

## EVALUACIÓN AL SISTEMA ALTERNATIVO DE EVAPORACIÓN FORZADA PARA LIXIVIADOS PROVENIENTES DEL BOTADERO A CIELO ABIERTO DE LA CIUDAD DE ESTELÍ.

### EVALUATION SYSTEM TO ALTERNATIVE FORCED EVAPORATION LANDFILL LEACHATE FROM THE OPEN AIR CITY ESTELÍ

*Henry Javier Vílchez Pérez\*\*\**

**RESUMEN:** La realización de ésta investigación, permitió evaluar un sistema alternativo de tratamiento de los lixiviados generados en el botadero a cielo abierto de la ciudad de Estelí a partir de la evaporación forzada a través de un invernadero piloto tipo domo, en donde se demostró la viabilidad del sistema por la facilidad de las condiciones meteorológicas, permitiendo así una evaporación promedio de 0.78 cm/día y posteriormente la identificación de los gases y olores ofensivos emitidos por los lixiviados que estaban concentrados en el domo que luego de la estabilización estos olores son casi inapreciables, este monitoreo se realizó por veinte y dos días consecutivos. Del monitoreo de se logró determinar que el la temperatura para este lixiviado se encuentra en un rango de 26 ° a 34 °C con un valor promedio de 31°, siendo este rango de temperatura propio de un proceso anaerobio denominado Mesófilico.

Se determinó la tendencia de los datos de evaporación de tipo exponencial. Es decir que a mayor altura de la lámina, menor es la evaporación esto se deduce debido a que se trabajó con dos láminas de lixiviados en el interior del domo, siendo la óptima de 20cm y la que se analiza en esta investigación.

La implementación de éste proyecto, Evaluación al sistema alternativo de evaporación forzada para lixiviados provenientes del botadero a cielo abierto de la ciudad de Estelí; es un campo poco estudiado a nivel nacional, siendo ésta una oportunidad y técnica de investigación que puede llegar a permitir el uso de tecnologías económicas y amigables con el ambiente.

**Palabras claves:** Tratamiento de los lixiviados; evaporación forzada; estabilización; sistema alternativo.

**ABSTRACT:** This research allowed to evaluate an alternative treatment system of leachate in the air of the city of Estelí by forced evaporation through a pilot dome greenhouse, where a system was established that simulates weather conditions, allowing an average evaporation of 0.78 cm / day and subsequently identifying gases and offensive odors emitted by leachate that were concentrated in the dome greenhouse after stabilizing these smells, which are almost negligible. This monitoring was performed for twenty consecutive days. During monitoring was determined the temperature for this leaching in a range of 26 ° up to 34 ° C with an average value of 31 °C and this temperature range is typical for a process called anaerobic mesophile.

\*\*\* UNI-RUACS - [jvil12p@gmail.com](mailto:jvil12p@gmail.com) - Autor para la correspondencia

The obtained values from measurement of evaporation showed an exponential tendency, meaning the higher the measuring point of the blade, the lower the evaporation. It deduces due to the work with two sheets of leachate within the dome. As it was analyzed during this investigation, the optimum was found at 20 cm.

The implementation of this project, the evaluation of an alternative system of forced evaporation for leachate from the waste in the air of the city of Estelí, is a nationally hardly studied field, and thus this is an opportunity and research technique that may eventually allow the use of economical and environmentally friendly technologies.

**Keywords:** Treatment of leachate; forced evaporation; stabilization; alternative system.

## INTRODUCCION

La civilización humana desde tiempos antiguos ha sido por excelencia un generador de residuos la cantidad y composición de éstos ha venido cambiando de acuerdo a la época, cultura, nivel de vida y región geográfica fundamentalmente (Vílchez & Moraga, 2011).

La disposición definitiva de los residuos sólidos en la ciudad de Estelí, hoy en día es uno de los problemas más importantes en términos ambientales. Desde hace una década, la Alcaldía de Estelí inicio su preocupación por el problema de los desechos sólidos. Efectivamente, la población municipal de Estelí se había incrementado en un 310% durante el periodo de 1971-2005, pasando de 34,828 a 112,084 habitantes con una tasa de crecimiento promedio anual del 1.9%, por debajo al promedio anual nacional que es de 3.09% (Vílchez & Moraga, 2011).

