

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONIO GUILLERMO URRELO



Facultad de Ingeniería

**Carrera Profesional de Ingeniería Ambiental y Prevención de
Riesgos**

**EVALUACIÓN DEL TRATAMIENTO DE LA FRACCIÓN
ORGÁNICA DE LOS LIXIVIADOS EN LA
INFRAESTRUCTURA DE TRATAMIENTO Y DISPOSICIÓN
FINAL DE RESIDUOS SÓLIDOS DE CAJAMARCA, 2019.**

Gallardo Gálvez, Roel Glem

Pichén Díaz, Judith Noemí

Asesor:

Dr. Persi Vera Zelada

Cajamarca – Perú

Agosto – 2019

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONIO GUILLERMO URRELO



Facultad de Ingeniería

Carrera Profesional de Ingeniería Ambiental y Prevención Riesgos

**EVALUACIÓN DEL TRATAMIENTO DE LA FRACCIÓN
ORGÁNICA DE LOS LIXIVIADOS EN LA
INFRAESTRUCTURA DE TRATAMIENTO Y DISPOSICIÓN
FINAL DE RESIDUOS SÓLIDOS DE CAJAMARCA, 2019.**

Tesis presentada en cumplimiento parcial de los requerimientos para optar el Título

Profesional de Ingeniería Ambiental y Prevención de Riesgos

Bach. Gallardo Gálvez, Roel Glem

Bach. Pichén Díaz, Judith Noemí

Asesor: Dr. Persi Vera Zelada.

Cajamarca – Perú

Agosto – 2019

COPYRIGHT © 2018 by
ROEL GLEM GALLARDO GÁLVEZ.
JUDITH NOEMÍ PICHÉN DÍAZ.

Todos los derechos reservados

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONIO GUILLERMO URRELO

FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y

PREVENCIÓN DE RIESGOS

**APROBACIÓN DE TESIS PARA OPTAR TÍTULO
PROFESIONAL**

**EVALUACIÓN DEL TRATAMIENTO DE LA FRACCIÓN
ORGÁNICA DE LOS LIXIVIADOS EN LA INFRAESTRUCTURA
DE TRATAMIENTO Y DISPOSICIÓN FINAL DE RESIDUOS
SÓLIDOS DE CAJAMARCA, 2019.**

Presidente: _____

Secretario: _____

Vocal: _____

Asesor: _____

Dedicatoria

A:

A Dios porque es la única razón de lograr y poder cumplir mis objetivos. A mi familia que siempre estuvo allí para apoyarme y aconsejarme, por impulsarme a mejorar cada día más, tanto en lo académico como en lo personal. A mis abuelitos que son mi apoyo incondicional.

Pichén Díaz, Judith Noemí.

A Dios por permitirme lograr mis metas, a mi familia, quienes han sido motivo de inspiración dándome siempre todo su amor y apoyo, permitiéndome saber que, en medio de tantas pruebas, todo se puede lograr.

Gallardo Gálvez, Roel Glem.

Agradecimientos

- En primer lugar, agradezco a Dios, por haberme permitido realizar este trabajo, porque sin su ayuda no habría sido posible.

- Debo una inmensa gratitud a mis padres, a mis hermanas y familiares, por sus consejos y su paciencia, por darme su apoyo, que me brindaron a cada momento.

Pichén Díaz, Judith Noemí

- Agradezco antes que nada a Dios por darme la fortaleza para no dejarme vencer ante las diferentes pruebas que la vida me ha presentado, demostrándome que siempre está conmigo y sé que nunca me dejará.

- A mi familia que por el apoyo que me han brindado tanto económica como emocionalmente para poder lograr mis metas.

Gallardo Gálvez, Roel Glem

RESUMEN

El objetivo principal de esta investigación es evaluar la efectividad del tratamiento de la fracción orgánica de los lixiviados en la infraestructura de tratamiento y disposición final de residuos sólidos de Cajamarca, ya que estos lixiviados significan un problema, ambiental. En época de lluvia, las pozas de lixiviados rebasan o generándose también infiltración produciendo la degradación local de la calidad del agua subterránea, debido a los cambios químicos y a la acción de las bacterias, identificándose un impacto negativo, es por ello que estudiaremos y analizaremos los lixiviados de dicha infraestructura y revisar si se está incumpliendo con las normas establecidas en el D.S. N°012 – MINAM – 2009. Esta investigación es del tipo Descriptiva, ya que se recolectaron datos necesarios del problema a investigar, como son la DBO₅, la DQO y el pH, los cuales fueron sometidos a análisis, buscando medir con la mayor precisión posible, las muestras se recogieron en cada una de las tres pozas de lixiviados, en siete oportunidades, durante la última semana de enero y todo el mes de febrero del 2019 (iniciando con la primera muestra el 28 de enero y las siguientes 6 muestras el 3, 8, 13, 18, 23 y 28 de febrero. Después de cada muestreo se caracterizó el lixiviado y se estudió la variación en la composición de los lixiviados, concluyendo así que al comparar los análisis de laboratorio, se determinó una carga tóxica muy elevada, para el parámetro DBO₅ con un exceso de más de 3000% a lo normado en el D.S. N°012 – MINAM, las 3 pozas y en todas las fechas de muestreo (28 de enero, 03, 08, 13, 23 y 28 de febrero). Para pH se comparó el valor obtenido con el D.S. N°012 – MINAM – 2009 que se

encuentran entre 6,5 y 8,5; Lo que se pudo apreciar que en las primeras 4 fechas de muestreo (28 de enero, 03, 08, 13 de febrero) sus datos obtenidos se encuentran entre el parámetro; En las demás fechas (18, 23 y 28 de febrero) sus resultados no se encuentran entre el parámetro propuesto por el decreto mencionado, sino que lo superan; Esto para la POZA 1, para las pozas 2 y 3 los resultados obtenidos superan de 1% a 11%. Para DQO, la comparación de los resultados de laboratorio, también se determinó una carga tóxica muy elevada, para este parámetro, con un exceso de más de 920% del LMP de la normativa vigente D.S. N°012 – MINAM – 2009, en las 3 pozas. Se determinó que la efectividad del tratamiento de la fracción orgánica de los lixiviados en la infraestructura de tratamiento y disposición final de residuos sólidos de Cajamarca no es eficiente.

Palabras clave: Residuos sólidos urbanos, fracción orgánica, DBO₅, pH, DQO.

ABSTRACT

The main objective of this research is to evaluate the effectiveness of the treatment of the organic fraction of the leachates in the infrastructure of treatment and final disposal of solid waste from Cajamarca, since these leachates mean an environmental problem. In the rainy season, the leachate pits overflow or infiltration is also generated, producing the local degradation of the groundwater quality, due to the chemical changes and the action of the bacteria, identifying a negative impact, that is why we will study and analyze the leached from said infrastructure and review if it is not complying with the norms established in the DS N°012 - MINAM - 2009. This investigation is of the Descriptive type, since necessary data of the problem to be investigated were collected, such as BOD5, COD and pH, which were subjected to analysis, seeking to measure as accurately as possible, the samples were collected in each of the three leachate pits, on seven occasions, during the last week of January and the whole month of February 2019 (starting with the first sample on January 28 and the next 6 samples on the 3rd, February 8, 13, 18, 23 and 28. After each sampling, the leachate was characterized and the variation in the composition of the leachates was studied, concluding that when comparing the laboratory analysis, a very high toxic load was determined, for the parameter BOD5 with an excess of more than 3000% to the norm in the D.S. N° 012 - MINAM, the 3 pools and in all the sampling dates (January 28, 03, 08, 13, 23 and 28 February). For pH the value obtained was compared with the D.S. N°012 - MINAM - 2009 that are between 6,5 and 8,5; What could be appreciated that in the first 4 sampling dates

(January 28, 03, 08, 13 February) your data obtained are between the parameter; On the other dates (February 18, 23 and 28) their results are not among the parameter proposed by the aforementioned decree, but exceed it; This for POZA 1, for pools 2 and 3 the results obtained exceed of 1% to 11%. For COD, the comparison of laboratory results, a very high toxic load was also determined, for this parameter, with an excess of more than 920% of the LMP of the current regulations D.S. N°012 - MINAM - 2009, in the 3 pools. It was determined that the effectiveness of the treatment of the organic fraction of the leachate in the infrastructure of treatment and final disposal of solid waste in Cajamarca is not efficient.

Keywords: Urban solid waste, organic fraction, BOD₅, pH, COD.

ÍNDICE

Dedicatoria	v
Agradecimientos	vi
RESUMEN.....	vii
ABSTRACT	ix
ÍNDICE	xi
LISTA DE TABLAS	xiii
LISTA DE FIGURAS	xiii
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	1
1. Planteamiento del problema	1
1.1. Descripción de la realidad problemática	1
1.2. Formulación del problema	3
1.3. Objetivos	3
1.4. Justificación e Importancia	4
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	6
2. Fundamentos Teóricos de la investigación	6
2.1. Antecedentes Teóricos	8
2.2. Marco teórico	12
2.3. Marco Conceptual	29
2.4. Hipótesis.....	32
CAPÍTULO III: MÉTODO DE INVESTIGACIÓN	33
3. Metodología	33
3.1. Tipo de investigación	34
3.2. Diseño de investigación	34
3.3. Área de investigación.....	35
3.4. Unidad de Análisis	35

3.5. Universo	35
3.6. Muestra.....	36
3.7. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	36
3.7.1. Instrumentos.....	36
3.8. Técnicas para el procesamiento y análisis de datos	37
3.8.1. Procesamiento de datos.....	37
3.8.2. Técnicas de análisis de datos	38
CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN	39
4. Presentación, análisis e interpretación de resultados	39
4.1. Análisis de resultados - Minitab:	54
4.2. Verificar estadísticamente si cumple con los límites establecidos.....	69
4.3. Discusión.....	75
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	79
5. Conclusiones y Recomendaciones	79
5.1. Conclusiones	79
5.2. Recomendaciones.....	80
REFERENCIAS	81
LISTA DE ABREVIATURAS	88
ANEXO 01	89
ANEXO 02.....	93

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación general del lixiviado por edad.....	22
Tabla 2. Límites Máximos Permisibles (LMP) para la descarga de efluentes líquidos de tratamiento de residuos sólidos y lixiviados de rellenos sanitarios y de seguridad	31
Tabla 3. Operacionalización de variables	32
Tabla 4. Resultados POZA 1: Parámetros fisicoquímicos DBO ₅ , DQO y pH.....	39
Tabla 5. Resultados POZA 2: Parámetros fisicoquímicos DBO ₅ , DQO y pH.....	43
Tabla 6. Resultados POZA 3: Parámetros fisicoquímicos DBO ₅ , DQO y pH.....	47
Tabla 7. Análisis Porcentual de los parámetros (DBO ₅ , pH y DQO).	52

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Generación de Lixiviados.....	19
Figura 2. POZA 1: Resultados en gráfico de barras de los parámetros DBO ₅ , pH y DQO.....	40
Figura 3. POZA 1: Resultados: Comparación del parámetro fisicoquímico DBO ₅ , con el D. S. N°012 – MINAM – 2009.	41
Figura 4. POZA 1: Resultados: Comparación del parámetro fisicoquímico pH con el D. S. N°012 – MINAM – 2009.	42
Figura 5. POZA 1: Resultados: Comparación del parámetro fisicoquímico DQO con el D. S. N°012 – MINAM – 2009.	43
Figura 6. POZA 2: Resultados en gráfico de barras de los parámetros DBO ₅ , pH y DQO.....	44
Figura 7. POZA 2: Resultados: Comparación del parámetro fisicoquímico DBO ₅ , con el D.S. N°012 – MINAM – 2009.	45
Figura 8. POZA 2: Resultados: Comparación del parámetro fisicoquímico pH con el D.S. N°012 – MINAM – 2009.	46
Figura 9. POZA 2: Resultados: Comparación del parámetro fisicoquímico DQO con el D.S. N°012 – MINAM – 2009.	47

Figura 10. POZA 3: Resultados en gráfico de barras de los parámetros DBO ₅ , pH y DQO.	48
Figura 11. POZA 3: Resultados: Comparación del parámetro fisicoquímico DBO ₅ con el D.S. N°012 – MINAM – 2009.	49
Figura 12. POZA 3: Resultados: Comparación del parámetro fisicoquímico pH con el D.S. N°012 – MINAM – 2009.	50
Figura 13. POZA 3: Resultados: Comparación del parámetro fisicoquímico DQO con el D.S. N°012 – MINAM – 2009.	51
Figura 14. ICs simultáneos de 95% de Tukey – Diferencias de las medias para DBO ₅	57
Figura 15. ICs individuales de 95% de Fisher - Diferencias de las medias para DBO ₅	58
Figura 16. ICs simultáneos de 95% de Tukey - Diferencias de las medias para DQO.	61
Figura 17. ICs individuales de 95% de Tukey - Diferencias de las medias para DQO.	61
Figura 18. ICs simultáneos de 95% de Tukey - Diferencias de las medias para pH. .	64
Figura 19. ICs individuales de 95% de Tukey - Diferencias de las medias para pH. .	65
Figura 20. ICs simultáneos de 95% de Tukey - Diferencias de las medias para DBO ₅ /DQO.	68
Figura 21. ICs individuales de 95% de Tukey - Diferencias de las medias para DBO ₅ /DQO.	68
Figura 22. Histograma de DBO ₅ (Con H ₀ e intervalo de confianza t de 95% para la media).....	69
Figura 23. Histograma de DBO ₅ Normal.....	70
Figura 24. Histograma de DQO (Con H ₀ e intervalo de confianza t de 95% para la media).....	71
Figura 25. Histograma del DQO - Normal.....	72
Figura 26. Histograma de pH (Con H ₀ e intervalo de confianza t de 95% para la media).	73

Figura 27. Histograma de pH - Normal	74
Figura 28. Histograma de pH - Normal	74
Figura 29. Realizando el llenado de la cadena de custodia y tomando apuntes del monitoreo a la Infraestructura de tratamiento y disposición final de residuos sólidos Cajamarca para la toma de muestras DBO ₅ , pH y DQO, en sus respectivos puntos. 89	
Figura 30. Procediendo a tomar la primera muestra de DBO ₅ de la poza 1 y luego, el personal cumple con el material apropiado para la muestra.	89
Figura 31. Toma de muestra en la Poza 2, se evidencia al encargado del muestreo, tomar el parámetro de DBO ₅ el cual no es preservado.	90
Figura 32. Toma de muestra en la Poza 3, se realiza el recojo de muestra de DQO, cumpliendo con los estándares de calidad para mantener sus características reales y así llegar en óptimas condiciones al laboratorio.....	90
Figura 33. Se realiza la toma de muestra del parámetro pH, con la finalidad de evidenciar el proceso de neutralización que realiza la municipalidad a sus pozas.	91
Figura 34. Se evidencia el momento donde se realiza la preservación de la muestra de DQO con ácido sulfúrico el cual se da en todas las muestras de este parámetro.....	91
Figura 35. Los muestreos se realizaron cumpliendo con todos los requisitos para realizar un monitoreo de calidad.	92

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1. Planteamiento del problema

1.1. Descripción de la realidad problemática

“Una de las principales afecciones al ambiente es la excesiva generación per cápita de residuos. Muchos que por mucho tiempo se han dispuesto en sitios de confinamiento sin las medidas esenciales que impidan que estos sigan contaminando” (Valles, 2013).

“Uno de los principales problemas en los rellenos sanitarios es la descarga de lixiviados, el movimiento que realizan en los límites del terreno en el nivel freático o en las fuentes de aguas superficiales, causa considerables problemas de contaminación” (Corena, 2008).

“Un aspecto previsor de contaminación por lixiviados es la prevención de su producción, aunque es la calidad del lixiviado la que causa la contaminación, su cantidad es más controlable” (Pineda, 1998).

“La disposición definitiva de los residuos sólidos es, hoy en día, uno de los problemas más importantes que afectan a las sociedades del mundo en términos ambientales” (Corena, 2008).

“La cantidad de lixiviados generado, guarda relación directa con el área que ocupa el relleno sanitario, su tiempo de operación, el tipo de residuo que se dispone, la precipitación y el modo de operación (manual, mecánico o combinado)” (Vásquez, 2017).

En la composición de estos lixiviados destaca la presencia de compuestos orgánicos, metales pesados y sedimentos con un grado variable de toxicidad para los seres vivos, lo cual justifica su tratamiento a través del uso de piscinas aireadas, lagunas, precipitación química y otros métodos, que por lo general son de alto costo; Es por ello, que, la mayoría de municipalidades que cuentan con rellenos sanitarios, optan por recircular el lixiviado en las celdas donde se disponen los residuos sólidos, sin ningún tratamiento, pudiendo causar impactos negativos de gran magnitud e intensidad para el ambiente (Vásquez, 2017).

Cajamarca, es una ciudad que presenta deficiencia tecnológica en su Infraestructura de Tratamiento y Disposición Final, a donde diariamente ingresan en promedio 140 toneladas de residuos sólidos, los cuales son dispuestos en las celdas de tratamiento que ocupan un área de 3,5 hectáreas, y los lixiviados drenan y acumulan en una poza impermeabilizada con geomembrana con una capacidad de almacenamiento de 10000m³ (Vásquez, 2017).

Los lixiviados de la Infraestructura de Tratamiento y Disposición Final de Cajamarca son captados en pozas, las cuales, al ser superadas en su capacidad, rebasan directo al ambiente sin ningún tipo de tratamiento; este problema se

agrava en épocas de lluvia (“entre los meses de febrero y abril y septiembre y noviembre” (Gobierno Regional de Cajamarca, 2012)); De manera tal que se acentúa el problema toxicológico para las comunidades aledañas, sin olvidar el foco infeccioso en que se convierten estos lixiviados.

Los lixiviados de la infraestructura de tratamiento y disposición final de residuos sólidos de Cajamarca se almacenan en la poza número 01, luego son transferidos a la poza número 02 donde son tratados con cal, posteriormente son evacuados a la poza número 03, lugar donde reciben el mismo tratamiento; Actualmente se generan grandes volúmenes de lixiviados, producto de la descomposición de la fracción orgánica de los residuos sólidos.

1.2. Formulación del problema

¿Cuál es la efectividad del tratamiento de la fracción orgánica de los lixiviados en la infraestructura de tratamiento y disposición final de residuos sólidos de Cajamarca, 2019?

1.3. Objetivos

Objetivo General

- Evaluar la efectividad del tratamiento de la fracción orgánica de los lixiviados en la infraestructura de tratamiento y disposición final de residuos sólidos de Cajamarca, 2019.

Objetivos específicos

- Evaluar la normativa vigente que aplica para el análisis de descarga de efluentes líquidos de tratamiento de residuos sólidos y lixiviados de rellenos sanitarios (D.S. N°012 – MINAM – 2009) para los parámetros DBO₅, pH y DQO.
- Comparar los valores obtenidos de DBO₅, pH y DQO, con la normativa vigente que aplica para el análisis de descarga de efluentes líquidos de tratamiento de residuos sólidos y lixiviados de rellenos sanitarios (D.S. N°012 – MINAM – 2009).
- Analizar los datos obtenidos de los parámetros DBO₅, pH y DQO, para determinar la efectividad del tratamiento de la fracción orgánica de los lixiviados en la infraestructura de tratamiento y disposición final de residuos sólidos de Cajamarca.

1.4. Justificación e Importancia

La Infraestructura de Tratamiento y Disposición Final de Cajamarca, está ubicada en el sector Palturo, caserío San José de Canay, distrito de Jesús, en el kilómetro 13 de la carretera Cajamarca - San Marcos. Esta infraestructura atiende a 5 distritos de sus alrededores como son: Jesús, Llacanora, Baños del Inca, Namora y Cajamarca.

