenta la cantidad de reactivo también aumenta la tasa de evaporación, directamente proporcional a la cantidad de sedimento que se obtiene al final del proceso.

Fuentes y Palacio (2006) en su estudio de evaporación con la implementación de un invernadero coincide con nuestros resultados en que la construcción del invernadero piloto permite conocer las condiciones más adecuadas para una mayor evaporación como lo son varios factores: temperatura, humedad, volumen y composición del lixiviado y da a conocer datos base para proponer un tratamiento alternativo. Así como

también coincide que la temperatura dentro del invernadero debe ser mayor a 27°C para una mayor eficiencia del método.

Narea, Davidson y Evans (2011) en su investigación concuerda con los resultados donde menciona que a nivel de volumen evaporado se obtiene una eficiencia de 90% lo interpreta como mayor aprovechamiento de energía solar haciendo alusión a los diferentes factores meteorológicos.

4.1.7 Porcentaje de eficiencia

Si se compara la cantidad de lixiviado por el tiempo de evaporación para obtener su eficiencia se utiliza la fórmula $\%Efi = CLix/TEva$ donde: CLix es la cantidad de lixiviado y TEva tiempo de evaporación total.

% de eficiencia Bandeja 1 con Cal

$$2.- \% Efi = CLix/TEva$$

$$\%Efi = 2.5l/7dia = 0.4 l/día = 80\%$$

Para que el método sea óptimo y eficiente se considera una evaporación de 0.5l por día bajo condiciones climáticas favorables es decir el lixiviado en la bandeja 1 presenta una evaporación de 0.4 ml/día si se representa en porcentaje se obtiene el 80% de eficiencia.

% de eficiencia Bandeja 2 sin Cal

$$\%Efi = 2.5L/11dia = 0.2 L/día = 40\%$$

Mientras tanto en la bandeja 2 sin la ayuda del coagulante para disminuir las sales y ayudar el proceso de evaporación se obtiene una eficiencia de 0.2 L/día que representa 40% esto debido a varios factores como temperatura y humedad diaria y las sales que posee.

El porcentaje de eficiencia da a conocer los factores a tomar en cuenta para proponer el desarrollo de este método a gran escala, muestra la tasa de evaporación con la rapidez con la cual se evapora el lixiviado es decir se interpreta como el tiempo y volumen, esto es en qué tiempo se evapora cierta cantidad de volumen y bajo qué condiciones como: la composición del lixiviado, el volumen de lixiviado, el material del invernadero, material de bandeja y los factores climáticos.

4.1.8 Producto sobrante

Como un producto resultante luego de la evaporación de lixiviados se obtiene un sedimento de 0.40kg luego del mencionado proceso en la Bandeja 1 con Cal, mientras que la en la bandeja 2 se obtiene un sedimento de 0.1kg considerando un nuevo producto potencialmente contaminante. El sedimento de la bandeja 1 se presenta en estado de distensión y dispersión fácil de manipular para su disposición final, mientras que en la bandeja 2 el sedimento resultante se muestra compactado y adherido a la base de la bandeja dificultando su manipulación.

4.1.9 Diferencias del Método aplicado

La tabla 3 muestra las diferencias del método de evaporación de lixiviados por bandejas con aplicación de cal dentro del invernadero piloto a comparación de si se empleara fuera del invernadero y sin la aplicación de cal.

Tabla 3.- Diferencias del método de evaporación de lixiviados por bandejas con aplicación de cal mediante un invernadero piloto.

Diferencias	
Invernadero	
Dentro del invernadero	Fuera del Invernadero
Controlar la entrada y salida de agua	No controla
Controlar factores climáticos	No controla
Temperatura alta	Temperatura indefinidas
Fácil manejo de registro de datos	Difícil manejo de registro de datos.
Cal	
Con Cal	Sin Cal
Tiempo de evaporación más rápido.	Tiempo de evaporación lento.
Alta tasa de evaporación	Baja tasa de evaporación
Bajo volumen de sedimento	Alto volumen de sedimento
Corrosión de material	Preservación del material.
80% Eficacia	40% de eficacia

Elaborado por: Ingrid Alencastro (2022).