Por lo que este crecimiento demográfico ocasiona un incremento en la demás de servicios de limpieza, teniendo como resultado un manejo inadecuado que presentan los residuos sólidos en sus diferentes fases, es el resultado de la conjugación de una serie de factores de tipo institucional, ambientales, sociales, culturales y económicos, y monitoreo al sitio de disposición final de residuos (García, 2009).

Para la disposición final de éstos actualmente se utiliza lo que se llama un botadero a cielo abierto ubicado a 8.5 Km hacia la comunidad de facundo picado molina, siendo este donde se depositan todos los residuos generados, por lo que se tiene la dispersión de residuos, quemas, vertido incontrolado de lixiviado y ocasionando focos de contaminación tomando en cuenta la vocación a la agricultura de la zonas aledañas.

De acuerdo con la norma técnica ambiental para el manejo, tratamiento y disposición final de los desechos sólidos no-peligrosos (NTON 050 14-02), define lixiviado como un líquido maloliente producto de la descomposición o putrefacción natural de los desechos sólidos con gran concentración de contaminantes, incluyendo el agua pluvial que se infiltra a través de la basura.

La complejidad en la composición de los lixiviados y la variación que presentan según los residuos de los que se originan, el lugar donde se encuentra el botadero, y la propia evolución experimentada en el tiempo, hace difícil la formulación de un sistema de tratamiento generalizado.

De acuerdo a la normativa aplicable en el país en manejo de lixiviados no se cuenta con una normativa de verificación de límites máximos permisibles vertido, se debe hacer la referencia de lo establecido en el Decreto 33-95 que no existe acápite para este tipos de aguas residuales de alta carga sin embargo de acuerdo a la norma técnica obligatoria nicaragüense para regular los sistemas de tratamientos de aguas residuales y su reusó (NTON 05 027-05) se dice que se podrá usar como tratamiento las lagunas de evaporación pero no se hace referencia al método determinación de eficiencia para ser contrastados con límites de vertido.

Los actuales métodos de tratamiento sólo logran este objetivo parcialmente, y deben utilizarse dos o más de ellos en el proceso para superar las limitaciones que presentan los tratamientos individuales. Otros métodos, menos convencionales, como ultrafiltración, osmosis inversa y nanofiltración han demostrado su eficiencia en la remoción casi completa de contaminantes (98-99% en el caso de osmosis inversa), obteniéndose un efluente que puede ser dispuesto en cuerpos de agua superficiales (Borzacconi et al. 2010). Sin embargo, estos tratamientos implican altos costos, tanto de inversión inicial como en operación, pues la rápida colmatación de las membranas obliga a su continua limpieza y recambio en cortos períodos de tiempo.

Los lixiviados se caracterizan por poseer compuestos que ejercen una DQO doscientas (200) veces mayor que la encontrada en lodos provenientes de plantas de tratamiento de aguas residuales, y también por su alta variabilidad volumétrica. Debido a que las regulaciones ambientales para los lixiviados se hacen cada vez más exigentes, es necesario implementar un tratamiento pertinente que garantice un mínimo impacto ambiental cuando se introducen en el medio ambiente (Jacotin, 2014).

Debido a que las características y propiedades de los lixiviados provienen de múltiples fuentes, y varían de acuerdo a diversos factores, estas propiedades y características son muy específicas para cada lixiviado. Por esto, es indispensable tener una caracterización estricta y confiable con el fin de encontrar la tecnología más apropiada para su tratamiento. No hay garantía de que un tratamiento realizado exitosamente en un lugar sobre un lixiviado específico, de resultado en otro lugar con un lixiviado de otras características.

De manera tal que el objetivo de esa investigación de tipo práctica y de corte transversal será la Evaluación al sistema alternativo de evaporación forzada para lixiviados provenientes del botadero a cielo abierto de la ciudad de Estelí.