Por la naturaleza fisicoquímica y microbiológica los lixiviados requieren de una gestión adecuada para mitigar sus efectos nocivos para el ambiente (fuentes naturales de agua, suelo, flora y fauna propias del lugar) así como también para las personas de las comunidades aledañas de la infraestructura de Tratamiento y Disposición Final de Cajamarca. Los lixiviados de la Infraestructura de Tratamiento y Disposición Final de Cajamarca son captados en pozas, las cuales, al ser superadas en su capacidad, rebasan directo al ambiente sin ningún tipo de tratamiento; De manera tal, que se acentúa el problema toxicológico para las comunidades aledañas, sin olvidar el foco infeccioso en que se convierten estos lixiviados.

Los lixiviados de la Infraestructura de Tratamiento y Disposición Final de Cajamarca son captados en pozas, las cuales, al ser superadas en su capacidad, rebasan directo al ambiente sin ningún tipo de tratamiento; este problema se agrava en épocas de lluvia (“entre los meses de febrero y abril y septiembre y noviembre”. De manera tal que se acentúa el problema toxicológico para las comunidades aledañas, sin olvidar el foco infeccioso en que se convierten estos lixiviados.

Los resultados constituirán un referente teórico, para la realización de futuras investigaciones con características similares, así mismo puede servir como herramienta para la toma de decisiones en los procesos de gestión de residuos sólidos.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2. Fundamentos Teóricos de la investigación

Gestión Ambiental

Administración y manejo de todas las actividades humanas que influyen sobre el ambiente, mediante un conjunto de pautas, técnicas y mecanismos que aseguren la puesta en práctica de una política ambiental racional y sostenida (CEPAL/CLADES, 1981).

“Gestión mediante la fijación de metas, planificación, mecanismos jurídicos, etc., de las actividades humanas que influyen sobre el ambiente” (Sánchez, et al., 1982).

“El propósito de asegurar una toma de decisiones sostenidas y ambientalmente racionales y ponerlas en práctica, permitiendo así que el proceso de desarrollo económico y social continúe en beneficio de las generaciones presentes y futuras” (Sánchez, et al., 1982).

Gestión Integral de los Residuos Sólidos

Esta gestión implica considerar todas las etapas del manejo de los residuos sólidos como un todo y no como una suma de partes, abordándose la problemática ambiental de los residuos sólidos de manera mucho más eficiente.

De este modo, existe un orden para abordar el problema, el cual se debe iniciar por la prevención, lo que supone estar preparado para tomar las acciones del caso; luego, la minimización de impactos y residuos.

Se identifica los puntos en los cuales se contamina y se intenta reducirlos lo más posible, el paso siguiente es la reutilización y reciclaje, donde se busca volver a usar los residuos; Por ejemplo, usar retazos de telas para confeccionar cojines o la transformación de residuos orgánicos para obtener compost. Luego, sigue el proceso de tratamiento, por el cual se pretende reducir los componentes dañinos contenidos en los residuos y que pueden dañar el ambiente. La última etapa es la disposición final segura de los residuos.

Generación y Composición de los Residuos Sólidos Urbanos (RSU)

De manera general, se puede afirmar que la generación de residuos es mayor en zonas urbanas, en zonas con un nivel de consumo elevado y en áreas de gran desarrollo industrial (Bonmatí, 2008).

Así, encontramos valores de generación de RSU *per cápita* que van desde 1,6 kg/persona/día, en países altamente industrializados hasta apenas 0,37 kg/persona*día en países de industrialización bajo y población mayoritariamente rural (Bonmatí, 2008).

Los residuos sólidos urbanos incluyen residuos no peligrosos o inertes, como pueden ser materia orgánica, papel y cartón, vidrio, plástico, metales, madera, textiles, etc., y residuos peligrosos (normalmente en pequeñas cantidades) tales como medicamentos caducados, tubos fluorescentes, neumáticos, baterías, disolventes, pinturas, electrodomésticos, etc. (Bonmatí, 2008).

La composición de los RSU también varía por zonas, la diferencia más destacable es que, en zonas rurales y en países menos industrializados, la fracción orgánica (considerando únicamente los restos de comida) es mucho mayor (Bonmatí, 2008).

2.1. Antecedentes Teóricos

Valles, A (2013). En este estudio se planteó una metodología de tratamiento sobre este tipo de subproducto basada en procesos fisicoquímicos y biológicos en cuatro etapas. Se realizó la caracterización del lixiviado considerando los parámetros como DQO, DBO₅, NT y metales de manera previa al experimento, así como antes y después de cada tratamiento para evaluar la eficiencia de cada proceso. Obteniendo remociones de 41 y 95% de DQO en Fase I y Fase II respectivamente. 92% DBO₅ y 52% Nitrógeno Total en Fase II. Eliminación completa de metales como Bario, Cromo, Cobre, Níquel y Zinc además de remociones de 96% Aluminio, 79% Calcio, 51% Hierro y 17% Manganeseo.

Corena, (2008). En su trabajo, sistemas de tratamientos para lixiviados generados en rellenos sanitarios, tuvo como objetivo conocer y describir cada

una de las alternativas de tratamiento para los lixiviados generados en los rellenos sanitarios, con el propósito de resaltar los sistemas más adecuados, para la preservación y conservación del ambiente. Concluyendo así, que el sistema de tratamiento por recirculación es uno de los más usados por ser significativamente más económicos que los otros sistemas. Este además de ser viable y económico, es aprobado por la legislación ambiental colombiana.

Reyes, M. (2015). En su investigación realiza un análisis de sensibilidad en los pesos de los criterios de decisión y en los valores de rendimiento de las alternativas, expresados ambos en términos de los criterios de decisión. Se presenta un método híbrido para la elección de la combinación óptima de técnicas de depuración de entre las disponibles, mediante la aplicación de un análisis jerárquico de criterios múltiples AHP sobre la base de datos de expertos, obtenidos por el método Delphi, junto a un análisis de resultados por el método VIKOR, para llegar a una solución de consenso, que pueda ser asumible por la mayoría de los expertos consultados como propia.

Hernández, N. et al., (2012). En su investigación consideraron como propósito, conocer el efecto de diferentes tasas de recirculación de lixiviados en la concentración de Metales Pesados (MP), así como en la matriz de residuos de biorreactores anaerobios (BrA) a escala laboratorio, para determinar la tasa que produzca la menor lixiviación de MP (metales pesados). Los lixiviados generados a 80% y 70% Hbh (base húmeda), presentaron menor lixiviación de

MP, mientras que a 50% Hbh durante las fases de hidrólisis y acidogénesis mostraron concentraciones elevadas. Para MPT en los residuos sólidos, Ni y Pb presentaron diferencias significativas entre las muestras y en cuanto a los MPD sólo existieron diferencias significativas para Zn.

Bernache, G. (2011). Hizo un estudio sobre la forma en que funcionan los vertederos de residuos sólidos que dan servicio a ciudades de diversos tamaños en el país. Los sitios de disposición final son el punto más débil de los procesos de manejo de residuos municipales y esto resulta en vectores de contaminación ambiental que afectan directamente las fuentes de agua, la calidad del aire regional y, en ocasiones, a los asentamientos de población aledaños. La Región Centro Occidente de México comprende nueve estados de la república, con 68 municipios urbanos que albergan ciudades medias, grandes y zonas conurbadas, la investigación se centró en este universo de zonas urbanas, de las cuales se logró obtener información de 41 ayuntamientos; Los cuales indican que los vertederos de la región son un factor de riesgo que puede estar ocasionando un nivel importante de contaminación de los ecosistemas municipales y regionales.

Zapata, A. (2012). En su investigación consideró un sistema BBS, el cual, se operó en continuo durante ciento veinte días, la etapa de arranque tardo los primeros treinta días durante los cuales se desarrolló la biopelícula tanto en el reactor anaerobio como en el aerobio. A partir del día treinta se reportaron cambios en las características fisicoquímicas del lixiviado y se registraron todos

los parámetros fisicoquímicos cada cinco días. Al finalizar la operación como resultado del método, se determinó que la operación del relleno sanitario impacta en mayor medida los componentes físico y biótico, en especial genera efectos como: la alteración de la calidad del aire, la pérdida de especies de flora acuática y terrestre, la alteración del ciclo hidrológico y la disminución de la calidad de aguas superficiales y subterráneas.

Aparicio, M. y Flores, J. (2017). En este estudio se realizaron algunos análisis físico químicos de los lixiviados del basurero de Jocotepec, Jalisco, el cual genera una serie de problemas tales como los incendios que se generan en temporada de calor, derrumbes de cerros de basura en época de lluvia y generación, escurrimiento e infiltración de lixiviados a cuerpos de agua superficiales y subterráneos. A partir del 2009 y hasta el 2017, se le dio seguimiento a los lixiviados que se generan, identificándose un impacto negativo con una concentración de DQO diez veces superior a la del drenaje que llega a la planta de tratamiento de Jocotepec, por lo que se pudo concluir que tan importante es la construcción y operación de plantas de tratamiento de aguas residuales municipales en las poblaciones ribereñas, como el cumplimiento de la normatividad para disposición de residuos sólidos.

2.2. Marco teórico

Gestión de Residuos Urbanos

Un dato técnico muy importante para planificar la gestión de los residuos es conocer la cantidad y las características (densidad y composición) de los residuos sólidos que se generan en las viviendas, comercios, mercados, escuelas, etc. (Bonmatí, 2008).

A continuación, se describen brevemente las etapas que integran la gestión de los residuos sólidos urbanos (Bonmatí, 2008).

- **Actividades en Origen:** “Las actividades en origen comprenden la selección, la manipulación y el almacenamiento de los residuos sólidos, los métodos de manipulación y almacenamiento variarán dependiendo de que se realice o no una recolección selectiva y de su frecuencia” (Bonmatí, 2008).

- **Recolección:** Hay dos aspectos que es importante definir en la recolección de los residuos: el modelo y el sistema de recolección.

- **Transferencia:** “Cuando el volumen de residuos a transportar a las plantas de tratamiento y la distancia a recorrer hasta ellas son muy grandes, los residuos se suelen transferir de los pequeños camiones a mayores con objeto de optimizar el transporte”.

Esta operación se realiza en los centros de transferencia y consta básicamente de 3 etapas: descarga, compactación y carga en el camión de mayor tamaño (Bonmatí, 2008).

La disposición final se debe realizar en infraestructuras habilitadas, es decir en instalaciones debidamente equipadas y operadas. Nunca en botaderos clandestinos a cielo abierto (Bonmatí, 2008).

Relleno Sanitario

“Es la instalación destinada a la disposición sanitaria y ambientalmente segura de los residuos sólidos en la superficie o bajo tierra. Se basa en los principios y métodos de la ingeniería sanitaria y ambiental” (Bonmatí, 2008).

Es una obra de ingeniería destinada a la disposición final de los residuos sólidos domésticos, en condiciones controladas que minimizan los efectos adversos sobre el ambiente y el riesgo para la salud de la población (Bonmatí, 2008).

Consiste en preparar un terreno, colocar los residuos, extenderlos en capas delgadas, compactarlos para reducir su volumen y cubrirlos al final de cada día de trabajo, con una capa de tierra de espesor adecuado (Bonmatí, 2008).

Un relleno sanitario planificado, ofrece, una vez terminada su vida útil, excelentes perspectivas de una nueva puesta en valor del sitio, gracias a su

eventual utilización en usos distintos al relleno sanitario, tales como áreas verdes y de recreación.

El vertido y aislamiento de los residuos es el más económico y método más utilizado, únicamente si no se consideran los costes derivados de sus impactos (Bonmatí, 2008).

Fracción Orgánica

“La generación creciente de RSU, esencialmente en las grandes urbes, constituye un motivo de inquietud por los graves problemas de salud y ambientales que acarrea su gestión ineficiente” (Espinosa, López, Pellón, Mayarí, & Fernández, 2006).

Sin embargo, la valorización (compostaje, lombricultura, digestión anaerobia, entre otros métodos) de la fracción orgánica de los RSU (FORSU) puede contribuir a paliar esos problemas, al disminuir la cantidad de residuos que se disponen y lograr obtener subproductos útiles a partir de ellos, tales como compost, vermicompost, biogás y biosólido, lo cual tiene impactos positivos tanto en el medio ambiente como en la economía (Espinosa, et al., 2006).

“Residuos domésticos, que incluyen restos de comida y desperdicios de cocina, corresponden a la FORSU, cuya gestión y manejo es especialmente difícil debido a su alto contenido de humedad y rápida putrefacción” (Lastra, 2013).

Su disposición en vertederos da lugar a la formación de lixiviados que pueden causar impactos ambientales severos como la contaminación de aguas subterráneas y/o superficiales y la emisión de gases de efecto invernadero (Lastra, 2013).

De acuerdo al Ministerio de Agricultura Alimentación y Medio ambiente, la fracción orgánica está constituida por:

- Restos de preparación de la comida o manipulación y elaboración de los productos alimentarios, restos sobrantes de comida, alimentos en mal estado y excedentes alimentarios no comercializados o consumidos, separados de su envase o embalaje (Lastra, 2013).
- Fracción vegetal en forma de restos vegetales de pequeño tamaño y de tipo no leñoso procedentes de jardinería y poda. Pueden ser gestionados de forma conjunta o separada a los restos de comida, según la configuración de los servicios de recogida y los niveles de generación (Lastra, 2013).

Lixiviados de rellenos sanitarios

“Se producen por la mezcla de uno o más compuestos de los RSU, en contacto con un disolvente líquido (agua) o por la propia dinámica de descomposición de los residuos.”

Este líquido tiene aforo de transportar a las aguas profundas, superficiales y al suelo próximo (Torres, Magno, Pineda & Cruz, 2017).

“El lixiviado simboliza un potencial riesgo de contaminación tanto del suelo y el subsuelo como de las corrientes superficiales y sub-superficiales vecinas, debido a la comunicación hidráulica que poseen los acuíferos” (Torres, et al., 2017).

“El lixiviado contiene una gran cuantía de sólidos en suspensión y materia orgánica crecidamente contaminante, medido con las potenciales exposiciones de gases de vertedero los lixiviados son expuestos durante un periodo de tiempo mucho más largo” (Torres, et al., 2017).

Características de los Lixiviados

Tanto físicas, químicas y biológicas son resultado de las reacciones que se efectúan dentro de un relleno sanitario y son estas, las que dan pauta al perfeccionamiento de un tratamiento adecuado (Chistensen, 1989).

En la composición de estos lixiviados destaca la presencia de compuestos orgánicos, metales pesados y sedimentos con un grado variable de toxicidad para los seres vivos, lo cual justifica su tratamiento a través del uso de piscinas aireadas, lagunas, precipitación química y otros métodos, que por lo general son de alto costo; Es por ello, que, la mayoría de municipalidades que cuentan con rellenos

sanitarios, optan por recircular el lixiviado en las celdas donde se disponen los residuos sólidos, sin ningún tratamiento, pudiendo causar impactos negativos de gran magnitud e intensidad para el ambiente (Vásquez, 2017).

La composición de un lixiviado está caracterizada por cantidades elevadas de materia orgánica (biodegradable, pero también refractaria a la biodegradación), sales orgánicas e inorgánicas, nitrógeno, metales pesados y otras sustancias químicas diluidas, variando con la edad del vertedero, las características del residuo depositado, la meteorología del lugar y modo de operación (Torres, et al., 2017).

Los lixiviados contienen toda característica contaminante principal, es decir, alto contenido de materia orgánica, nitrógenos y fósforo, presencia abundante de patógenos e igualmente sustancias tóxicas como metales pesados y constituyentes orgánicos (Torres, et al., 2017).

En los lixiviados hay compuestos orgánicos presentes como: proteínas, carbohidratos, compuestos hidroxiaromáticos, alcoholes, y principalmente los ácidos grasos volátiles; también contienen gran cantidad de nitrógeno amoniacal (Torres, et al., 2017).

“Las características indican que es necesario removerle a los lixiviados durante su tratamiento, tecnológicamente existen otras características que, sin ser necesariamente contaminantes, pueden afectar el funcionamiento de los procesos de tratamiento” (Torres, et al., 2017).

“La carga orgánica de los lixiviados alcanza los máximos valores en los primeros años de operación y decrece gradualmente con la edad del vertedero” (Torres, et al., 2017).

La concentración de amonio, que en general puede presentar cantidades superiores a 2000mg/L, no decrece y a menudo constituye su principal contaminante (Torres, et al., 2017).

En cuanto al contenido en metales pesados, las concentraciones son muy bajas en la fase metanogénica, pero sí son importantes en la fase inicial del vertedero (fase ácida) (Torres, et al., 2017).

“Durante la fase ácida de la descomposición, el pH será bajo y las concentraciones de DBO₅, COT, DQO, nutrientes, y metales pesados serán altas” (Torres, et al., 2017).

“Durante la fase de fermentación del metano, el pH estará dentro del rango de 6,5 a 7,5, y los valores de concentración de DBO₅, COT, DQO y de los nutrientes serán significativamente más bajos” (Torres, et al., 2017).

Similarmente, serán más bajas las concentraciones de metales pesados porque la mayoría de los metales son menos solubles para valores de pH neutros, el pH del lixiviado dependerá no solamente de la concentración de los ácidos que están presentes, sino también de la presión parcial del CO₂ en el gas de vertedero que está en contacto con el lixiviado, como se muestra en la siguiente figura (Torres, et al., 2017).

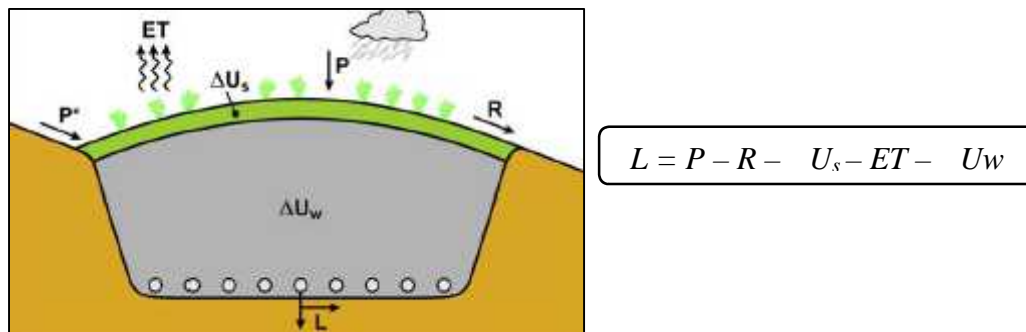


Figura 1. Generación de Lixiviados.

Donde:

L = Es el caudal de lixiviados.

ET = Evaporación.

P = Precipitación media anual.

U_s = Cambio de humedad del suelo.

R = Es la escorrentía.

U_w = Cambio de humedad de los residuos.

Caracterización del lixiviado

La concentración de contaminantes de los lixiviados varía con el tiempo, por lo que difícilmente puede emplearse con éxito un único tratamiento a estos líquidos (Valles, 2013).

Los lixiviados jóvenes, poseen elevadas concentraciones de materia orgánica e índices de biodegradabilidad (DBO_5/DQO) superiores a 0,4; lo que hace posible que sean tratados eficientemente por procesos biológicos; pero en lixiviados de rellenos viejos, con índices inferiores a 0,02, estos tratamientos no son eficientes. Las características que puede presentar un lixiviado están influenciadas en gran medida por los procesos biológicos, químicos y físicos que tienen lugar en el relleno sanitario. Por otra parte, los parámetros más importantes del lixiviado son: DBO_5 , DQO , sólidos disueltos totales (STD), metales pesados y constituyentes tóxicos (Valles, 2013).