4.1.10 Propuesta

Después de obtener un porcentaje de eficiencia del 80% con adición de Cal es factible proponer el diseño de un invernadero con bandejas enterradas con adición de Cal en la planta de tratamiento de lixiviados del Cantón Latacunga misma que abarca la Parroquia Toacaso. Esta planta tiene una producción de 20L de lixiviado por día partiendo de este volumen se propone:

Para el diseño de un invernadero necesitamos saber el volumen de lixiviado semanal para calcular y conocer la dimensión de las bandejas que contendrán el lixiviado partiendo de los datos obtenidos en el estudio.

$$\text{Lixiviado al día } 20\text{L/día} * 7 \text{ días} = 140 \text{ L/semana}$$

Disposición y dimensión de bandejas enterradas para la preparación de lixiviado de lixiviado. Anexo 1.

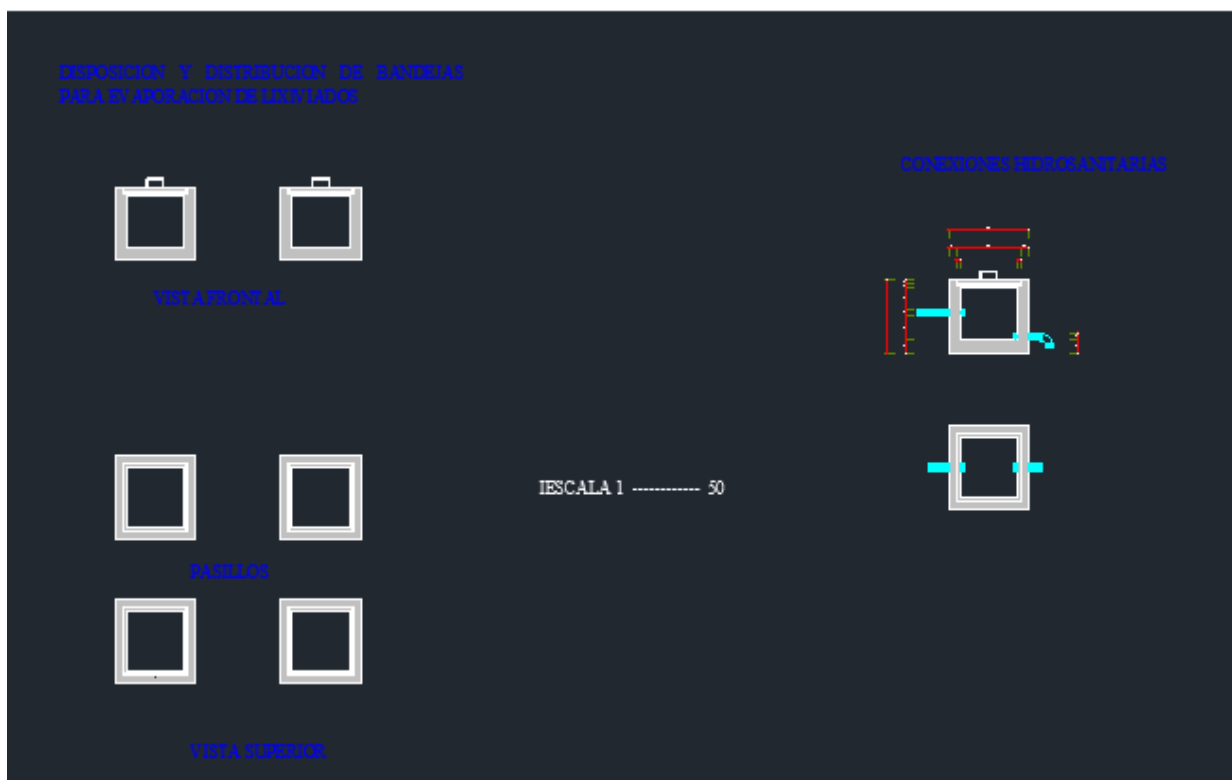


Figura 14.- Disposición y distribución de bandejas para evaporación de lixiviado.

Elaborado por: Ingrid Alencastro (2022).

Se diseña un plano el cual contiene 4 bandejas para la evaporación del lixiviado producido por los residuos sólidos en el Relleno Sanitario que contendrá la cantidad dosificada del lixiviado en partes iguales para cada bandeja. El plano anterior presenta la vista frontal del diseño, vista superior y las conexiones hidrosanitarias para la entrada de los lixiviados.