La utilización de invernaderos presenta varias ventajas sobre el método tradicional de lagunas de evaporación: concentran la radiación solar en un espacio cerrado, aumentando la temperatura del ambiente y la velocidad de evaporación del líquido; es posible habilitar un sistema de recuperación del agua evaporada para usos posteriores, y posee un mejor control de los parámetros que afectan el proceso de evaporación (humedad relativa, temperatura, altura del líquido).

Por esta razón, con la gran variedad de alternativas para el tratamiento de lixiviados, la alternativa de evaporación forzada de lixiviados a partir de un sistema de invernaderos; es un sistema innovador que no se ha trabajado concretamente en ningún otro botadero ni relleno en el país y es una alternativa para las características de calidad, cantidad y

operación, para las características de los lixiviados y por las condiciones climatológicas y de disponibilidad de espacio así como la disposición que se podría lograr de la oficina de servicios municipales que facilitan la operatividad del tratamiento.

## METODOLOGÍA

La estandarización del método de estudio, fue definido con pruebas sencillas y rápidas para ser ajustadas a la realidad siendo fundamental para el desarrollo de la metodología que se implementó para el cumplimiento de los objetivos planteados para el progreso del trabajo investigativo, desde la toma de la muestra en el botadero de la ciudad, las condiciones de operación de los lixiviados llevados a cabo en el botadero así como el análisis de los factores ambientales en la estabilización del lixiviado.

Se realizó una revisión bibliográfica exhaustiva que permitió tener una perspectiva completa acerca de las variables y los objetivos considerados en la investigación. Tuvo como objetivo conocer el estado del arte referente al tema, sus antecedentes, definiciones, entre otros. También permitió explicar la importancia del problema de estudio y sus aportes a la sociedad, así como la colecta de la muestra que fue unos de los embalses en los que se ha acumulado el lixiviado.

Se realizó observación in situ, para identificar todos los pasos en el manejo de los residuos sólidos en el botadero de la ciudad de Estelí, haciendo énfasis en la disposición final.

Según el nivel de profundidad y orientación en el tiempo, la presente investigación se definió como descriptiva y transversal, logrando determinar las características del tratamiento físico en el lixiviado producido de la descomposición de los residuos sólidos y sub productos del botadero a cielo abierto de la ciudad de Estelí. Según el carácter de la media el enfoque del estudio es mixto, se analizaron variables cuantitativas y cualitativas.

Se construyó un invernadero piloto para obtener una serie de datos históricos que permite identificar las condiciones ambientales en que el modelo funcionaría.

El invernadero se construyó similar a la estructura tipo domo con dimensiones de 7m de largo por 6m de ancho, es una estructura construida principalmente con plástico de 6mm y tubos de acero de  $\frac{3}{4}$  de pulgadas. En su parte inferior se hicieron dos pilas que se cubrieron con polietileno negro de alta densidad que sirve como soporte de los lixiviados. Este tipo de estructura permite retener el lixiviado, mantener una temperatura promedio en su interior y permite la evaporación del mismo. La temperatura deseada se logra, bien sea aprovechando la luz solar o empleando equipos generadores de calor. En este prototipo se empleó la luz solar como fuente de energía.

Así mismo, los invernaderos emplean sistemas de ventilación artificial y/o natural para además de regular la temperatura, controlar la humedad y mantener las condiciones óptimas en su interior. En el invernadero construido, no se empleó ningún sistema de ventilación puesto que este provocaría la dispersión de los gases y olores objeto misional de este estudio.

Para efectos logísticos el invernadero tipo domo, se decidió hacer en las instalaciones del Recinto Universitario Augusto C. Sandino, por lo que la lectura de las temperaturas y tirantes de lixiviado se realizaron cada dos horas de 8:00 am a 6:00 Pm por un periodo de veintidós días (6 a 28 de Junio), estas lecturas se hacían simultáneas en las dos pilas, con medias para la pila uno de 5X2 m y una profundidad de 0.30m y para la pila dos 5X2 m y una profundidad de 0.20m, para evitar contaminación al suelo se usó un plástico negro en ambas pilas para evitar infiltración.