Otros autores les suman a los anteriores parámetros, por la complejidad que presentan y la abundancia de sustancias hidrocarbonadas solubles, abundancia de nitrógeno orgánico y amoniacal y la presencia de otros metales (Cadmio, Níquel, Zinc, Plomo, etc.) (Valles, 2013).

Calidad y cantidad de los lixiviados

“La calidad de los lixiviados varían con el tiempo y con el tipo de relleno sanitario que se tenga” (Torres, et al., 2017).

“En países en desarrollo los lixiviados de rellenos sanitarios presentan concentraciones mayores de DBO_5 , amoniaco, metales, y sustancias precipitables que aquellos de países desarrollados, también las concentraciones

en el lixiviado joven son mucho mayores que en el lixiviado viejo” (Torres, et al., 2017).

La relación DBO_5/DQO para un lixiviado joven es alta indicando una buena biodegradabilidad, mientras que para un lixiviado viejo es baja indicando una baja biodegradabilidad de la materia orgánica (Torres, et al., 2017).

La calidad y cantidad de los lixiviados dependen de la interacción de un gran número de factores como: tipo y solubilidad de los residuos dispuestos (composición de las basuras, cantidad y calidad del reciclaje), diseño y operación del sitio de disposición (tiempo y forma de disposición, grado de compactación del residuo, altura de enterramiento, geomorfología de la cobertura), procesos de conversión microbiológica y química, interacción del lixiviado con el ambiente, naturaleza del suelo (topografía, almacenamiento del agua por el suelo, litología y concentración de materia orgánica y organismos vivos) y condiciones climáticas (régimen hidrológico, temperatura, evaporación y escurrimiento superficial), además la calidad de los lixiviados en un relleno sanitario varía significativamente en el tiempo, al igual que con el tipo de relleno sanitario que se tenga (Torres, et al., 2017).

“Las particularidades del lixiviado en rellenos sanitarios se representan comúnmente por los parámetros básicos de DQO , DBO_5 , la relación DBO_5/DQO , pH, sólidos suspendidos (SS), amoníaco ($N-NH_3$), nitrógeno total Kjeldahl (NTK) y metales pesados” (Torres, et al., 2017).

En la siguiente tabla mostramos la categorización frecuente del lixiviado por edad de los rellenos sanitarios (Torres, et al., 2017).

Tabla 1.

Clasificación general del lixiviado por edad.

	Nuevo	Intermedio	Viejo
Edad (años)	<5	5 – 10	>10
pH	6.5	6.5 – 7.5	>7.5
DQO (mg L ⁻¹)	>10000	4000 – 10000	<4000
DBO ₅ /DQO	>0.3	0.1 – 0.3	<0.1
Compuestos Orgánicos	80% (AGV)	5 – 30% AGV + ácidos húmicos y fulvicos	Ácidos húmicos y fulvicos
Metales pesados	Bajo – Medio		Bajo
Biodegradabilidad	Importante	Medio	Bajo

Producción de lixiviados

“Intervienen reacciones fisicoquímicas (solubilización, precipitación, óxido – reducción, intercambio iónico de gases de algunos materiales contaminantes) y según las condiciones del medio pueden ser aerobias o anaerobias las reacciones de degradación biológica de materiales suspendidos y disueltos” (Corena, 2008).

En la degradación aerobia, se aprovecha la presencia del oxígeno que se encuentra en los espacios vacíos (intersticios) en las capas superiores de las pilas que están en mayor contacto con el aire; no obstante, cuando la altura de las capas de desechos se incrementa, la transformación por vía anaerobia prevalece (Corena, 2008).

Factores que afectan la producción y calidad de Lixiviados

“Producto de la supuración del agua que hace parte de la humedad con que vienen los RS desde su fuente, y en combinación con la humedad generada por la infiltración del agua de lluvia, hacia el interior del relleno sanitario.”

Durante la etapa de degradación, se genera un líquido conocido como lixiviado, el cual se identifica habitualmente por contener una alta concentración de materia orgánica, así como otros contaminantes los cuales pueden ser tóxicos, por lo cual presentan un gran potencial para causar efectos adversos al ambiente, especialmente a los cuerpos de agua (Corena, 2008).

Para un relleno sanitario los factores que inciden en la producción de lixiviados comprende los siguientes:

- Factores climáticos.
- Composición fisicoquímica de los residuos dispuestos.
- Materiales y espesores utilizados como sistema de impermeabilización externo (impermeabilización de fondo y superficial).
- Tipo de material de cobertura intermedia o final.
- Pendientes de drenaje de la superficie del relleno.
- Tipo de cobertura vegetal del relleno.
- La tasa de filtración del agua lluvia y la edad del relleno (Corena, 2008).

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)

El método se simboliza DBO₅ y es más usado; Se define como la cantidad de oxígeno usada por la materia orgánica en la estabilización del agua residual o servida en un período de 5 días a 20°C (Nazareno, Sánchez & Herrera, 2008).

El concepto de DBO₅ es muy usado y, consecuentemente, se requiere una especial comprensión del mismo. Por ejemplo:

- Oxígeno disuelto al inicio (100mg/100mL) (Nazareno, et al., 2008).
- Oxígeno disuelto al término (60mg/100mL) (Nazareno, et al., 2008).

Indica que la DBO₅ del agua en estudio es de 40mg/100mL, mientras mayor sea la DBO₅ mayor será la cantidad de materia orgánica disuelta en el agua servida. Generalmente las aguas potables no superan los 5mg/100mL; pero las aguas servidas pueden tener 300mg/100mL (Nazareno, et al., 2008).

“Es variación de la OD determinada al cabo de cinco días en condiciones estándar, y que nos proporción a una idea del carbono orgánico biodegradable existente en la muestra” (Aznar, 2000).

Este parámetro es aplicable en aguas continentales, aguas residuales, aguas pluviales o de cualquier procedencia que pueda contener una cantidad significativa de materia orgánica. No es aplicable para agua potable, ya que al

tener en su composición un índice muy bajo de materia oxidable, la precisión de este parámetro no sería adecuada (Lizana, 2018).

Demanda Química de Oxígeno

“La DQO se utiliza para calcular el contenido de MO en aguas naturales y residuales” (Nazareno, et al., 2008).

“El ensayo de la DQO además se usa para el cálculo de la MO presente en aguas residuales industriales y municipales que contengan compuestos tóxicos para la vida biológica” (Nazareno, et al., 2008).

En muchos tipos de aguas residuales es posible establecer una relación entre los valores de la DBO_5 y la DQO; Ello puede resultar de gran utilidad dado que es posible determinar la DQO en un tiempo de 3 horas, frente a los 5 días necesarios para determinar la DBO_5 (Nazareno, et al., 2008).

“La determinación de la DBO_5 tiene dos grandes inconvenientes, su lentitud (cinco días) y que existen muchas sustancias, no fácilmente biodegradables, que no se evaluarían con dicha determinación” (Nazareno, et al., 2008).

“Es por ello que resulta interesante un método rápido y que determine todo el carbono oxidable de una muestra, como es la DQO o cantidad de oxígeno consumida (mg/L) por los compuestos orgánicos presentes en el efluente” (Nazareno, et al., 2008).

“La DQO es igual a la cantidad de dicromato consumido, expresado como mg/L de oxígeno presente en la disolución ($1\text{g K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 = 0,381\text{g de oxígeno}$)” (Aznar, 2000).

“Siempre el valor de DQO ha de ser mayor que el de DBO_5 , pues no toda la materia oxidable químicamente (condiciones enérgicas) ha de ser biooxidable (condiciones suaves)” (Aznar, 2000).

“Cuando $\text{DBO}_5/\text{DQO} < 0,5$ estamos ante un efluente fácilmente biodegradable, mientras que si este cociente es inferior a 0,2 será escasamente biodegradable” (Aznar, 2000).

pH

El pH en el agua es una medida que determina su acidez o su alcalinidad. Se basa en la capacidad de respuesta del electrodo de vidrio ante soluciones de diferente actividad de iones H^+ (Sancha, 2013).

La fuerza electromotriz producida en el electrodo de vidrio varía linealmente con el pH del medio, se debe tener en cuenta la temperatura de la muestra ya que esta puede afectar al valor del pH (Sancha, 2013).

Un pH menor de 7,0 indica una tendencia hacia la acidez, mientras que un valor mayor de 7,0 muestra tendencia hacia lo alcalino, en el caso de aguas superficiales presentan un valor de pH en un intervalo de 6 – 8,5, las aguas subterráneas presentan menores valores de pH que las superficiales (Sancha, 2013).

En los lagos y embalses, el pH experimenta una evolución espacial y temporal ligada a la dinámica térmica del lago, de forma que disminuye con la profundidad del agua (Sancha, 2013).

Para aguas residuales el valor de pH es menor que el valor del agua potable; los vertidos industriales tienen efecto en el pH del agua, produciendo una subida o una bajada del pH dependiendo del tipo de vertido.

(Sancha, 2013).

Acidez (pH): Es una medida de la concentración de iones hidronio (H_3O^+) en la disolución (Aznar, 2000).

Se determina mediante electrometría de electrodo selectivo (pHmetro) conservando la muestra en frasco de polietileno o vidrio de borosilicato en nevera menos de 24h, obteniendo la concentración en valores de pH comprendidos entre 1 y 14 (Aznar, 2000).

Alcalinidad: Es la capacidad de reaccionar con los iones hidrógeno del agua, estando provocada mayoritariamente por los iones carbonato (CO_3^{2-}) y bicarbonato (HCO_3^-), aunque está también influida por el contenido en otros como boratos, fosfatos, silicatos y oxidrilos (Aznar, 2000).

Se determina por valoración con ácido, determinando los puntos de equivalencia mediante electrodo selectivo de pH o indicadores adecuados, obteniéndose de los puntos de inflexión o puntos de equivalencia los valores de alcalinidad compuesta (carbonatos pH 8,3) y la alcalinidad total (bicarbonatos + carbonatos pH 4,5). Las condiciones de almacenamiento de muestras son similares a las de la determinación de acidez (Aznar, 2000).

Tratamientos de Lixiviados

Los Tratamientos convencionales de lixiviados de vertederos pueden ser clasificados en tres grandes grupos:

- La transferencia de lixiviados: reciclaje y tratamiento combinado con las aguas residuales domésticas.

- La biodegradación o biológicos: procesos aeróbicos y anaeróbicos
- Métodos fisicoquímicos: la oxidación química, adsorción, precipitación química, coagulación-floculación/sedimentación/flotación y aire (Renou et al., 2008).

2.3. Marco Conceptual

Fracción Orgánica

Fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos (FORSU), es la parte de los RSU constituida por residuos de origen orgánico, como restos de alimentos y cocina, estiércol, poda de árboles, barrido de calles, ramas, paja y plantas. (Hernández, 2018).

Estos elementos, todos putrescibles, constituyen la parte más peligrosa de los RSU ya que originan malos olores como resultado de la fermentación y son un campo de atracción para los vectores (Hernández, 2018).

Lixiviados

“Se define como el efluente acuoso producto de procesos bioquímicos en las células de los residuos y el contenido de agua inherente de los mismos desechos; son generados a consecuencia de percolación a través de los residuos” (Valles, 2013).

La composición del lixiviado depende de las peculiaridades de los desechos confinados en este sitio, tipo, tiempo y por ende de la etapa en la cual están los procesos que ocurren dentro del relleno sanitario (Valles, 2013).

Las actividades antropogénicas producto de la transformación de materia prima en bienes y servicios, arrastra consigo la obtención de afectaciones negativas al ambiente, propiciando la degradación de ecosistemas mediante la contaminación de aire, agua y suelo (Valles, 2013).

La producción de RS en particular, ha estado siempre ligada a estas actividades antropogénicas, sin embargo, en un mundo consumista como el actual, el volumen generado es inmenso y el término “basuras” para muchos es sinónimo de problema (Valles, 2013).

DBO₅: El método más usado y se define como la cantidad de oxígeno usada por la materia orgánica en la estabilización del agua residual o servida en un período de 5 días a 20°C (Nazareno, et al., 2008).

DQO: La Demanda Química de Oxígeno se emplea para medir el contenido de materia orgánica tanto de las aguas naturales como de las residuales, también para la en aguas residuales industriales y municipales que contengan compuestos tóxicos para la vida biológica (Nazareno, et al., 2008).

D.S. N°012 – MINAM – 2009

Que, el artículo 3° de la Ley N°28611, Ley General del Ambiente, referido al rol del Estado en materia ambiental, dispone que éste, a través de sus entidades y órganos correspondientes, diseñe y aplique, entre otras, las normas que sean necesarias para garantizar el efectivo ejercicio de los derechos y el cumplimiento de las obligaciones y responsabilidades contenidas en dicha ley.

Decreta: Establecer los Límites Máximos Permisibles (LMP) para efluentes de infraestructuras de residuos sólidos con el objetivo de mitigar los efectos negativos en el ambiente, particularmente la contaminación de los cuerpos de agua, así como los riesgos a la salud de la población. El presente Decreto Supremo es aplicable para todas las infraestructuras de residuos sólidos que se desarrollen en el territorio nacional.

Tabla 2. *Límites Máximos Permisibles (LMP) para la descarga de efluentes líquidos de tratamiento de residuos sólidos y lixiviados de rellenos sanitarios y de seguridad*

Parámetros	Unidad	LMP	Método de ensayo
Generales			
pH		6,5 – 8,5	APHA 4500-H ₊ -B Pág.4-90 a 4-94 21ava edición
Orgánicos			
DQO	mg/L	120	EPA method 410.1 600/4 - 79 - 020 REVISED MARCH
DBO ₅	mg/L	20	APHA – AWWA – WEF 5210 B. 21st edition

Fuente: D.S. N°012 – MINAM – 2009.

2.4. Hipótesis

- **Ha:** Si los valores de la DBO₅ y DQO no supera a los establecidos en el D.S. N°012 – MINAM – 2009, entonces el tratamiento de la fracción orgánica de los lixiviados en la infraestructura de tratamiento y disposición final de residuos sólidos de Cajamarca es eficiente.

Tabla 3.
Operacionalización de variables

Variable	Definición Conceptual	Definición Operacional	Indicadores	Fuente o instrumentos de recolección de datos
VI: Valores de la DBO ₅ y DQO – D.S. N°012 – MINAM – 2009	Determinan e indican presencia y biodegradabilidad de material orgánico presente. Decreta: Establecer los LMP para efluentes de infraestructuras de residuos sólidos con el objetivo de mitigar los efectos negativos en el ambiente.	Son parámetros de mayor importancia en el estudio y caracterización de las aguas no potables. Y su normativa vigente	Valores de DBO ₅ DQO	Valores en mg/L
VD: Eficiencia del Tto. de la fracción orgánica	Tratamiento adecuado para residuos procedentes de hogares residuos similares de otros establecimientos que los municipios recogen junto con la basura doméstica.	Identificación del tratamiento más adecuado para la fracción orgánica.	Concentraciones de DBO ₅ DQO	Hojas de ensayo de Laboratorio

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO III: MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

3. Metodología

Se realizaron muestreos de lixiviado en la Infraestructura de Tratamiento y Disposición Final de Cajamarca, ubicada en el sector Palturo, caserío San José de Canay, distrito de Jesús. Se recogieron las muestras en cada una de las tres pozas de lixiviados, en siete oportunidades, durante la última semana de enero y todo el mes de febrero del 2019 (iniciando con la primera muestra el 28 de enero y las siguientes muestras el 3, 8, 13, 18, 23 y 28 de febrero. Después de cada muestreo se caracterizó el lixiviado y se estudió la variación en la composición de los lixiviados.

La ciudad de Cajamarca está ubicada en el valle interandino del mismo nombre, la cual presenta un régimen pluviométrico variable durante todo el año, tiene una distribución bimodal con máximas precipitaciones entre los meses de febrero y abril y; septiembre y noviembre, y mínimas precipitaciones entre junio y agosto.

Se consideró realizar el muestreo a los lixiviados durante la última semana de enero y todo el mes de febrero del 2019 (iniciando con la primera muestra el 28 de enero y las siguientes muestras el 3, 8, 13, 18, 23 y 28 de febrero, siendo así en época de lluvia. Las instalaciones para el almacenamiento de lixiviados en la Infraestructura de Tratamiento y Disposición Final de Cajamarca, no son cubiertos en esta época (de lluvia), por lo tanto no se excluye el agua de lluvia, esto causa que el volumen

de los lixiviados se incrementa en las pozas, por ende más práctico poder extraer las muestras respectivas.

Así mismo se consideró nuestra seguridad al realizar el proceso de muestreo, ya que si el nivel de lixiviados en las pozas fuera en menor cantidad, nos expone a caídas dentro estas.

3.1. Tipo de investigación

Esta investigación es del tipo Descriptiva, ya que se recolectaron datos necesarios del problema a investigar, como son la DBO₅, la DQO y el pH, los cuales fueron sometidos a análisis, buscando medir con la mayor precisión posible.

3.2. Diseño de investigación

Esta investigación es de diseño Pre experimental. Con este tipo de diseño se analiza una variable, en donde no existe ningún tipo de control o su grado de control es mínimo (Hernández, Fernández & Baptista, 2010).

Es útil como principal acercamiento al problema de un trabajo de investigación en la realidad. En algunas ocasiones los diseños pre experimentales nos sirven de estudios exploratorios, además sus resultados se deben observarse con precaución (Hernández, et al., 2010).

3.3. Área de investigación

La Infraestructura de Tratamiento y Disposición Final de Cajamarca, está ubicada en el sector ubicada en la periferia de las Comunidades de San José de Canay, El Palturo y Cochambul, del distrito de Jesús, a la altura del Km 19, donde a través de un desvío se ingresa a dicha instalación. Sus coordenadas globales UTM en el sistema WGS 84 del cuadrante 17M, son las siguientes:

- Coordenada Este: 788156 m.
- Coordenada Sur: 9201543 m.
- Elevación: 2,812 m.s.n.m.

Esta infraestructura atiende a 5 distritos de sus alrededores como son: Jesús, Llacanora, Baños del Inca, Namora y Cajamarca.

3.4. Unidad de Análisis

Hojas de ensayo del Laboratorio SGS Cajamarca.

3.5. Universo

Lixiviados de la Infraestructura de Tratamiento y Disposición Final de Cajamarca.

3.6. Muestra

Volúmenes de lixiviados para cada uno de los parámetros por punto de muestreo.

3.7. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Se monitoreó 3 puntos en la infraestructura de tratamiento y disposición final de residuos sólidos de Cajamarca.

- Poza 01
- Poza 02
- Poza 03

Se analizó en 2 meses diferentes:

- 28 de enero
- 03, 08, 13, 18, 23 y 28 de febrero

3.7.1. Instrumentos

- Fichas de ensayo de laboratorio
- Libretas de campo
- Material de escritorio
- Papel bond
- Memoria USB

Equipos

- EPP
- Cámara Fotográfica
- Laptop

Materiales

- Frascos esterilizados
- Goteros
- Traje de agua
- Mascarillas descartables
- Lentes de seguridad
- Guantes descartables

3.8. Técnicas para el procesamiento y análisis de datos

3.8.1. Procesamiento de datos

Los datos obtenidos de la fase de análisis de laboratorio a las muestras tomadas en campo fueron sistematizados mediante el programa de Microsoft Excel, en el cual se calcularon los parámetros (DBO₅, DQO y pH), obteniendo la comparación mediante gráficos con la normativa vigente (D.S. N°012 – MINAM – 2009).

Adicional a lo anterior se realizó la comparación porcentual de cada parámetro, para cada poza de la infraestructura de tratamiento y

disposición final de residuos sólidos de Cajamarca, con sus respectivas fechas de muestreo.