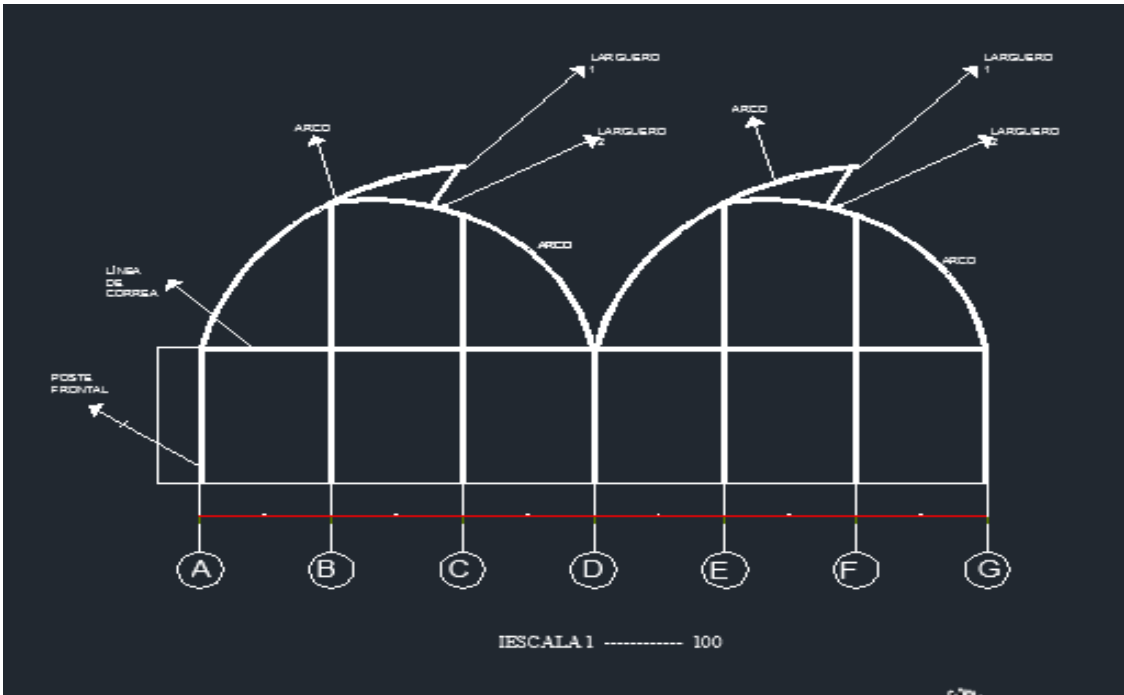


Figura 15.- Diseño y dimensionamiento del invernadero para el Tratamiento de Lixiviados por evaporación-Vista frontal.

Elaborado por: Ingrid Alencastro (2022).

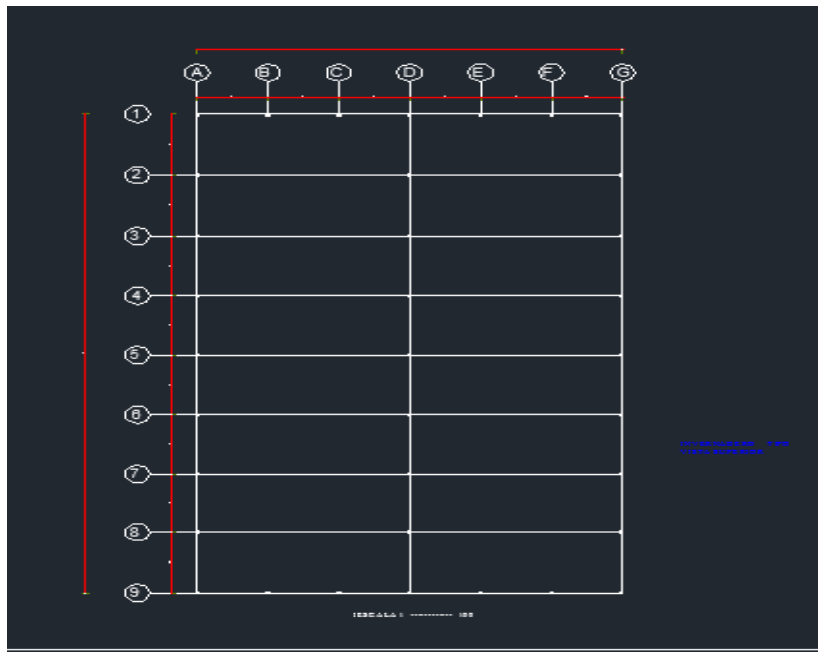


Figura 16.- Diseño y dimensionamiento del invernadero para el Tratamiento de Lixiviados por evaporación-Vista superior.