Se realizaron las pruebas de evaporación directa de lixiviado dentro del invernadero, se trabajó con distintas láminas de agua para determinar la variación de evaporación en un periodo y unas condiciones determinadas. La lámina de lixiviado es un factor a tener en cuenta al realizar la evaporación; ya que la lámina de lixiviado está directamente relacionada con el volumen de evaporación y con el tiempo de evaporación. Se trabajaron distintas láminas de lixiviado entre 0.30m y 0.20m de altura, para así determinar la capacidad máxima del invernadero y de la misma manera la altura de lámina óptima anteriormente mencionada para la evaporación deseada.

Por lo que se procedió a realizar un formato de trabajo en la herramienta Excel, donde se registraba los días de muestreo, lectura de temperatura en interior del domo así como la temperatura que alcanzaba el lixiviado para realizar el análisis de tirante evaporado por día y de esta manera determinar en cuantos días se lograría evaporar el caudal de cada una de las pilas.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Prueba preliminar

Para determinar los datos de evaporación se trabajó inicialmente con una prueba experimental a partir de la evaporación de agua dentro del invernadero con un beaker. Los materiales de trabajo fueron un beaker 500 ml y una balanza analítica, en el beaker de 500ml se dejó evaporando dentro del invernadero durante un tiempo determinado.

La evaporación promedio para esta prueba preliminar es de 57.03 ml por cada 8 horas. Esto equivale a una evaporación de 171.1 ml/día por un área de 50.3 cm<sup>2</sup> (esta área corresponde al beaker de 8 cm de diámetro). Se logró obtener una evaporación promedio en esta prueba de 34.02 mm/día-cm<sup>2</sup>.

### Prueba de evaporación directa

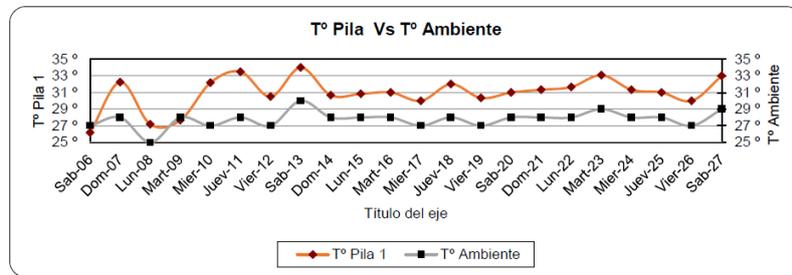
En segunda instancia se realizaron las pruebas de evaporación directa de lixiviado dentro del invernadero. Se trabajó con distintas láminas de agua para determinar la variación de evaporación en un periodo y unas condiciones determinadas.

La lámina de lixiviado es un factor a tener en cuenta al realizar la evaporación; ya que la lámina de lixiviado está directamente relacionada con el volumen de evaporación y con el tiempo de evaporación. Para el caudal de diseño empleado; la lámina ideal de lixiviado de acuerdo al estudio realizado equivale a 20 cm de altura. Sin embargo, se trabajaron distintas láminas de lixiviado entre 20 y 35 cm de altura, para así determinar la capacidad máxima del

invernadero y de la misma manera la altura de lámina óptima anteriormente mencionada para la evaporación deseada.