3.8.2. Técnicas de análisis de datos

En el presente trabajo de investigación se realizó el monitoreo ambiental de los lixiviados de la Infraestructura de Tratamiento y Disposición Final de Cajamarca.

Las muestras se tomaron en la Infraestructura de Tratamiento y Disposición Final de Cajamarca, los análisis se realizaron en el Laboratorio SGS Cajamarca.

Se utilizó una codificación sencilla para cada muestra indicando parámetro, código del punto de muestreo, fecha y hora de la toma de muestra y el tipo de preservante usado, todas las mediciones y observaciones se registrarán en cuaderno de campo.

- Se realizó el Análisis de los resultados obtenidos y la respectiva comparación con la normativa vigente (D.S. N°012 – MINAM – 2009).

CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4. Presentación, análisis e interpretación de resultados

Los parámetros a analizar son: La DBO₅ y la DQO por separado, así como el pH y se estudió su comportamiento según el punto de muestreo.

Los resultados fueron contrastados con la normativa vigente que aplica para el análisis de la descarga de efluentes líquidos de tratamiento de residuos sólidos y lixiviados de rellenos sanitarios (D.S. N°012 – MINAM – 2009).

Luego se analizó los niveles de concentración de un mismo punto de muestreo para cada uno de los parámetros investigados. Los resultados de los análisis de laboratorio, a los lixiviados de la infraestructura de tratamiento y disposición final de residuos sólidos de Cajamarca, 2019, fueron digitados y almacenados en Microsoft Excel, permitiendo realizar tablas y gráficos, que a continuación se describe su interpretación y análisis respectivo.

Tabla 4.

Resultados POZA 1: Parámetros fisicoquímicos DBO₅, DQO y pH

FECHA	DBO₅	pH	DQO
28-Ene	687	8.27	1387
3-Feb	761	8.46	1427
8-Feb	654	8.37	1298
13-Feb	724	8.44	1457
18-Feb	712	8.57	1366
23-Feb	821	8.72	1427
28-Feb	738	9.08	1357

En la Tabla 4, se muestran los resultados de análisis de laboratorio a los lixiviados de la infraestructura de tratamiento y disposición final de residuos sólidos de Cajamarca, por parámetro (DBO₅, pH y DQO), así como por fechas de muestreo (28 de enero, 03, 08, 13, 23 y 28 de febrero) en la POZA 1.

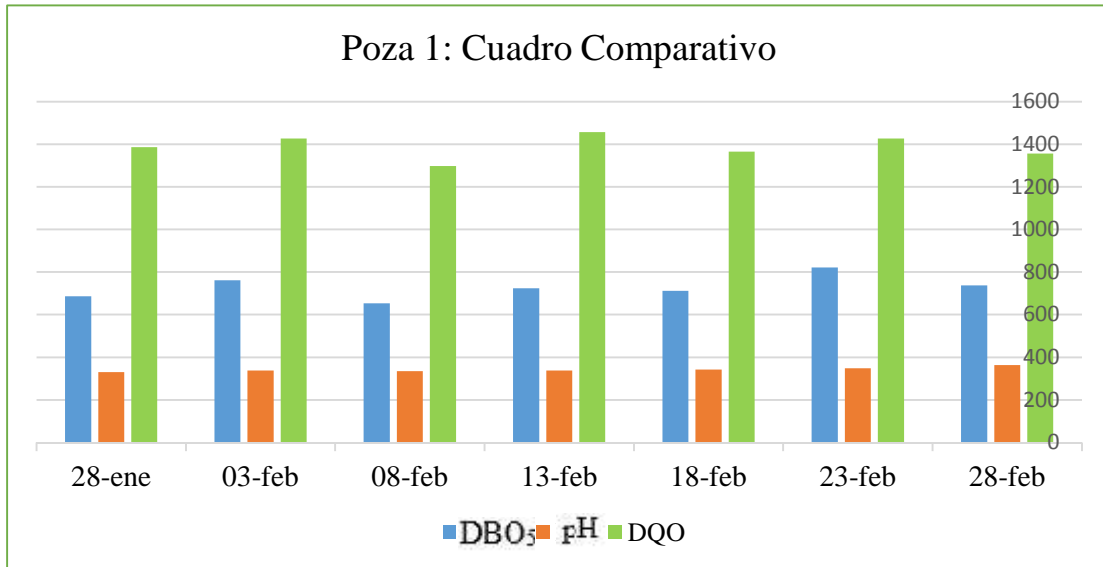


Figura 2. POZA 1: Resultados en gráfico de barras de los parámetros DBO₅, pH y DQO.

En la figura 2, se muestran los resultados de los parámetros analizados a los lixiviados de la infraestructura de tratamiento y disposición final de residuos sólidos de Cajamarca, en un cuadro comparativo para la POZA 1.

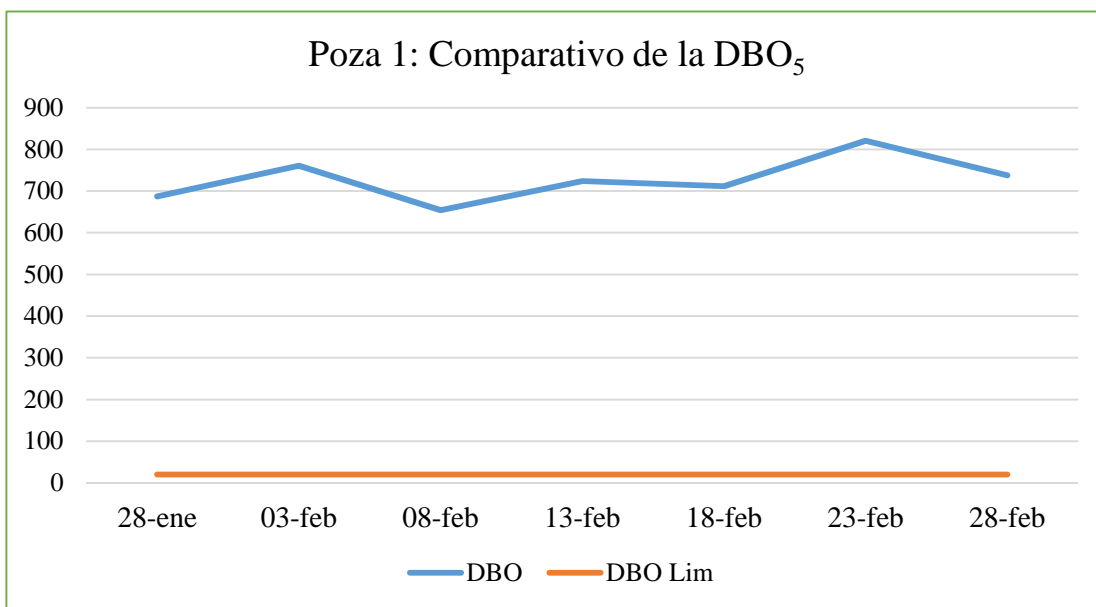


Figura 3. POZA 1: Resultados: Comparación del parámetro fisicoquímico DBO₅, con el D. S. N°012 – MINAM – 2009.

En la figura 3, los resultados de la DBO₅ para los lixiviados de la infraestructura de tratamiento y disposición final de residuos sólidos de Cajamarca, se grafica en comparativo con la normativa actual D.S. N°012 – MINAM – 2009. En la figura se puede notar que los resultados obtenidos superan los estándares de calidad, normados en dicho decreto; Esto para la POZA 1.

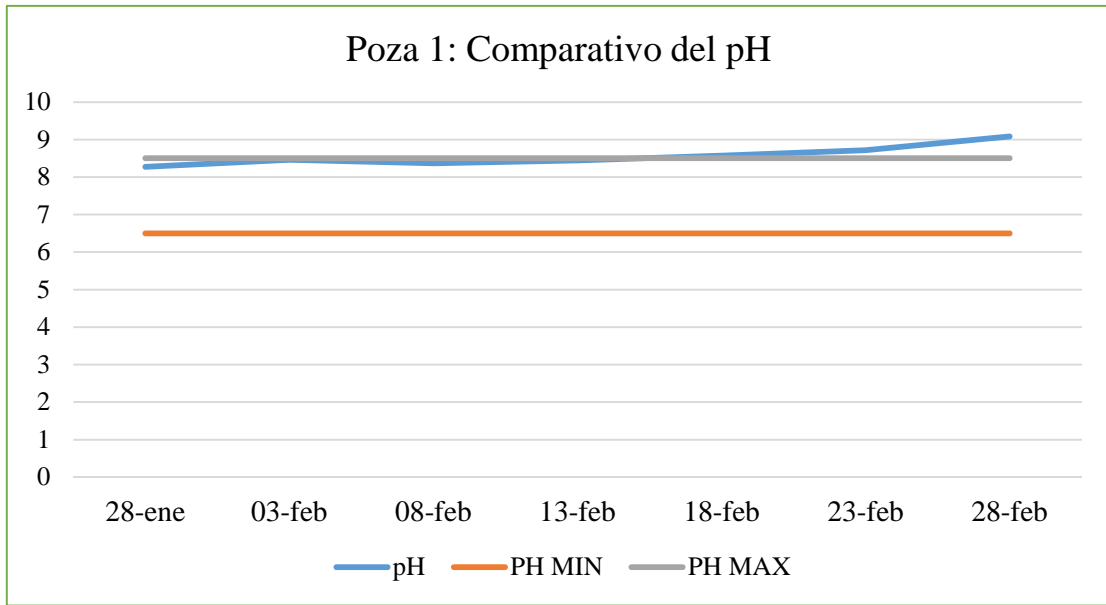


Figura 4. POZA 1: Resultados: Comparación del parámetro fisicoquímico pH con el D. S. N°012 – MINAM – 2009.

En la figura 4, los resultados del pH para los lixiviados de la infraestructura de tratamiento y disposición final de residuos sólidos de Cajamarca, se grafica en comparativo con la normativa actual D.S. N°012 – MINAM – 2009. En esta figura se aprecia que en las primeras 4 fechas de muestreo (28 de enero, 03, 08, 13 de febrero) sus datos obtenidos se encuentra entre el parámetro de 6,5 y 8,5, las demás fechas (18, 23 y 28 de febrero) se puede notar que sus resultados no se encuentran entre el parámetro propuesto por el decreto mencionado, sino que lo superan; Esto para la POZA 1.

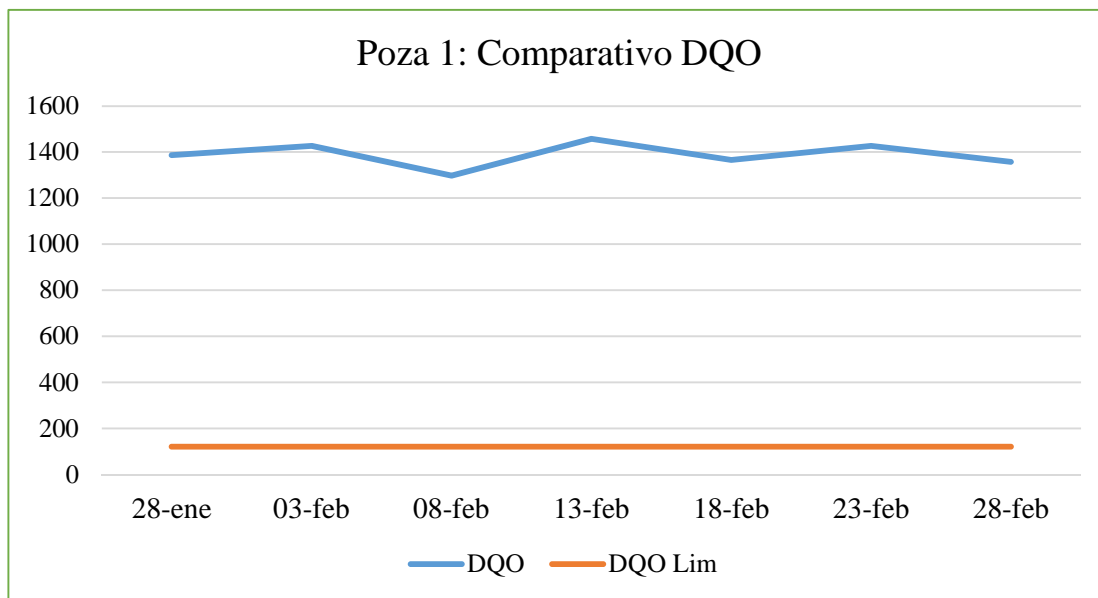


Figura 5. POZA 1: Resultados: Comparación del parámetro fisicoquímico DQO con el D. S. N°012 – MINAM – 2009.

En la figura 5, los resultados de la DQO para los lixiviados de la infraestructura de tratamiento y disposición final de residuos sólidos de Cajamarca, se grafica en comparativo con la normativa actual D.S. N°012 – MINAM – 2009. En la figura se puede notar que los resultados obtenidos superan los estándares de calidad, normados en dicho decreto; Esto para la POZA 1.

Tabla 5.

Resultados POZA 2: Parámetros fisicoquímicos DBO₅, DQO y pH

FECHA	DBO ₅	pH	DQO
28-Ene	641	9.25	1169
3-Feb	618	8.91	1248
8-Feb	668	8.69	1108
13-Feb	673	9.37	1335
18-Feb	658	9.44	1281
23-Feb	746	9.12	1239
28-Feb	746	8.67	1222

En la Tabla 5, se muestran los resultados de análisis de laboratorio a los lixiviados de la infraestructura de tratamiento y disposición final de residuos sólidos de Cajamarca, por parámetro (DBO₅, pH y DQO), así como por fechas de muestreo (28 de enero, 03, 08, 13, 23 y 28 de febrero) en la POZA 1.

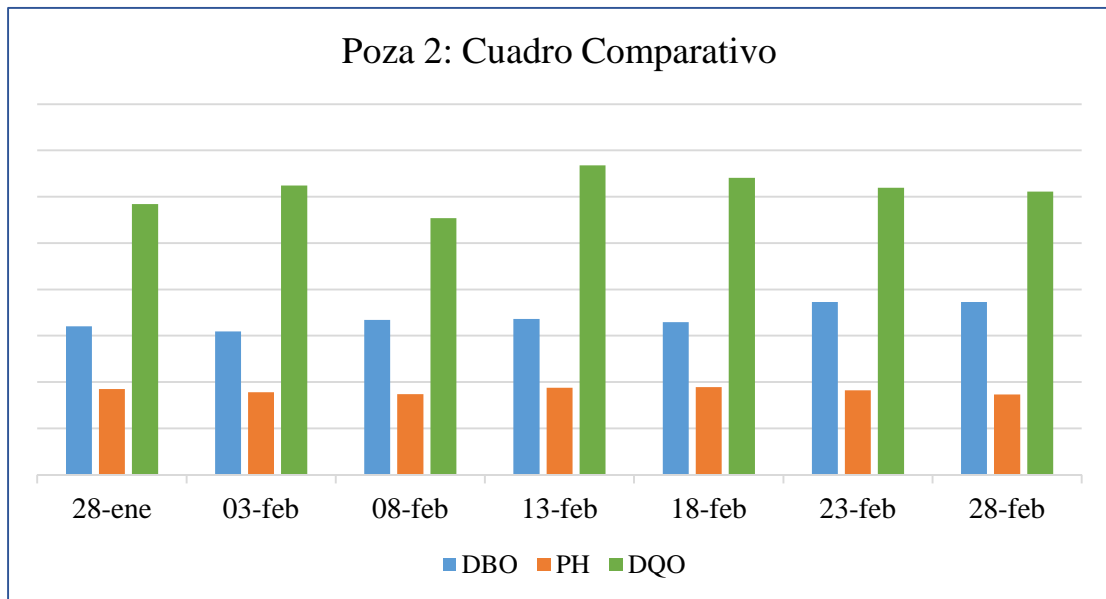


Figura 6. POZA 2: Resultados en gráfico de barras de los parámetros DBO₅, pH y DQO.

En la figura 6, se muestran los resultados de los parámetros analizados a los lixiviados de la infraestructura de tratamiento y disposición final de residuos sólidos de Cajamarca, en un gráfico de barras comparativo para la POZA 2.

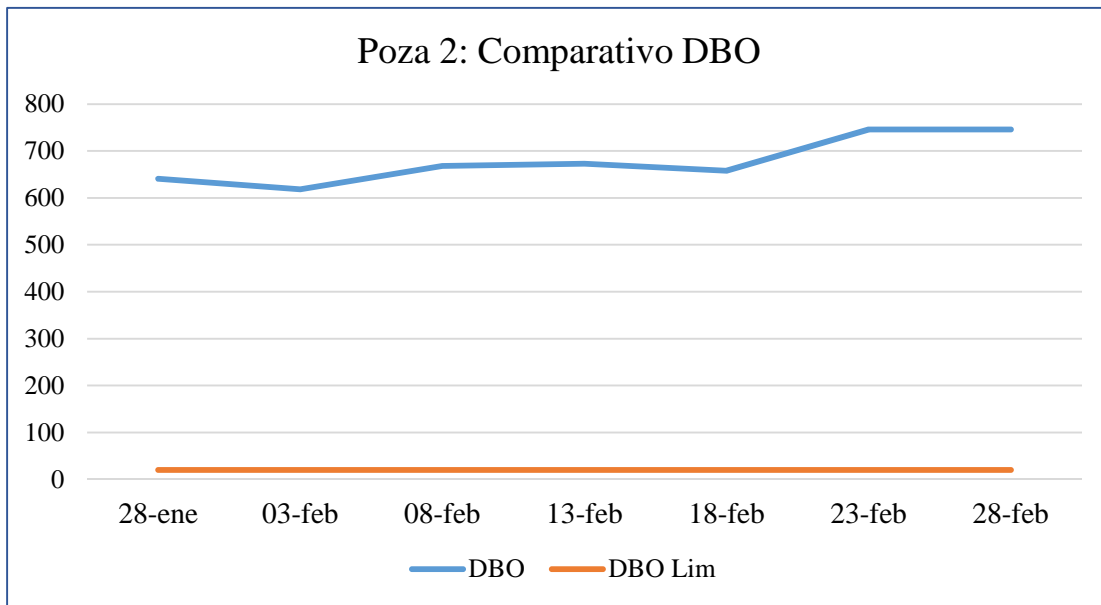


Figura 7. POZA 2: Resultados: Comparación del parámetro fisicoquímico DBO₅, con el D.S. N°012 – MINAM – 2009.

En la figura 7, los resultados de la DBO₅ para los lixiviados de la infraestructura de tratamiento y disposición final de residuos sólidos de Cajamarca, se grafica en comparativo con la normativa actual D.S. N°012 – MINAM – 2009. En la figura se puede notar que los resultados obtenidos superan los estándares de calidad, normados en dicho decreto; Esto para la POZA 2.