Elaborado por: Ingrid Alencastro (2022).

Diagrama de proceso de Tratamiento de lixiviados.

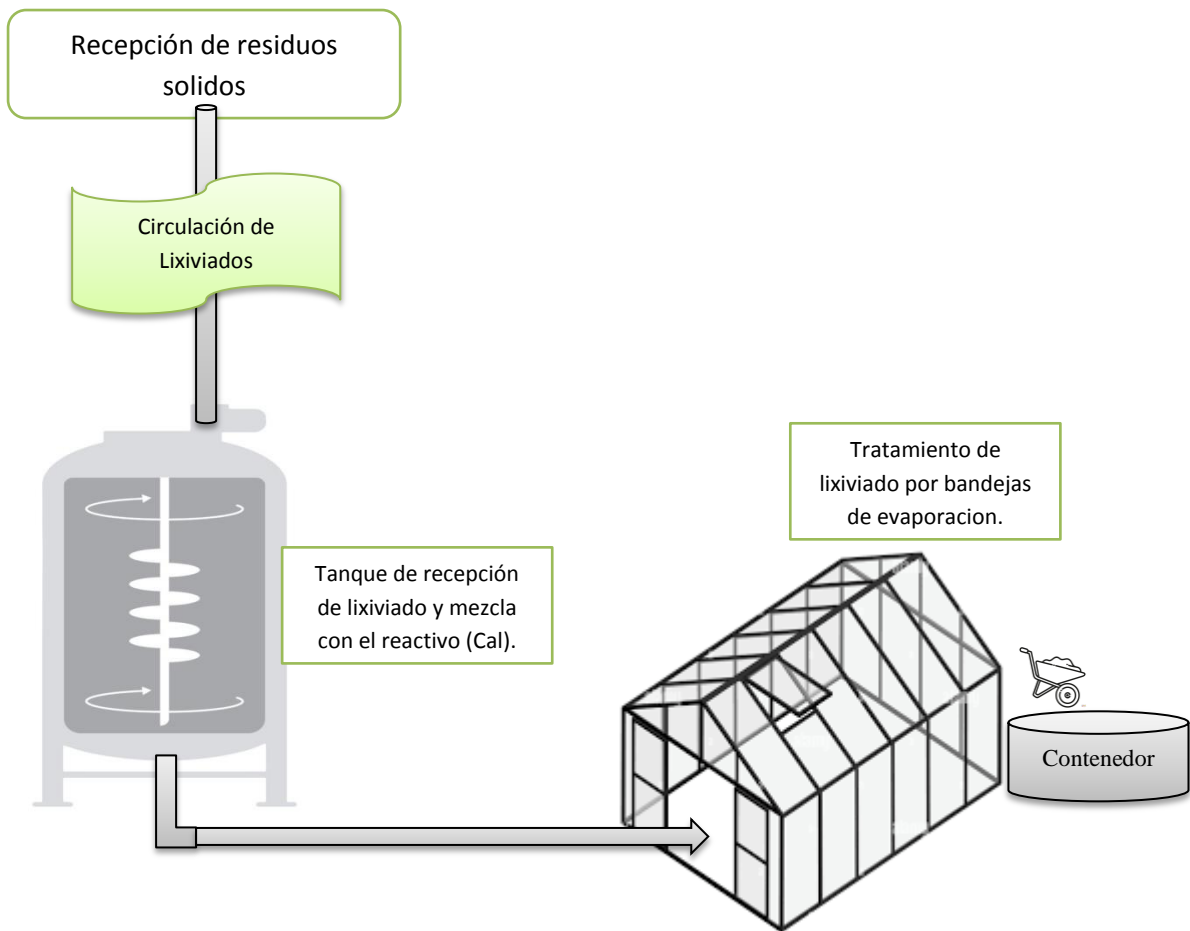


Figura 17.- Diagrama de proceso de Tratamiento de lixiviados.

Se establece un diagrama del proceso de lixiviados por evaporación dentro del invernadero con bandejas y adición de Cal para la propuesta donde se presenta la recepción de residuos sólidos dentro del relleno Sanitario del cantón.