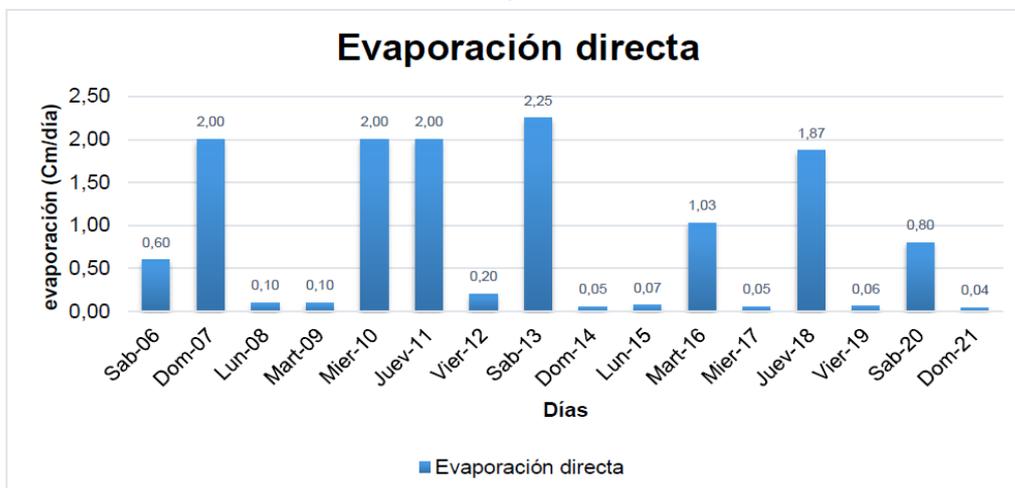
Por lo que el análisis de esta propuesta se centra únicamente en la lámina de lixiviado de 20 cm, como se puede apreciar en el gráfico 1, las temperaturas que se registraron durante los días de muestreo, se notan las diferencias que existe entre las temperaturas ambientales y las que se presentan en la pila 1 (20cm), se registran temperaturas más altas en el inicio de operación, estas temperaturas que se esperaría debido a que en esta etapa el lixiviado pasa por una fase próxima a convertirse en Metanogénica estable producto de las reacciones biológicas que transcurren en él siendo como resultado que los siguientes días de muestreo las temperatura se estabilizan esto se origina cuando el lixiviado está en una fase más estable. La temperatura para este lixiviado se encuentra en un rango de 26 ° a 34 °C con un valor promedio de 31°, siendo este rango de temperatura propio de un proceso anaerobio denominado Mesófilico.

**Gráfico 1: Temperatura Pila Vs Temperatura Ambiente**



La lámina de lixiviado es un factor a tener en cuenta al realizar la evaporación; ya que la lámina de lixiviado está directamente relacionada con el volumen de evaporación y con el tiempo de evaporación. Para el caudal de diseño empleado; la lámina ideal de lixiviado de acuerdo al estudio realizado equivale a 20 cm de altura. Sin embargo, se trabajaron distintas láminas de lixiviado entre 20 y 30 cm de altura, para así determinar la capacidad máxima del invernadero y de la misma manera la altura de lámina óptima anteriormente mencionada para la evaporación deseada. En el gráfico 2, se muestran la evaporación por cada uno de los días en que se realizó el muestreo.

**Gráfico 2: Evaporación Directa.**



La evaporación de los lixiviados en el invernadero piloto tuvo una variación de 2.25 cm/día a 0.04 cm/día. Como se muestra en la figura 2, los datos se obtuvieron a partir de lámina de lixiviado de 20 cm en diferentes días de prueba. La tendencia de los datos de evaporación de tipo exponencial. Es decir que a mayor altura de la lámina, menor es la evaporación.

Para los datos que se obtuvieron de la lámina de 20 cm, se observa que a medida que pasa el tiempo se tiene un incremento en la cantidad de evaporado, pero este incremento depende también de la temperatura, puesto que a medida que iba disminuyendo la temperatura en las horas de la tarde también disminuía la evaporación.

## CONCLUSIONES

El estado actual de los lixiviados producidos en el botadero y sus características físico-químicas, permite establecer condiciones para realizar una alternativa de tratamiento para los mismos. En este caso, el diseño de la alternativa de evaporación forzada debe estar ajustado a las necesidades y condiciones de tratamiento del lixiviado.

La propuesta de diseño del invernadero como alternativa de evaporación forzada es viable puesto que su implementación dentro de las condiciones meteorológicas y de disponibilidad del espacio dentro del botadero de la ciudad, permite tratar el caudal de lixiviados generados dentro del mismo.

La construcción de un invernadero piloto contribuyó a la generación de información primaria para analizar las condiciones óptimas que inciden en la evaporación forzada de lixiviados; permitiendo así, identificar la temperatura, la humedad y el volumen más indicados para el proceso de evaporación.

El análisis de malos olores y los gases no se realizó para determinar si esta actividad genera molestias a la comunidad estudiantil del recinto; en este caso, no es muy significativo realizar un estudio Olfatómico debido a que el foco de olores es el invernadero piloto que después de ser monitoreado se logró identificar las fases de estabilización del lixiviado en donde los primeros días que inicia la cinética microbiana se observaron sapos y otros vectores pero a medida que se avanza en los días estos fueron desapareciendo así como el olor del lixiviado en descomposición que luego de unos días este comenzó su proceso de estabilización logrando de esta manera reducir los olores que se generan en el proceso de estabilización, estos olores están condicionados al tamaño del invernadero y el efluente tratado.