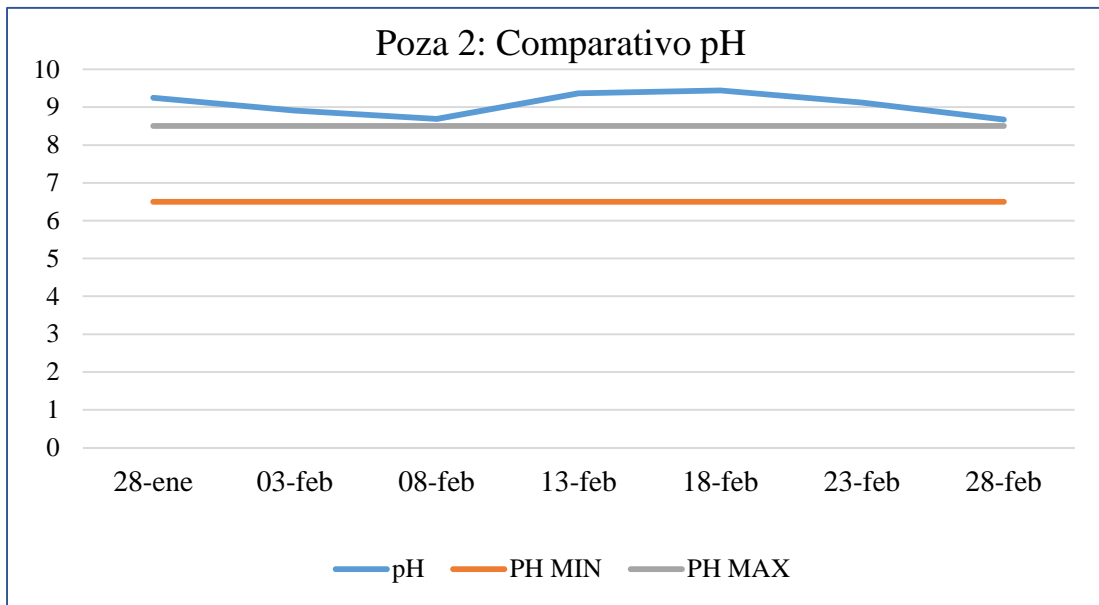


Figura 8. POZA 2: Resultados: Comparación del parámetro fisicoquímico pH con el D.S. N°012 – MINAM – 2009.

En la figura 8, los resultados del pH para los lixiviados de la infraestructura de tratamiento y disposición final de residuos sólidos de Cajamarca, se grafica en comparativo con la normativa actual D.S. N°012 – MINAM – 2009. En la figura se puede notar que los resultados obtenidos del laboratorio, no se encuentran entre el parámetros propuestos por el decreto mencionado; Esto para la POZA 2.

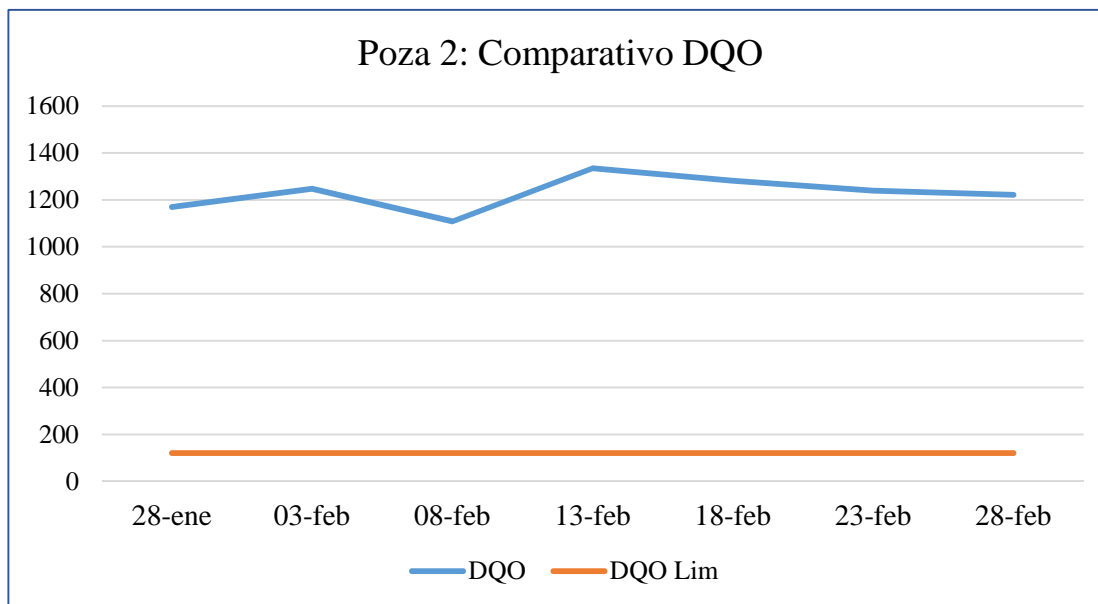


Figura 9. POZA 2: Resultados: Comparación del parámetro fisicoquímico DQO con el D.S. N°012 – MINAM – 2009.

En la figura 9, los resultados de la DQO para los lixiviados de la infraestructura de tratamiento y disposición final de residuos sólidos de Cajamarca, se grafica en comparativo con la normativa actual D.S. N°012 – MINAM – 2009. En la figura se puede notar que los resultados obtenidos superan los estándares de calidad, normados en dicho decreto; Esto para la POZA 2.

Tabla 6.

Resultados POZA 3: Parámetros fisicoquímicos DBO₅, DQO y pH

FECHA	DBO ₅	pH	DQO
28-Ene	644	8.58	1192
3-Feb	622	8.63	1233
8-Feb	629	8.62	1127
13-Feb	745	9.08	1428
18-Feb	639	8.66	1194
23-Feb	711	8.81	1268
28-Feb	711	8.55	1247

En la Tabla 4, se muestran los resultados de análisis de laboratorio a los lixiviados de la infraestructura de tratamiento y disposición final de residuos sólidos de Cajamarca, por parámetro (DBO_5 , pH y DQO), así como por fechas de muestreo (28 de enero, 03, 08, 13, 23 y 28 de febrero) en la POZA 1.

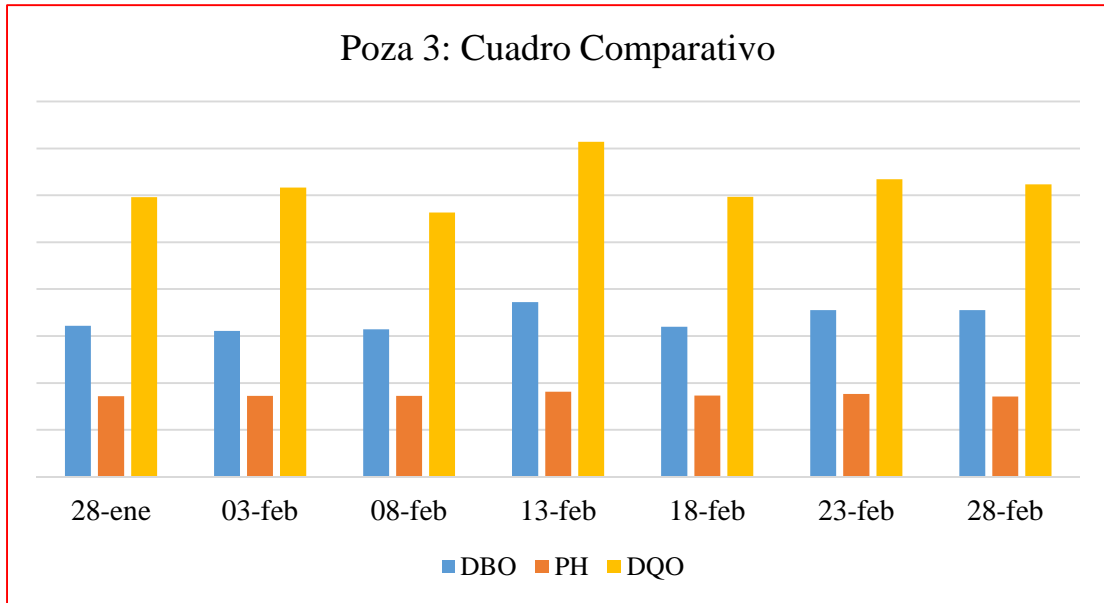


Figura 10. POZA 3: Resultados en gráfico de barras de los parámetros DBO_5 , pH y DQO.

En la figura 10, se muestran los resultados de los parámetros analizados a los lixiviados de la infraestructura de tratamiento y disposición final de residuos sólidos de Cajamarca, en un gráfico de barras comparativo para la POZA 3.

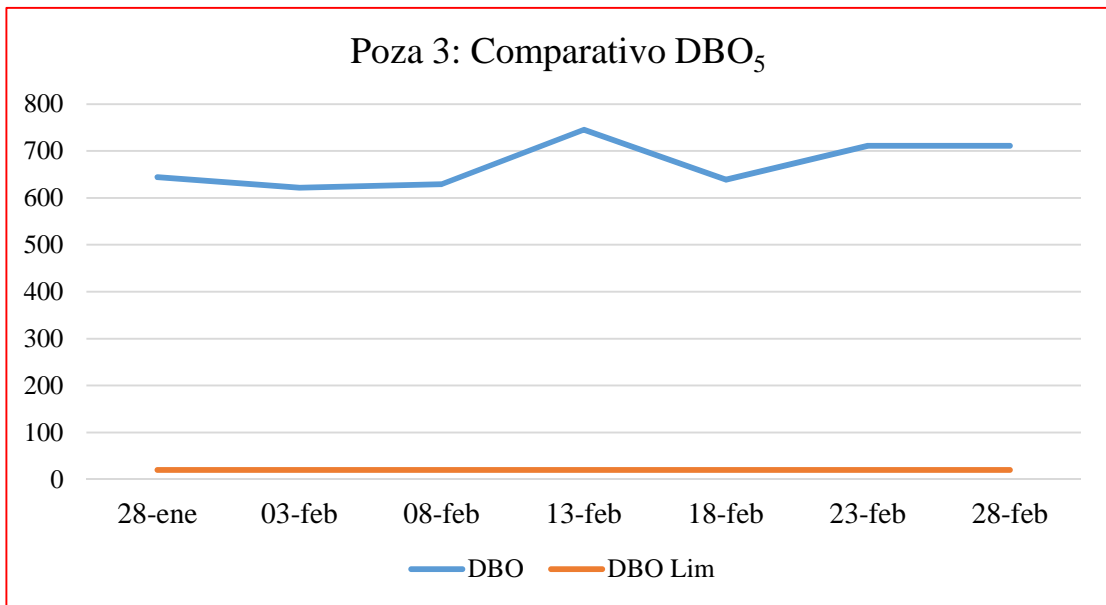


Figura 11. POZA 3: Resultados: Comparación del parámetro fisicoquímico DBO₅ con el D.S. N°012 – MINAM – 2009.

En la figura 11, los resultados de la DBO₅ para los lixiviados de la infraestructura de tratamiento y disposición final de residuos sólidos de Cajamarca, se grafica en comparativo con la normativa actual D.S. N°012 – MINAM – 2009. En la figura se puede notar que los resultados obtenidos superan los estándares de calidad, normados en dicho decreto; Esto para la POZA 3.

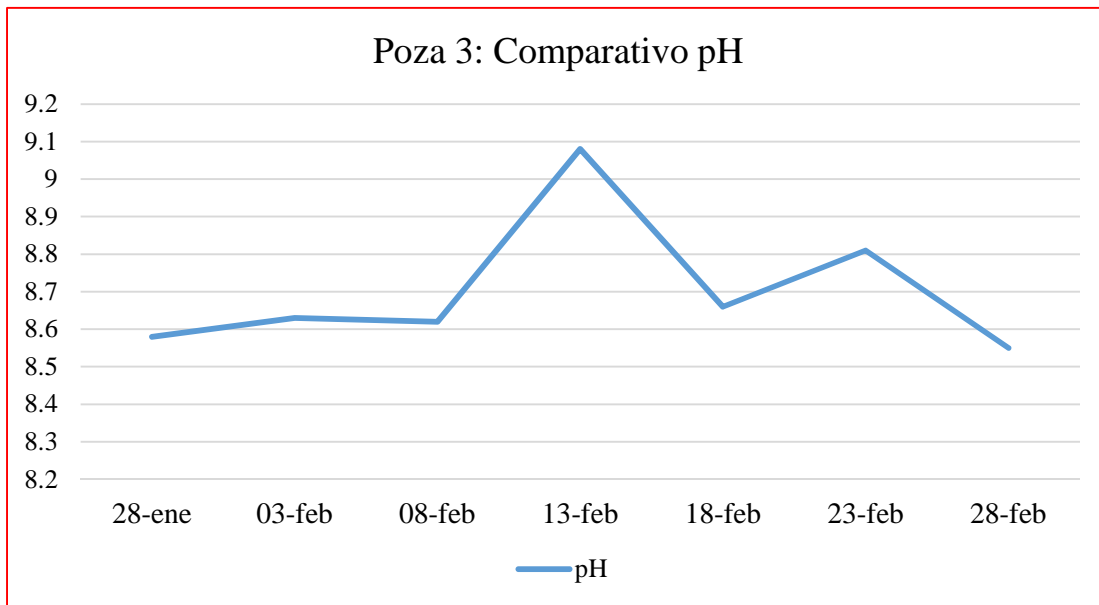


Figura 12. POZA 3: Resultados: Comparación del parámetro fisicoquímico pH con el D.S. N°012 – MINAM – 2009.

En la figura 12, los resultados del pH para los lixiviados de la infraestructura de tratamiento y disposición final de residuos sólidos de Cajamarca, se grafica en comparativo con la normativa actual D.S. N°012 – MINAM – 2009. En la figura se puede notar que los resultados obtenidos del laboratorio, no se encuentran entre el parámetro propuesto que es entre 6.5 y 8.5 normado por el decreto mencionado; Esto para la POZA 3.

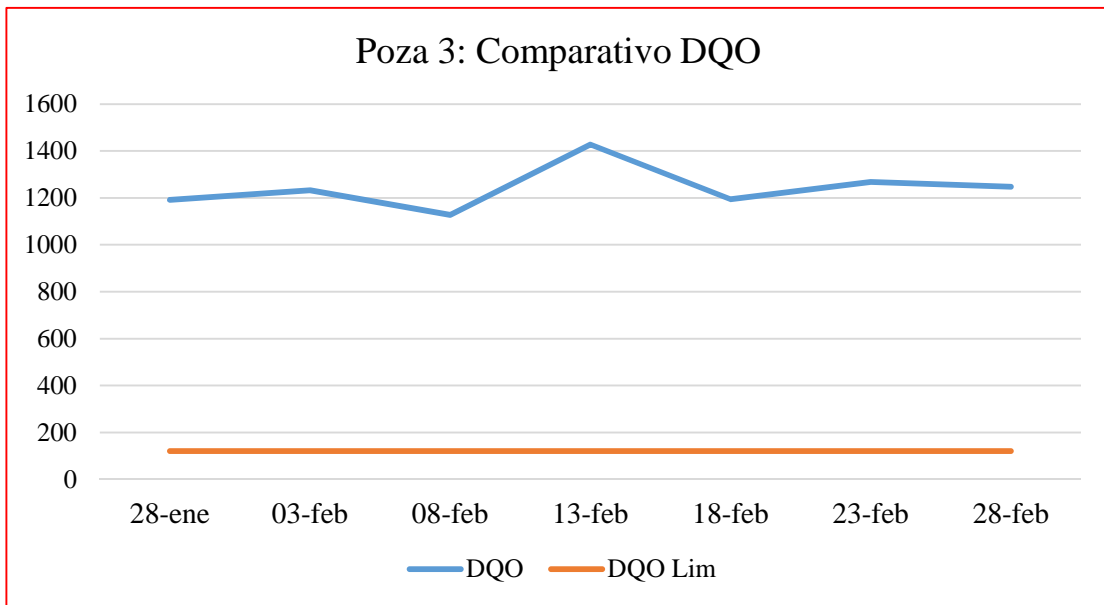


Figura 13. POZA 3: Resultados: Comparación del parámetro fisicoquímico DQO con el D.S. N°012 – MINAM – 2009.

En el figura 13, los resultados de los valores de la DQO para lixiviados de la infraestructura de tratamiento y disposición final de residuos sólidos de Cajamarca, se grafica en comparativo con la normativa actual D.S. N°012 – MINAM – 2009. En la figura se puede notar que los resultados obtenidos superan los estándares de calidad, normados en dicho decreto; Esto para la POZA 3.

Tabla 7.

Análisis Porcentual de los parámetros (DBO₅, pH y DQO).

Fecha	Código de Estación	DBO ₅	pH	DQO	Tasa de Var. DBO	Tasa de Var pH		Tasa de Var DQO
						MIN	MAX	
28/01/2019	POZA 1	687	8.27	1387	3435%	127%	-	1156%
	POZA 2	641	9.25	1169	3205%	142%	9%	974%
	POZA 3	644	8.58	1192	3220%	132%	1%	993%
3/02/2019	POZA 1	761	8.46	1427	3805%	130%	-	1189%
	POZA 2	618	8.91	1248	3090%	137%	5%	1040%
	POZA 3	622	8.63	1233	3110%	133%	2%	1028%
8/02/2019	POZA 1	654	8.37	1298	3270%	129%	-	1082%
	POZA 2	668	8.69	1108	3340%	134%	2%	923%
	POZA 3	629	8.62	1127	3145%	133%	1%	939%
13/02/2019	POZA 1	724	8.44	1457	3620%	130%	-	1214%
	POZA 2	673	9.37	1335	3365%	144%	10%	1113%
	POZA 3	745	9.08	1428	3725%	140%	7%	1190%
18/02/2019	POZA 1	712	8.57	1366	3560%	132%	1%	1138%
	POZA 2	658	9.44	1281	3290%	145%	11%	1068%
	POZA 3	639	8.66	1194	3195%	133%	2%	995%
23/02/2019	POZA 1	821	8.72	1427	4105%	134%	3%	1189%
	POZA 2	746	9.12	1239	3730%	140%	7%	1033%
	POZA 3	711	8.81	1268	3555%	136%	4%	1057%
28/02/2019	POZA 1	738	9.08	1357	3690%	140%	7%	1131%
	POZA 2	746	8.67	1222	3730%	133%	2%	1018%
	POZA 3	711	8.55	1247	3555%	132%	1%	1039%

En la Tabla 7, se muestran los resultados de los análisis de laboratorio a los lixiviados de la infraestructura de tratamiento y disposición final de residuos sólidos de Cajamarca, por parámetro (DBO₅, pH y DQO), así como por fechas de muestreo (28 de enero, 03, 08, 13, 23 y 28 de febrero) en la POZA 1, 2 y 3.

En esta tabla se muestran los Análisis Porcentuales de los parámetros (DBO₅, pH y DQO), donde se pueden apreciar los valores porcentuales para cada resultado. Los resultados del análisis de laboratorio han sido comparados con la normativa vigente que aplica para el análisis de la descarga de efluentes líquidos de tratamiento de residuos sólidos y lixiviados de rellenos sanitarios D.S. N°012 – MINAM – 2009.

En la normativa vigente (D.S. N°012 – MINAM – 2009), el límite máximo permisible para la DBO₅ es 20mg/L; Y en la tabla 7 se puede apreciar que el porcentaje obtenido para este parámetro supera en más de 3000% tanto en la POZA 1, 2 y 3; esto indica que la efectividad del tratamiento de la fracción orgánica de los lixiviados en la infraestructura de tratamiento y disposición final de residuos sólidos de Cajamarca no está siendo eficiente.

En la normativa vigente (D.S. N°012 – MINAM – 2009), los límites máximos permisibles para el pH se encuentran entre 6,5 y 8,5; En la tabla 7 se puede apreciar, los porcentajes obtenidos para este parámetro, los cuales superan de 1% a 11% tanto en la POZA 1, 2 y 3 esto indica que la efectividad del tratamiento de la fracción orgánica de los lixiviados en la infraestructura de tratamiento y disposición final de residuos sólidos de Cajamarca no está siendo eficiente ya que estas cantidades duplican el valor ideal o permisible de la normativa.

En la normativa vigente (D.S. N°012 – MINAM – 2009), el límite máximo permisible para la DQO es 120mg/L; En la tabla anterior se puede apreciar, el porcentaje obtenido para este parámetro, el cual supera en más de 920% tanto en la POZA 1, 2 y 3 esto indica que la efectividad del tratamiento de la fracción orgánica de los lixiviados en la infraestructura de tratamiento y disposición final de residuos sólidos de Cajamarca no está siendo eficiente, respecto a la DQO.