Recepción de lixiviados producidos en 7 días en un tanque de mezcla que contiene el reactivo (Cal).

Invernadero con bandejas el cual cumple la función de evaporar el lixiviado distribuido en cada una, para posteriormente almacenar el sedimento resultante en un contenedor debidamente adecuado.

4.1.10.1 Presupuesto para desarrollo de la propuesta

Se detalla el presupuesto para el desarrollo de un tratamiento de lixiviados por bandejas con aplicación de Cal para el relleno sanitario del Cantón Latacunga. Detalla la cantidad y el costo del material y mano de obra.

Tabla 4.- Presupuesto para desarrollo de la propuesta.

Número	Actividad	Cantidad	Precio unitario	Costo total
Compra de material				
2	Estructura metálica	25	15	375
	Recubierta de plástico			
3	(polietileno)	40	1.5	60
4	Plástico negro	8	1.5	12
5	Grapadora	1	22	22
6	Caja de grapas	1	29	29
7	Alambre	1	45	45
8	Pala	1	6	6
9	Cemento	2	8	16
10	Ripio	2	5	10
11	Arena	2	5	10
12	Bandeja	6	15	90
13	Cal	4	1.50	6
14	Bomba mezcladora	1	500	500
15	Carretilla	1	30	30
16	Contenedor	1	125	125
Mano de obra				
17	Limpieza del terreno	2	25	50
18	Construcción	2	100	200
Equipo de Protección Personal				
19	Guantes	1	7	7
20	Mascarilla	1	3	3
21	Botas	1	12	12

22 Gafas	2	3	6
23 Overol	2	25	50
Total			1.664\$

Elaborado por: Ingrid Alencastro (2022).

Después de desarrollar y detallar el presupuesto necesario para la implementación del tratamiento de lixiviados por evaporación por medio de bandejas con adición de cal, se observa un mínimo coste para la llevar a cabo este proyecto. Se muestra como un tratamiento de bajo coste, con variables controlables de rápida eficiencia y amigable con el medio ambiente.

CONCLUSIONES

- El invernadero piloto sirvió para controlar y conocer los factores necesarios para la evaporación como temperatura, humedad y eliminar la variante de velocidad del viento, para determinar la solidez de las características básicas de construcción del mismo y a la vez sus falencias y ventajas como se tiene registro de otros trabajos dentro de un invernadero se controla la salida y entrada de lixiviado y otros, también otros factores como fauna y comodidad de registro de datos, así como también nos permite conocer datos base para una nueva investigación.
- Los datos registrados en las Bandeja 1 con Cal y Bandeja 2 sin Cal son notorios en cuanto a su eficiencia La bandeja 1 tiene un porcentaje de eficiencia de 80% en un límite de evaporación de 7 días dando a conocer el potencial del coagulante ya que este ayuda a disolver las sales presentes en el lixiviado aumentado así la eficacia y rapidez de evaporación. Mientras que en la bandeja 2 sin cal tiene un porcentaje de eficiencia de 40% debido a que el lixiviado se evapora a término de 11 días con una de evaporación de 0.83mm/día bandeja 1 y 0.92mm/día Bandeja 2 esto se atribuye a varios factores como el cambio de temperatura, la humedad relativa y la intensidad de radiación solar como fuente de energía. La investigación concuerda con datos de otros estudios tales como la temperatura promedio de 27°C para una mayor eficiencia y una eficiencia del 90%.
- El añadido de cal como coagulante ayuda a neutralizar las sales ya que como sabemos las sales presentes demoran el proceso de evaporación sin embargo representa otro producto contaminado resultante después de la evaporación que representa por unidad de litro, a diferencia de no añadir este medio de coagulación su sedimento representa 0.02kg por unidad de litro y se refiere a una diferencia de evaporación de lixiviado de 50% otro factor a tomar en cuenta en una próxima investigación.

4.2 RECOMENDACIONES

- ✓ Se sugiere probar con diferentes diseños de invernaderos con diferentes características de materiales para potenciar la eficacia del método de evaporación de lixiviados.
- ✓ Conocer la composición de lixiviado ya que cada uno se diferencia por el estrato socioeconómico y su consumismo, su geografía y factores climáticos ya que es el punto base para proponer su método de tratamiento.
- ✓ Utilizar los equipos de protección adecuada para manejar los lixiviados. Puesto que tienen sustancias tóxicas al contacto directo con el ser humano u otro será perjudicial para la salud y bienestar
- ✓ Determinar la composición fisicoquímica del sedimento resultante con el fin de darle un uso o eliminación adecuada.