La temperatura óptima que se debe mantener en el invernadero para lograr altos porcentajes de evaporación debe encontrarse en valores entre 28 a 31 °C, la cual ayuda a mantener valores de humedad menores a 63.1%. Que es también un parámetro fundamental que incide en la evaporación de lixiviado.

La temperatura en los lixiviados a la salida del domo aproximadamente salen a 26 – 34 °C. Entre más cerca este la temperatura del lixiviado a la temperaturas de ebullición, disminuye las necesidades energéticas por cada unidad de volumen a tratar y por ende la temperatura es un factor preponderante para este sistema alternativo evaporación forzada y así mismo este factor también influye en la disminución los costos del tratamiento.

## RECOMENDACIONES

La implementación de esta tecnología es del tipo físico, por lo que se deberá de hacer un análisis de los lodos que se producen una vez que han evaporado los lixiviados generándose este sub producto por lo que se deberá de hacer una caracterización de las concentraciones químicas y físicas que este tenga.

Para el sistema alternativo de evaporación forzada se sugiere un proceso preliminar de sedimentación o remoción de sólidos, seguido por una etapa de ajuste químico de pH, como etapas de pretratamiento. En el caso del postratamiento se sugiere la disposición de lodos remanentes del sistema alternativo se recirculen nuevamente al relleno, y un sistema de remoción de amonio y compuestos orgánicos volátiles sobre las corrientes de vapor generadas.

Para la ubicación de los invernaderos es recomendable reutilizar las zonas ya clausuradas de los rellenos sanitarios o botaderos a cielo abierto e instalar barreras vivas para proteger los invernaderos y disminuir el impacto visual negativo que podría traer consigo la construcción de estos invernaderos.

La aplicabilidad de esta alternativa de evaporación es la enorme reducción del volumen de lixiviado; sin embargo, el bajo porcentaje de lixiviado que queda después del proceso de separación, hace que las concentraciones de contaminantes sean muy elevadas y resultan ciertas características fisicoquímicas más complejas en cuanto a su manejo. Por esta razón se recomienda el uso de tratamiento de lodos dentro del relleno sanitario.

Los remanentes más significativos para este tratamiento al desarrollar la evaporación de los lixiviados son la producción de gases y olores ofensivos y la producción de lodos; estos son los residuos de importancia de este sistema alternativo de evaporación forzada que pueden generar un impacto negativo significativo, pero cabe indicar que estos son los remanentes comunes para esta actividad de disposición final de residuos sólidos. Pero de igual forma se recomienda realizar un estudio de impacto ambiental (EIA) para estos remanentes.

## REFERENCIAS

- GIRALDO E, 2001. *Tratamiento de lixiviados de rellenos sanitarios: Avances recientes [Journal]* // Revista Facultad de Ingeniería Universidad de los Andes 14: 44-55.
- METCALF & EDDY. *Ingeniería de Aguas Residuales. Tratamiento, vertido y reutilización.* Tomo I. Editorial Mc Graw Hill. 1995.
- PRETREATMENT FOR LANDFILL LEACHATE [Journal]*. Vol 94: 209–221. Water, Air, and Soil Pollution.
- TCHOBANOGLIOUS G, THEISSEN, H y VIGIL S, 2000. *Gestión integral de residuos sólidos*, tomo I Madrid: Mc Graw – Hill, 436 p.
- Vílchez H. & Moraga F. (2011). *Diseño del plan integral de desechos sólidos y sub productos de la Ciudad de Estelí*. Managua: Universidad Nacional de Ingeniería.



**Henry Javier Vílchez Pérez:** Es graduado de Ingeniero Civil, en la Universidad Nacional de Ingeniería. Es Master en Ingeniería Ambiental del Programa de Investigación Estudios Nacionales y Servicios Ambientales. Es profesor de las asignaturas de ingeniería sanitaria e hidráulica. Su área de investigación es la disposición final de desechos sólidos y subproductos y sistemas de tratamiento de agua potable y residual.