4.1. Análisis de resultados - Minitab:

Evaluar si existe diferencia significativa entre las medias respecto a las estaciones.

- **PARA EL DBO₅: PRUEBA DE ANOVA DE UN FACTOR PARA VERIFICAR SI LAS MEDIAS SON SIMILARES.**

ANOVA de un solo factor: DBO₅ vs. ESTACIÓN		
Método		
Hipótesis nula	Todas las medias son iguales	
Hipótesis alterna	No todas las medias son iguales	
Nivel de significancia	= 0,05	
<i>Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.</i>		
Información del factor		
Factor	Niveles	Valores
ESTACIÓN	3	POZA 1; POZA 2; POZA 3
Análisis de Varianza		

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
ESTACIÓN	2	13316	6658	2,57	0,104
Error	18	46598	2589		
Total	20	59914			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
50,8802	22,22%	13,58%	0,00%

Medias

ESTACIÓN	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
POZA 1	7	728,1	53,6	(687,7; 768,5)
POZA 2	7	678,6	49,6	(638,2; 719,0)
POZA 3	7	671,6	49,3	(631,2; 712,0)

Desv.Est. agrupada = 50,8802

Para las pruebas de varianzas iguales, las hipótesis son:

- H_0 : Si $p = 0$ entonces de las medias de las concentraciones de DBO_5 de las “estaciones” no difieren.
- H_1 : Si $p < 0,05$, entonces las medias de las concentraciones de DBO_5 de las “estaciones” difiere al menos una de ellas.

De acuerdo con la tabla de análisis de varianza podemos verificar que el DBO₅ no difiere según la estación debido a que el valor de p es mayor a 0,05.

Para confirmar esta semejanza de medias hacemos pruebas de comparaciones en parejas mediante las pruebas de Tukey y Fisher.

Comparaciones en parejas de Tukey			
Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%			
ESTACIÓN	N	Media	Agrupación
POZA 1	7	728,1	A
POZA 2	7	678,6	A
POZA 3	7	671,6	A

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Pruebas simultáneas de Tukey para diferencias de las medias					
Diferencia de niveles	Diferencia de las medias	EE de diferencia	IC de 95%	Valor T	Valor p ajustado
POZA 2 - POZA 1	-49,6	27,2	(-119,0; 19,9)	-1,82	0,191
POZA 3 - POZA 1	-56,6	27,2	(-126,0; 12,9)	-2,08	0,122
POZA 3 - POZA 2	-7,0	27,2	(-76,4; 62,4)	-0,26	0,964

Nivel de confianza individual = 98,00%

Comparaciones en parejas de Fisher			
Agrupar información utilizando el método LSD de Fisher y una confianza de 95%			
ESTACIÓN	N	Media	Agrupación

POZA 1	7	728,1	A
POZA 2	7	678,6	A
POZA 3	7	671,6	A

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Pruebas individuales de Fisher para diferencias de las medias

Diferencia de niveles	Diferencia de las medias	EE de diferencia	IC de 95%	Valor T	Valor p ajustado
POZA 2 - POZA 1	-49,6	27,2	(-106,7; 7,6)	-1,82	0,085
POZA 3 - POZA 1	-56,6	27,2	(-113,7; 0,6)	-2,08	0,052
POZA 3 - POZA 2	-7,0	27,2	(-64,1; 50,1)	-0,26	0,800

Nivel de confianza simultánea = 88,22%

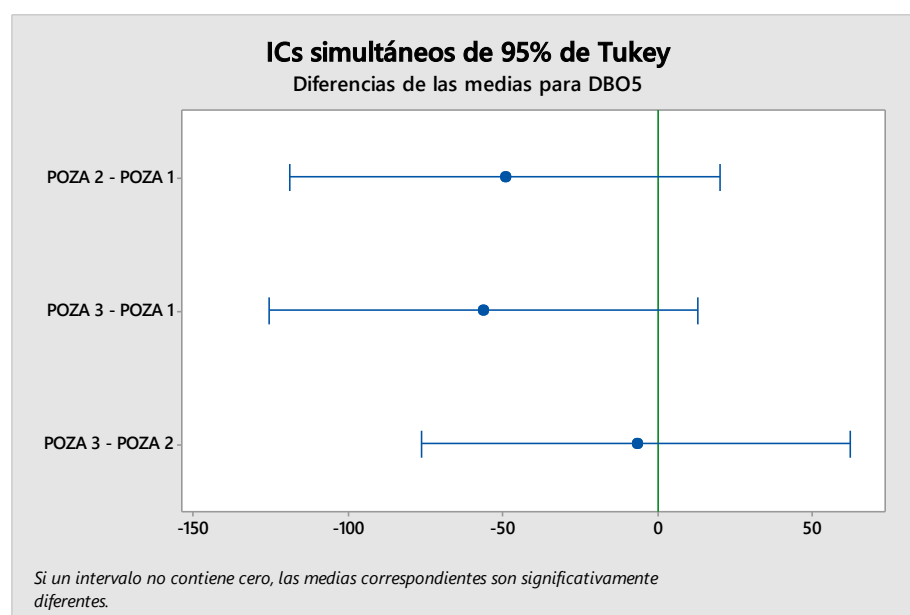


Figura 14. ICs simultáneos de 95% de Tukey – Diferencias de las medias para DBO5.

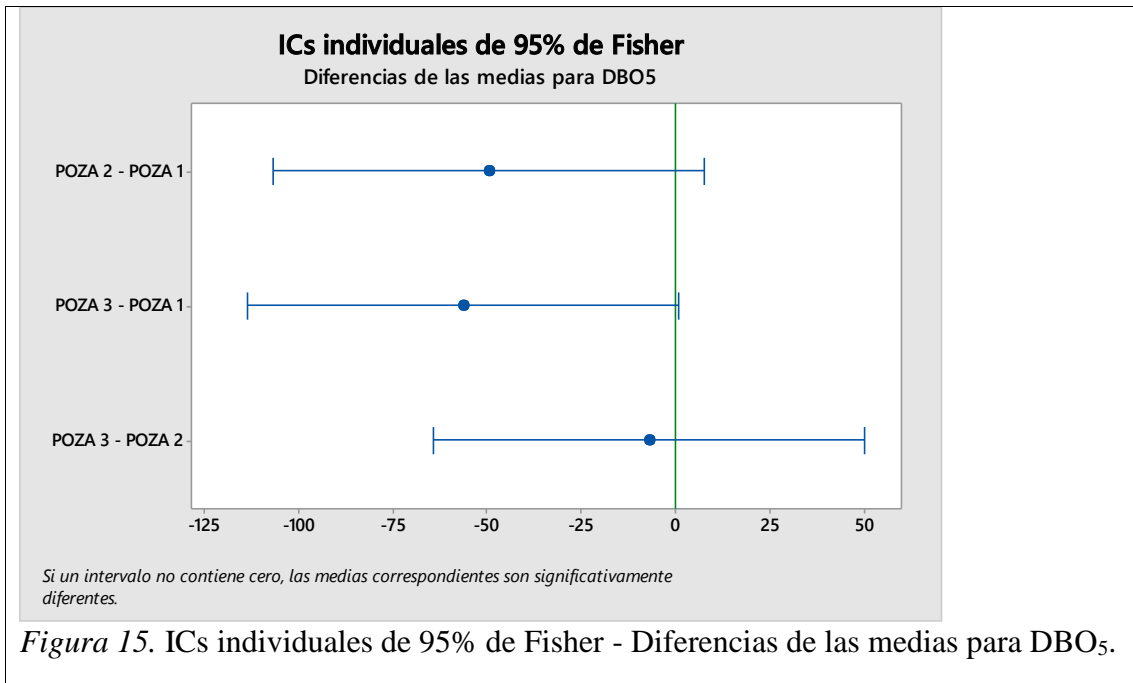


Figura 15. ICs individuales de 95% de Fisher - Diferencias de las medias para DBO₅.

De acuerdo con las pruebas de comparaciones podemos decir que las medias no difieren entre ellas, pertenecen a un solo tipo de agrupación.

- **PARA EL DQO: PRUEBA DE ANOVA DE UN FACTOR PARA VERIFICAR SI LAS MEDIAS DEL DQO SON SIMILARES.**

ANOVA de un solo factor: DQO vs. ESTACIÓN		
Método		
Hipótesis nula	Todas las medias son iguales	
Hipótesis alterna	No todas las medias son iguales	
Nivel de significancia	= 0,05	
<i>Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.</i>		
Información del factor		
Factor	Niveles	Valores
ESTACIÓN	3	POZA 1; POZA 2; POZA 3

Análisis de Varianza					
Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
ESTACIÓN	2	110293	55147	9,60	0,001
Error	18	103442	5747		
Total	20	213735			

Resumen del modelo			
S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
75,8075	51,60%	46,23%	34,13%

Medias				
ESTACIÓN	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
POZA 1	7	1388,4	53,8	(1328,2; 1448,6)
POZA 2	7	1228,9	73,8	(1168,7; 1289,1)
POZA 3	7	1241,3	94,3	(1181,1; 1301,5)

Desv.Est. agrupada = 75,8075

Para las pruebas de varianzas iguales, las hipótesis son:

- H_0 : Si $p = 0$ entonces de las medias de las concentraciones de DQO de las “estaciones” no difieren.
- H_1 : Si $p < 0,05$, entonces las medias de las concentraciones de DQO de las “estaciones” difiere al menos una de ellas.

De acuerdo con la tabla de análisis de varianza podemos verificar que el DQO difiere según la estación, al menos una de ellas, debido a que el valor de p es menor a 0,05.

Para determinar la diferencia entre las medias hacemos uso de las pruebas de comparaciones en parejas mediante los métodos de Tukey y Fisher.

Comparaciones en parejas de Tukey

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

ESTACIÓN	N	Media	Agrupación
POZA 1	7	1388,4	A
POZA 3	7	1241,3	B
POZA 2	7	1228,9	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Pruebas simultáneas de Tukey para diferencias de las medias

Diferencia de niveles	Diferencia de las medias	EE de diferencia	IC de 95%	Valor T	Valor p ajustado
POZA 2 - POZA 1	-159,6	40,5	(-263,0; -56,1)	-3,94	0,003
POZA 3 - POZA 1	-147,1	40,5	(-250,6; -43,7)	-3,63	0,005
POZA 3 - POZA 2	12,4	40,5	(-91,0; 115,9)	0,31	0,950

Nivel de confianza individual = 98,00%

Comparaciones en parejas de Fisher

Agrupar información utilizando el método LSD de Fisher y una confianza de 95%

ESTACIÓN	N	Media	Agrupación
POZA 1	7	1388,4	A
POZA 3	7	1241,3	B
POZA 2	7	1228,9	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Pruebas individuales de Fisher para diferencias de las medias

Diferencia de niveles	Diferencia de las medias	EE de diferencia	IC de 95%	Valor T	Valor p ajustado
POZA 2 - POZA 1	-159,6	40,5	(-244,7; -74,4)	-3,94	0,001
POZA 3 - POZA 1	-147,1	40,5	(-232,3; -62,0)	-3,63	0,002
POZA 3 - POZA 2	12,4	40,5	(-72,7; 97,6)	0,31	0,763

Nivel de confianza simultánea = 88,22%

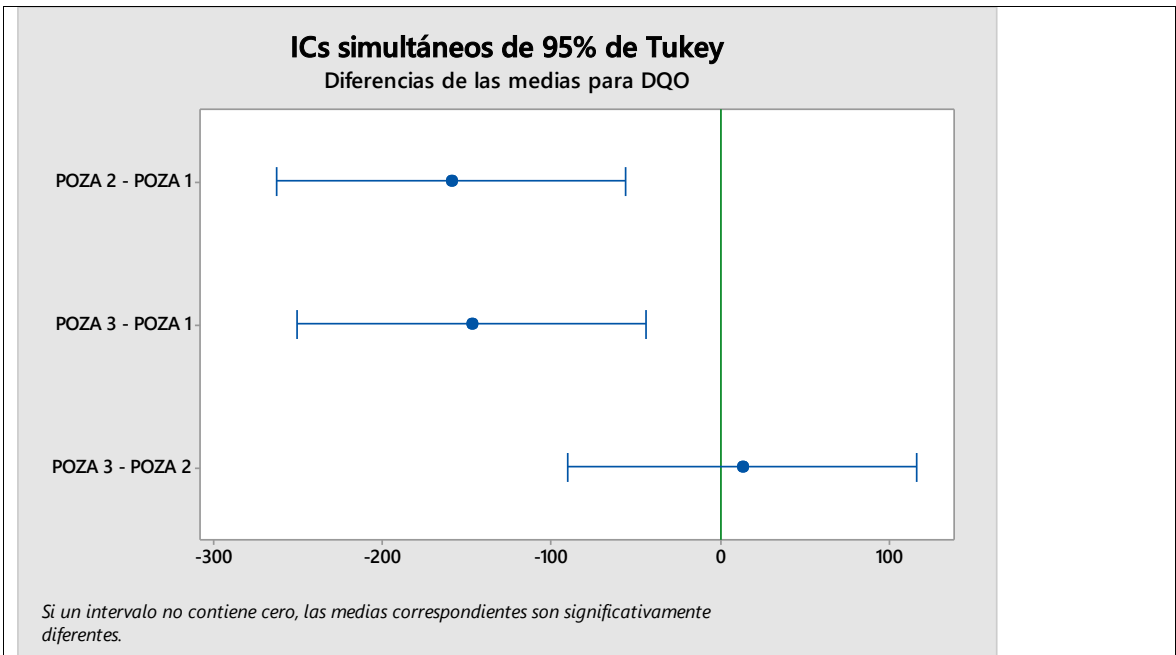


Figura 16. ICs simultáneos de 95% de Tukey - Diferencias de las medias para DQO.

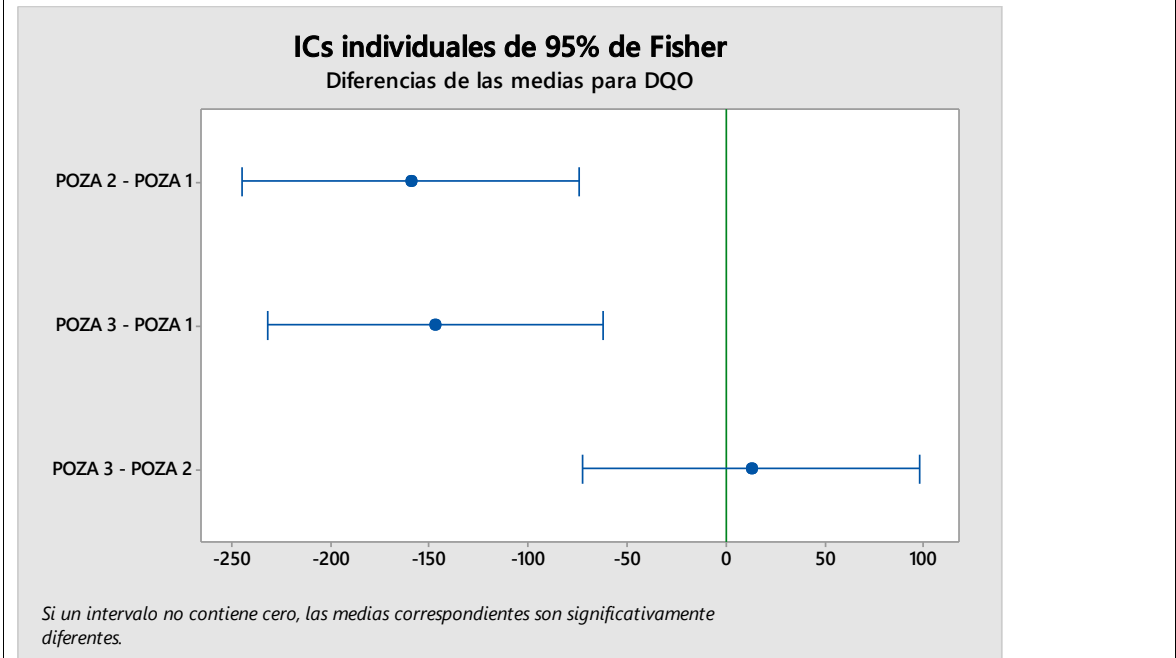


Figura 17. ICs individuales de 95% de Tukey - Diferencias de las medias para DQO.

De acuerdo con las pruebas de comparaciones en parejas podemos decir que las medias la estación “Poza 1” pertenece a una población A y las pozas 2 y 3 pertenecen a una población B.

- **PARA EL PH: PRUEBA DE ANOVA DE UN FACTOR PARA VERIFICAR SI LAS MEDIAS DEL DQO SON SIMILARES.**

ANOVA de un solo factor: pH vs. ESTACIÓN					
Método					
Hipótesis nula	Todas las medias son iguales				
Hipótesis alterna	No todas las medias son iguales				
Nivel de significancia	= 0,05				
<i>Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.</i>					
Información del factor					
Factor	Niveles	Valores			
ESTACIÓN	3	POZA 1; POZA 2; POZA 3			
Análisis de Varianza					
Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
ESTACIÓN	2	0,9487	0,47434	6,89	0,006
Error	18	1,2384	0,06880		
Total	20	2,1871			
Resumen del modelo					
S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)		
0,262301	43,38%	37,08%	22,93%		
Medias					
ESTACIÓN	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%	
POZA 1	7	8,559	0,271	(8,350; 8,767)	
POZA 2	7	9,064	0,314	(8,856; 9,273)	
POZA 3	7	8,7043	0,1854	(8,4960; 8,9126)	
<i>Desv.Est. agrupada = 0.262301</i>					

Para las pruebas de varianzas iguales, las hipótesis son:

- H_0 : Si $p = 0$ entonces de las medias de las concentraciones de pH de las “estaciones” no difieren.
- H_1 : Si $p < 0,05$, entonces las medias de las concentraciones de pH de las “estaciones” difiere al menos una de ellas.

De acuerdo con la tabla de análisis de varianza podemos verificar que el pH difiere según la estación, al menos una de ellas, debido a que el valor de p es menor a 0,05.

Para determinar la diferencia entre las medias hacemos uso de las pruebas de comparaciones en parejas mediante los métodos de Tukey y Fisher.