5 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Béjar, M. V. (2004). *Hidrología*. Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- Canepa, J. R. L., Arévalo, J. A. G., Schroeder, R. H. A., & Chiu, W. C. (2008). Mezclas con potencial coagulante para tratamiento de lixiviados de un relleno sanitario. *Interciencia*, 33(1), 22-28.
- Casal Bejarano, C. (2010). *Caracterización de la radiación ultravioleta en la provincia de Huelva e incidencia en la productividad y el valor biotecnológico de cultivos de interés comercial*.
- Espí, E. (2012). Materiales de cubierta para invernaderos. *Cuadernos de estudios agroalimentarios*, 3, 71-88.
- Fuentes, L. A., & Palacio Vaca, J. J. (2006). Evaluación del sistema alternativo de evaporación forzada de lixiviados para el relleno sanitario " Don Juanito" de Villavicencio, Meta.
- Giner, G. (2019). Tipos de investigación y sus características. *Salud*, 1.
- Giraldo, E. (2001). Tratamiento de lixiviados de rellenos sanitarios: avances recientes. *Revista de ingeniería*, (14), 44-55.
- Hernández, J., Escobar, I., & Castilla, N. (2001). *La radiación solar en invernaderos mediterráneos*. Caja Rural.
- Juncosa, R., & Padilla, F. (2009). Capítulo 4: Evaporación y transpiración. Evapotranspiración. *Hidrología superficial y subterránea*, 24.
- Méndez Novelo, R. I., Castillo Borges, E. R., Sauri Riancho, M. R., Quintal Franco, C. A., Giácoman Vallejos, G., & Jiménez Cisneros, B. (2009). Comparación de cuatro tratamientos fisicoquímicos de lixiviados. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 25(3), 133-145.
- Narea, M. S., Davidson, E. P., & Evans, C. E. A. (2011). Criterios para el tratamiento de lixiviados de rellenos sanitarios mediante evaporación por radiación solar.

Novelo, R. M., Borges, E. C., Riancho, M. R. S., Franco, C. Q., Vallejos, G. G., & Mejía, B. J. (2004). Tratamiento fisicoquímico de los lixiviados de un relleno sanitario. *Ingeniería*, 8(2), 155-163.

Pastor Piñeiro, J. (1994). Vertederos controlados. Problemática de los lixiviados.

Rivera Prado, N. Z. (2017). *Propuesta metodológica para el tratamiento de lixiviados del Relleno Sanitario del Distrito Metropolitano de Quito* (Bachelor's thesis, Quito: UCE).

Roldán, J. A. T., Hernández, M. D. L. Á. V., Pérez, R. O. M., Adrián, J., Munive, S., & Aguirre, M. H. Implementación del Colector Solar Parabólico para tratamiento de lixiviados del relleno sanitario de Chiltepeque Puebla, México.

Zafra, C., & Romero, D. (2019). Tendencias tecnológicas de depuración de lixiviados en rellenos sanitarios iberoamericanos. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 18(35), 125-147.

Casal Bejarano, C. (2010). *Caracterización de la radiación ultravioleta en la provincia de Huelva e incidencia en la productividad y el valor biotecnológico de cultivos de interés comercial*.

Rivera Prado, N. Z. (2017). *Propuesta metodológica para el tratamiento de lixiviados del Relleno Sanitario del Distrito Metropolitano de Quito* (Bachelor's thesis, Quito: UCE).

6 ANEXOS

Anexo 1.- Pesaje de la Cal según la sugerencia de mezcla. 1Kg de Cal.



Anexo 2.- Vertido del lixiviado en las bandejas para su posterior experimentacion.



Anexo 3.- Colacion de la Cal en la Bandeja 1.



Anexo 4.-Lixiviado tratado con Cal y registro de datos de evaporacion diaria.



Anexo 5.- Pesaje de sedimento resultante en cada bandeja.



Anexo 6.- Plano del invernadero piloto-Invernadero tipo para la propuesta y bandejas para tratamiento de lixiviado.