Comparaciones en parejas de Tukey					
Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%					
ESTACIÓN	N	Media	Agrupación		
POZA 2	7	9,064	A		
POZA 3	7	8,7043	B		
POZA 1	7	8,559	B		

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Pruebas simultáneas de Tukey para diferencias de las medias					
Diferencia de niveles	Diferencia de las medias	EE de diferencia	IC de 95%	Valor T	Valor p ajustado
POZA 2 - POZA 1	0,506	0,140	(0,148; 0,864)	3,61	0,005
POZA 3 - POZA 1	0,146	0,140	(-0,212; 0,504)	1,04	0,563
POZA 3 - POZA 2	-0,360	0,140	(-0,718; -0,002)	-2,57	0,048

Nivel de confianza individual = 98,00%

Comparaciones en parejas de Fisher

Agrupar información utilizando el método LSD de Fisher y una confianza de 95%

ESTACIÓN	N	Media	Agrupación
POZA 2	7	9,064	A
POZA 3	7	8,7043	B
POZA 1	7	8,559	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Pruebas individuales de Fisher para diferencias de las medias

Diferencia de niveles	Diferencia de las medias	EE de diferencia	IC de 95%	Valor T	Valor p ajustado
POZA 2 - POZA 1	0,506	0,140	(0,211; 0,800)	3,61	0,002
POZA 3 - POZA 1	0,146	0,140	(-0,149; 0,440)	1,04	0,312
POZA 3 - POZA 2	-0,360	0,140	(-0,655; -0,065)	-2,57	0,019

Nivel de confianza simultánea = 88,22%

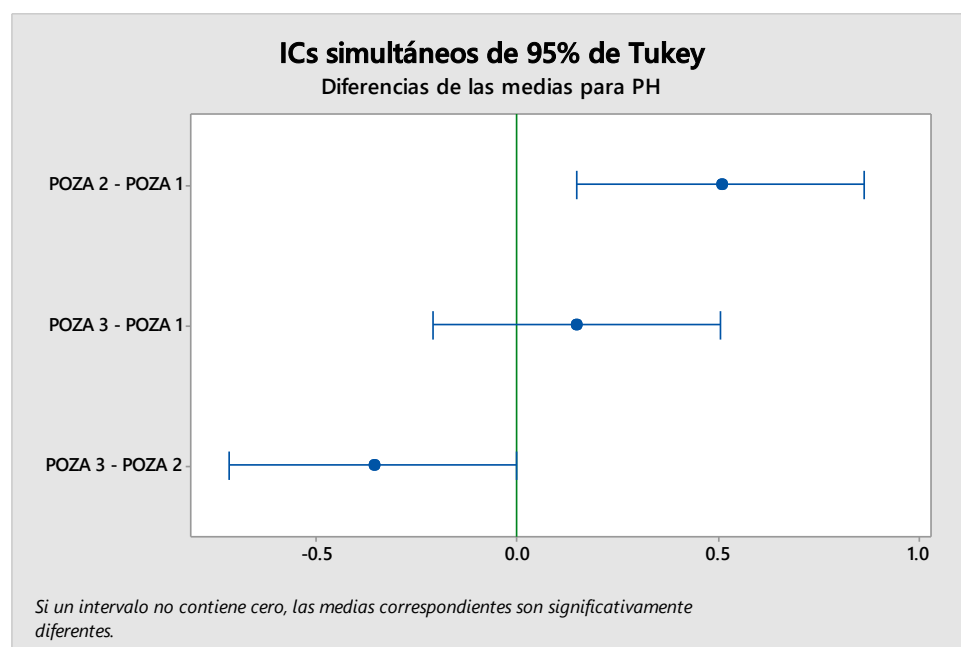
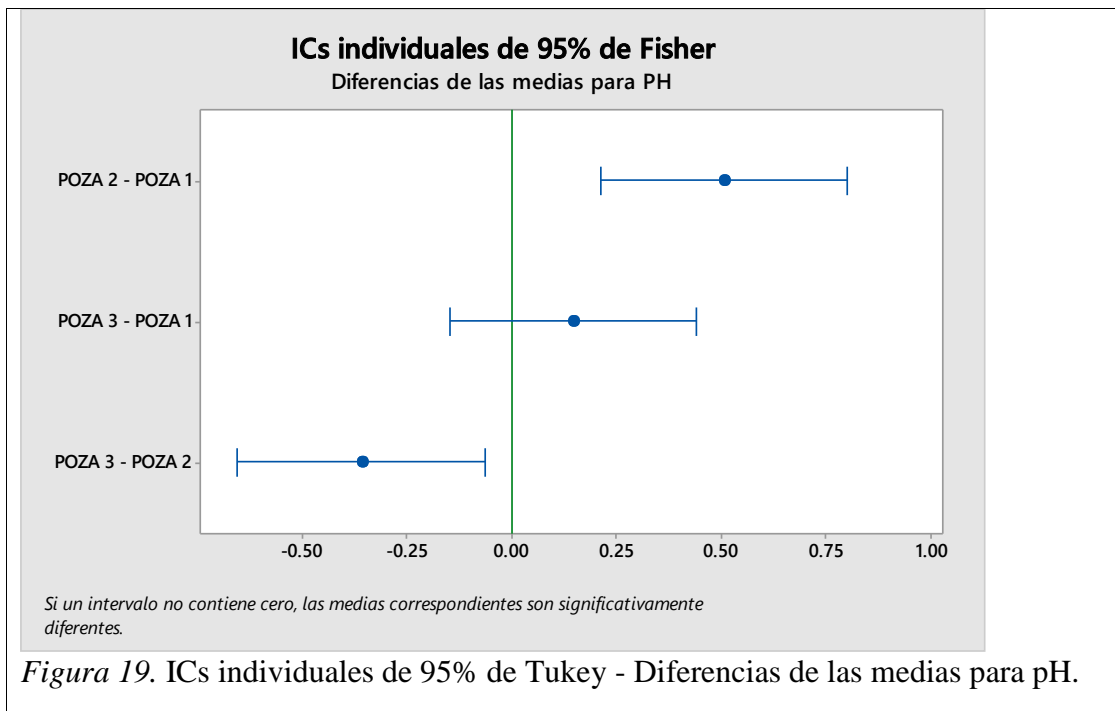


Figura 18. ICs simultáneos de 95% de Tukey - Diferencias de las medias para pH.



De acuerdo con las pruebas de comparaciones en parejas podemos decir que las medias la estación “Poza 2” pertenece a una población A y las pozas 1 y 3 pertenecen a una población B.

- **PARA LA RELACIÓN DEL DBO₅/DQO: PRUEBA DE ANOVA DE UN FACTOR PARA VERIFICAR SI LAS MEDIAS DE LA RELACIÓN SON SIMILARES.**

ANOVA de un solo factor: DBO₅/DQO vs. ESTACIÓN	
Método	
Hipótesis nula	Todas las medias son iguales
Hipótesis alterna	No todas las medias son iguales
Nivel de significancia	= 0,05
<i>Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.</i>	

Información del factor					
Factor	Niveles	Valores			
ESTACIÓN	3	POZA 1; POZA 2; POZA 3			
Análisis de Varianza					
Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
ESTACIÓN	2	0,003089	0,001545	1,17	0,334
Error	18	0,023856	0,001325		
Total	20	0,026945			
Resumen del modelo					
S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)		
0,0364053	11,46%	1,63%	0,00%		
Medias					
ESTACIÓN	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%	
POZA 1	7	0,5243	0,0291	(0,4953; 0,5532)	
POZA 2	7	0,5538	0,0508	(0,5249; 0,5827)	
POZA 3	7	0,54152	0,02336	(0,51261; 0,57043)	
<i>Desv.Est. agrupada = 0,0364053</i>					

Para las pruebas de varianzas iguales, las hipótesis son:

- H_0 : Si $p = 0$ entonces de las medias de las relaciones de DBO_5/DQO de las “estaciones” no difieren.
- H_1 : Si $p < 0,05$, entonces las medias de las relaciones de DBO_5/DQO de las “estaciones” difiere al menos una de ellas.

De acuerdo con la tabla de análisis de varianza podemos verificar las relaciones de DBO_5/DQO según la estación no difieren, debido a que el valor de p es mayor a 0,05.

Para confirmar la semejanza entre las medias de la relaciones hacemos uso de las pruebas de comparaciones en parejas mediante los métodos de Tukey y Fisher.

Comparaciones en parejas de Tukey

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

ESTACIÓN	N	Media	Agrupación
POZA 2	7	0,5538	A
POZA 3	7	0,54152	A
POZA 1	7	0,5243	A

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Pruebas simultáneas de Tukey para diferencias de las medias

Diferencia de niveles	Diferencia de las medias	EE de diferencia	IC de 95%	Valor T	Valor p ajustado
POZA 2 - POZA 1	0,0296	0,0195	(-0,0201; 0,0792)	1,52	0,306
POZA 3 - POZA 1	0,0173	0,0195	(-0,0324; 0,0669)	0,89	0,655
POZA 3 - POZA 2	-0,0123	0,0195	(-0,0620; 0,0374)	-0,63	0,804

Nivel de confianza individual = 98.00%

Comparaciones en parejas de Fisher

Agrupar información utilizando el método LSD de Fisher y una confianza de 95%

ESTACIÓN	N	Media	Agrupación
POZA 2	7	0,5538	A
POZA 3	7	0,54152	A
POZA 1	7	0,5243	A

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Pruebas individuales de Fisher para diferencias de las medias

Diferencia de niveles	Diferencia de las medias	EE de diferencia	IC de 95%	Valor T	Valor p ajustado
POZA 2 - POZA 1	0,0296	0,0195	(-0,0113; 0,0705)	1,52	0,146
POZA 3 - POZA 1	0,0173	0,0195	(-0,0236; 0,0581)	0,89	0,387
POZA 3 - POZA 2	-0,0123	0,0195	(-0,0532; 0,0286)	-0,63	0,535

Nivel de confianza simultánea = 88.22%

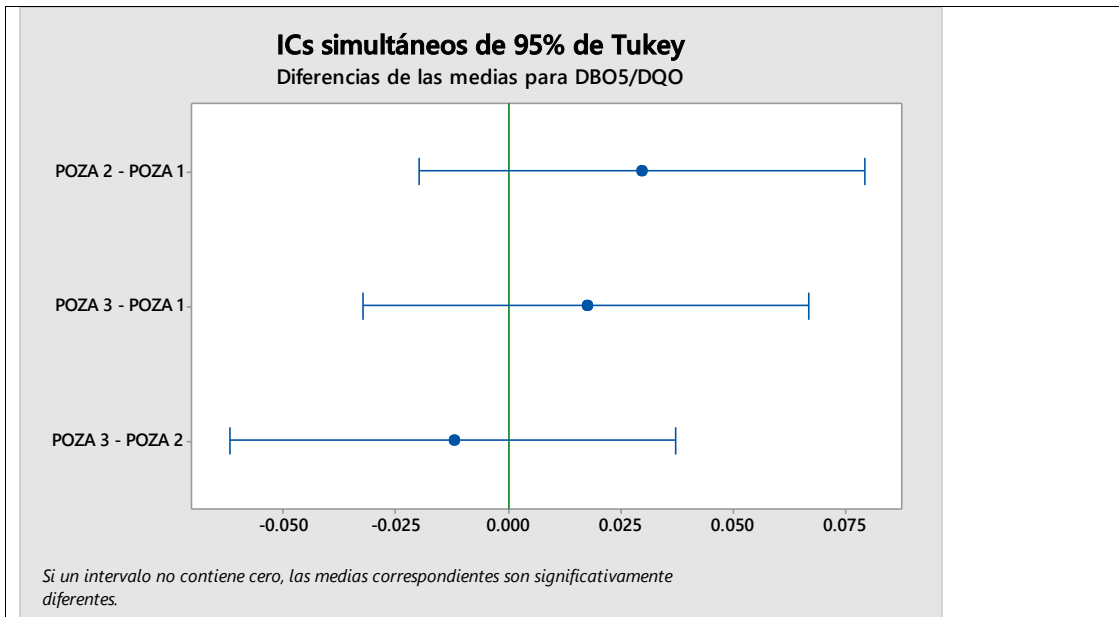


Figura 20. ICs simultáneos de 95% de Tukey - Diferencias de las medias para DBO₅/DQO.

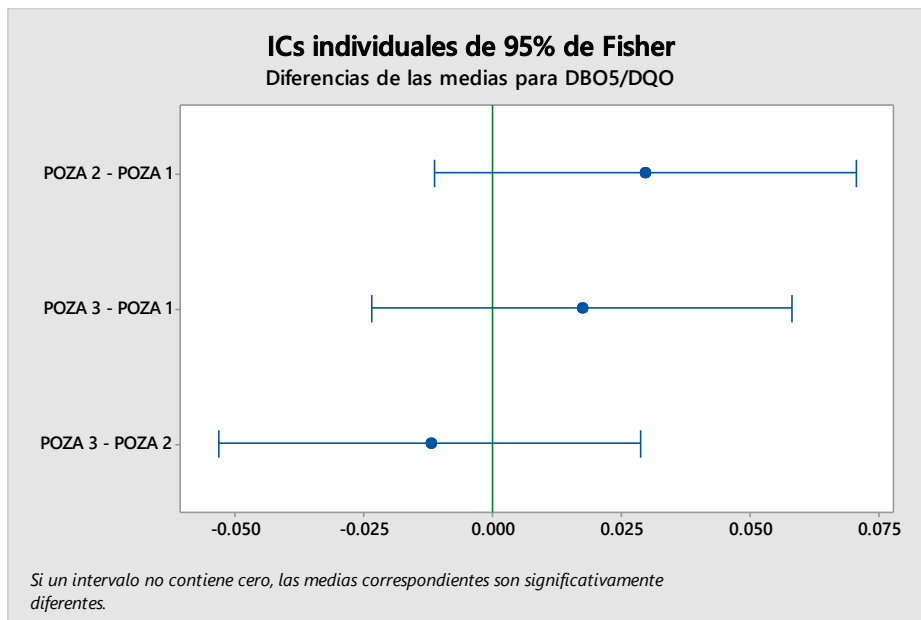
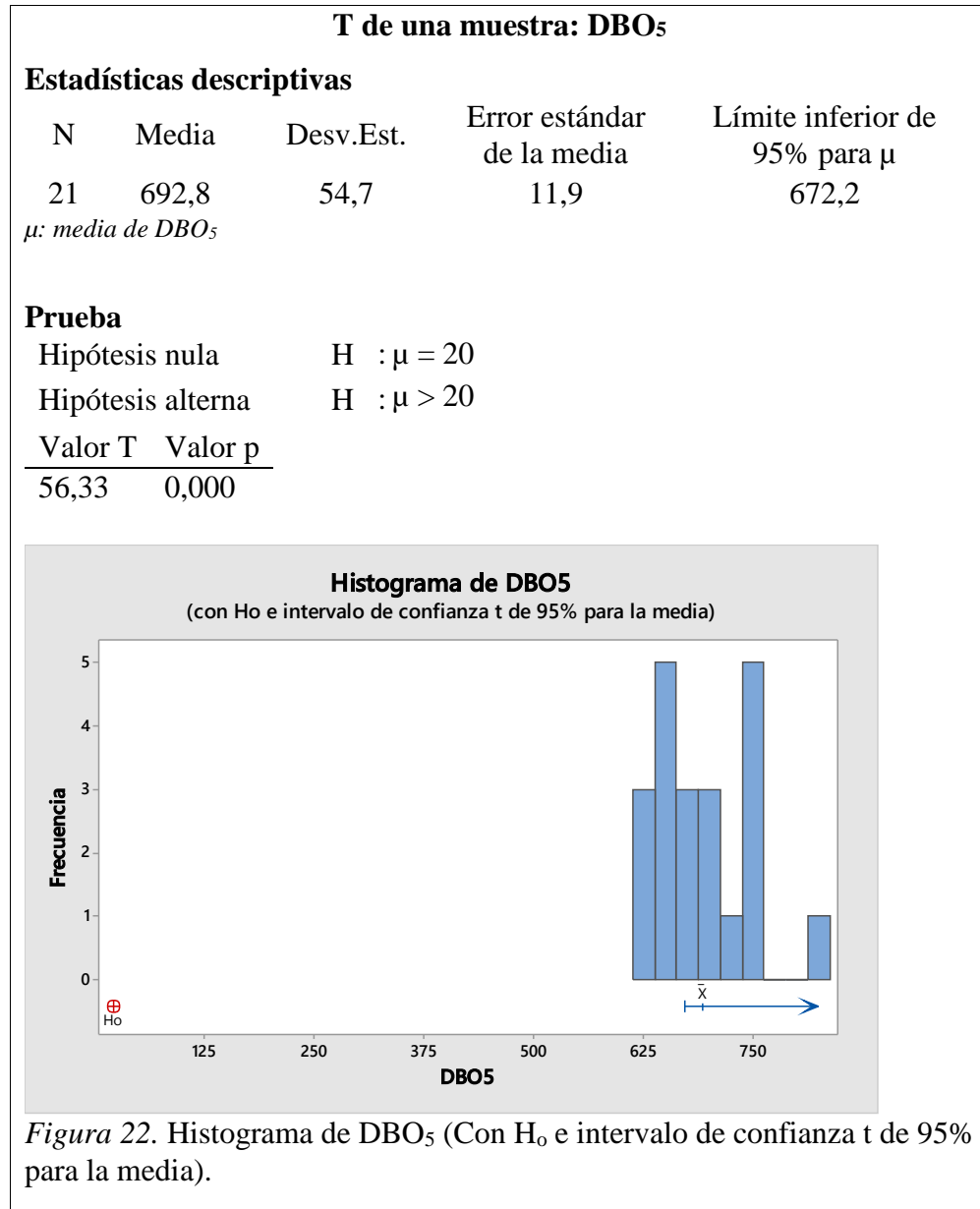


Figura 21. ICs individuales de 95% de Tukey - Diferencias de las medias para DBO₅/DQO.

De acuerdo con las pruebas de comparaciones en parejas podemos decir que las medias las relaciones no difieren entre las estaciones.

4.2. Verificar estadísticamente si cumple con los límites establecidos.

- **PARA EL DBO₅:** Determinar mediante la prueba t-student si la media difiere significativamente de un valor de referencia.



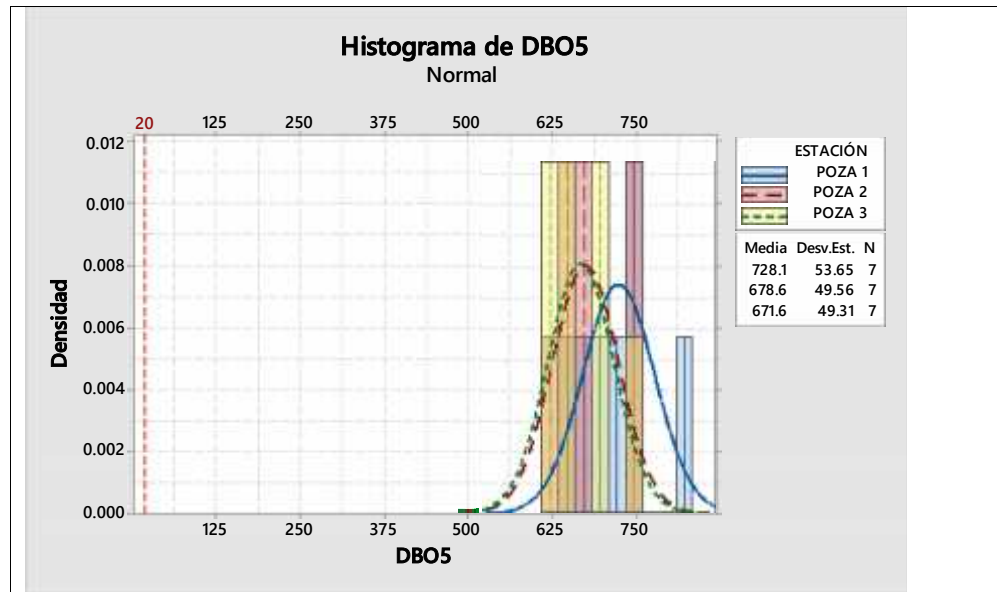


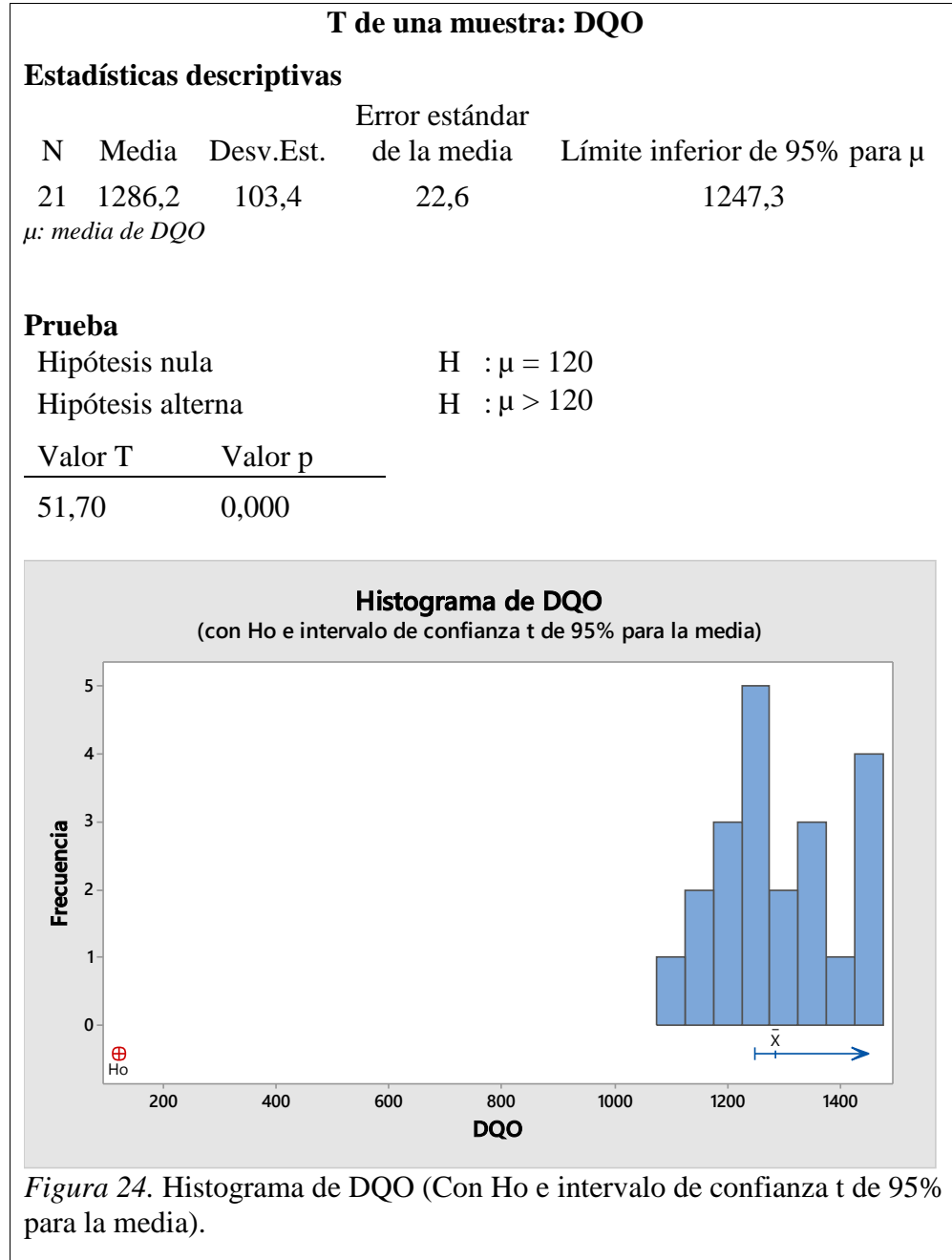
Figura 23. Histograma de DBO₅ Normal

Para las pruebas de t-Student, las hipótesis son:

- H₀: Si $p \geq 0$ entonces de la media no difiere significativamente del valor referencial.
- H₁: Si $p < 0,05$, entonces la media difiere significativamente del valor referencial.

De acuerdo con la tabla de t-Student podemos decir que el valor de DBO₅ es muy superior al Límites establecido que es 20 mg/L.

- **PARA EL DQO:** Determinar mediante la prueba t-student si la media difiere significativamente de un valor de referencia.



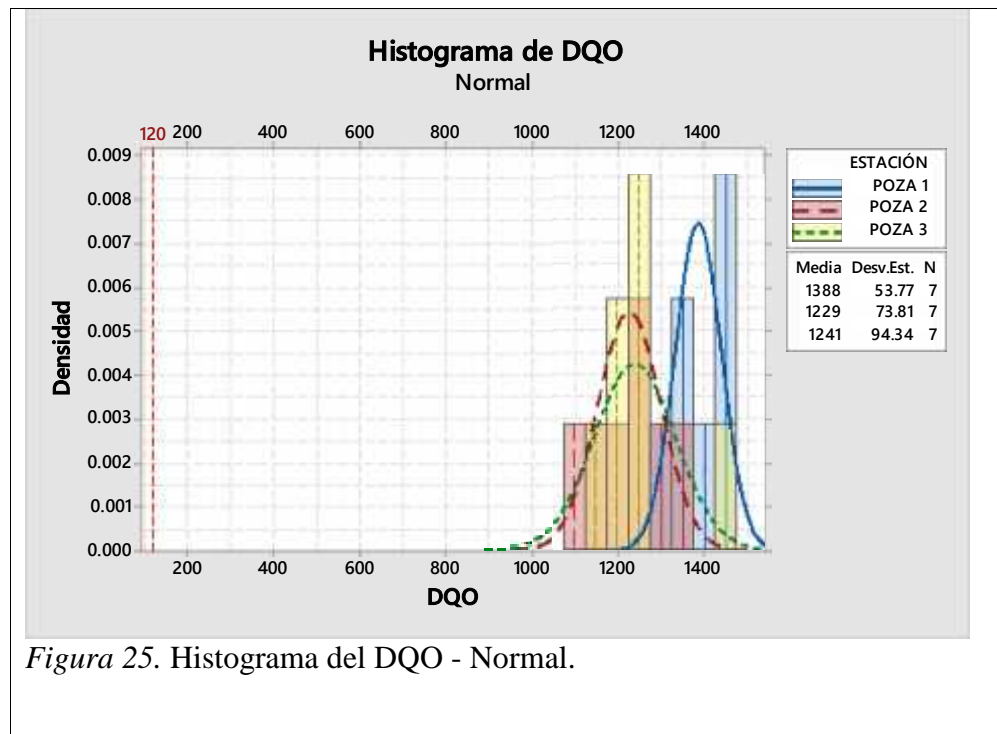


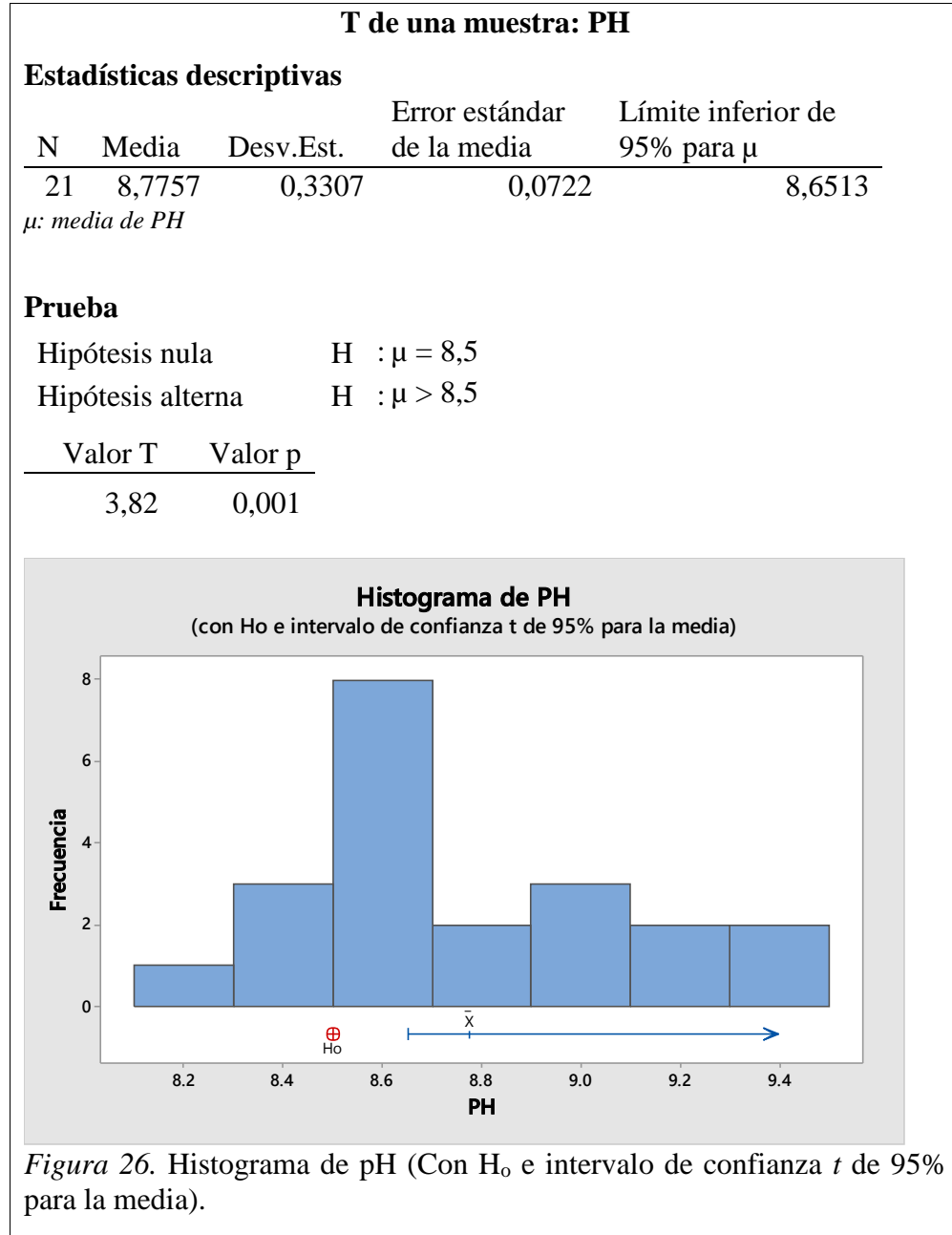
Figura 25. Histograma del DQO - Normal.

Para las pruebas de t-Student, las hipótesis son:

- H_0 : Si $p \geq 0$ entonces de la media no difiere significativamente del valor referencial.
- H_1 : Si $p < 0,05$, entonces la media difiere significativamente del valor referencial.

De acuerdo con la tabla de t-Student podemos decir que el valor de DQO es muy superior al Límites establecido que es 120 mg/L.

- **PARA EL pH:** Determinar mediante la prueba t-student si la media difiere significativamente de un valor de referencia.



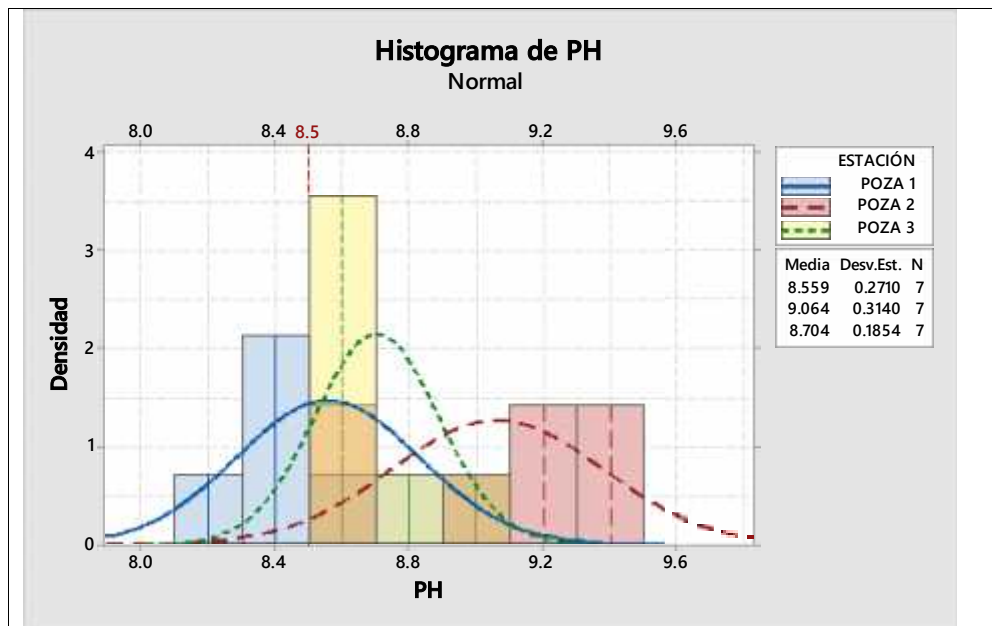


Figura 27. Histograma de pH - Normal

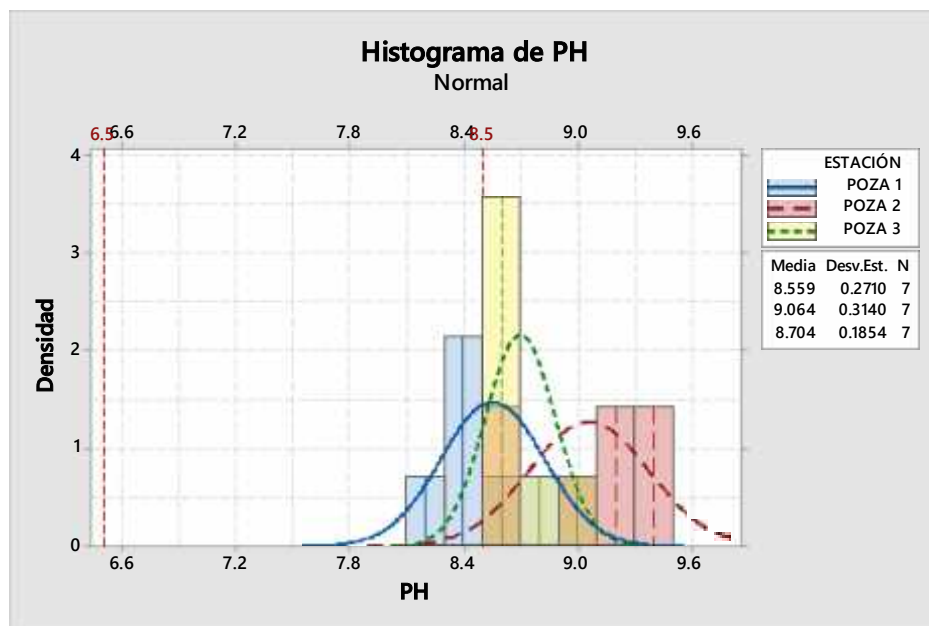


Figura 28. Histograma de pH - Normal

Para las pruebas de t-Student, las hipótesis son:

- H_0 : Si $p = 0$ entonces de la media no difiere significativamente del valor referencial.

- H_1 : Si $p < 0,05$, entonces la media difiere significativamente del valor referencial.

De acuerdo con la tabla de t-Student podemos decir que el valor de pH es superior al Límites establecido para pH que es 8,5.

4.3. Discusión

Valles (2013), define a los lixiviados como el efluente acuoso producto de procesos bioquímicos en las células de los residuos y el contenido de agua inherente de los mismos desechos; son generados a consecuencia de percolación a través de los residuos lo que condice con Chistensen, (1989), quien menciona que las particularidades del lixiviado tanto físicas como químicas y biológicas son resultado de las reacciones que se realizan dentro de un relleno sanitario y son estas, las que dan pauta al desarrollo de un tratamiento adecuado.

El pH se comparó con el D.S. N°012 – MINAM – 2009 (6,5 y 8,5); Lo que se pudo apreciar que en las fechas (18, 23 y 28 de febrero) sus resultados no se encuentran entre el parámetro propuesto por el decreto mencionado, sino que lo superan, para las pozas 2 y 3 los resultados obtenidos superan de 1% a 11%. Aparicio y Flores (2017), afirman que la composición química del lixiviado puede variar dependiendo de la edad del relleno sanitario y de los eventos que precedan al muestreo de los mismos; Si el lixiviado es muestreado durante las

primeras fases de descomposición, el pH será bajo y la concentración de DBO₅, COT, DQO, nutrientes y metales pesados será alta. Por otro lado, si se realiza el muestreo durante las fases finales de descomposición, las condiciones serán a la inversa. El pH del lixiviado no solo dependerá de la concentración de ácidos presente sino también de la presión parcial del bióxido de carbono en el biogás producido que está en contacto con el lixiviado.

Se determinó una carga tóxica muy elevada, para el parámetro DBO₅ con un exceso de más de 3000% a lo normado en el D.S. N°012 – MINAM, las 3 pozas y en todas las fechas de muestreo. Para DQO, la comparación de los resultados de laboratorio, también se determinó una carga tóxica muy elevada, para este parámetro, con un exceso de más de 920% del LMP de la normativa vigente D.S. N°012 – MINAM – 2009, en las 3 pozas. Solana, (2013) afirma que en la mayoría de los casos, las altas precipitaciones generan un lixiviado más diluido con concentraciones de DQO y cloruros más bajas, mientras que los meses más secos donde disminuyen las precipitaciones aumenta la concentración en el lixiviado, lo que condice con Gonzales, (2018) quien menciona que los valores que exceden los límites máximos permisibles, de los parámetros, físicos, químicos y biológicos, especialmente los metales pesados, por procesos propios de lixiviación, están aunados a agentes externos como la lluvia, humedad, escorrentía, presión de los bancos, etc., lo cual generan el escurrimiento y disposición final de dichos lixiviados en sus respectivas pozas de recepción. La remoción de DBO₅ se ve afectada por la toxicidad que generan los metales, pero

a su vez, la remoción de metales, incluyendo aquellos incrustantes como el hierro, se ve interferida por la presencia de la DBO_5 que sirve como agente acomplejante que mantienen los metales en solución obstaculizando y restringiendo rigurosamente su remoción (Giraldo, 1997). Los metales afectan la remoción de la DBO_5 , y la presencia de DBO_5 la remoción de los metales, sin dejar en claro por dónde empezar a tratar.

Giraldo (1997), ejemplifica a la relación DBO_5/DQO para un lixiviado joven dice que es alta, indicando una buena biodegradabilidad, mientras que para un lixiviado viejo es baja indicando una pobre biodegradabilidad de la materia orgánica. Las concentraciones de sales disueltas, y metales pesados son mucho mayores en un lixiviado joven, generando problemas de toxicidad en el caso de que se quieran utilizar procesos biológicos para la remoción de la DBO_5 , lo que condice con Torres, Barba, Ojeda, Martínez y Castaño (2014) quien menciona que la composición de los lixiviados depende del tiempo de funcionamiento de los rellenos sanitarios y, particularmente de la edad de la celda, en los cuales se originan; En general, se observan mayores concentraciones de los parámetros fisicoquímicos en lixiviados más jóvenes, que disminuyeron proporcionalmente con la edad. En lixiviados de mayor edad, las concentraciones medidas disminuyen y la relación entre las variables no es tan fuerte, siendo necesario caracterizar un mayor número de variables, como las indicadores de material inorgánico y contaminantes específicos, que deberán ser definidos de acuerdo con las características y procedencia de los residuos sólidos depositados en los

rellenos sanitarios; tal como lo describe Chávez, (2011), quien menciona que el pH de un lixiviado varía de acuerdo a la edad del lixiviado, el pH del lixiviado disminuye hasta 5 o menos por la presencia de ácidos orgánicos durante la fase acida, incrementando después hasta un valor de 8 durante la fase de maduración.

De los resultados obtenidos mediante los informes de muestras de laboratorio, tomadas de los lixiviados de la poza 1, 2 y 3 de la infraestructura de tratamiento y disposición final de residuos sólidos de Cajamarca, según la tabla 7 referida al Análisis Porcentual de los parámetros (DBO₅, pH y DQO), sus niveles de concentración son significativos para la demanda bioquímica de oxígeno y la demanda bioquímica de oxígeno. Así mismo, Giraldo (2001), indica que los lixiviados en rellenos sanitarios de los países en vías de desarrollo presentan concentraciones mayores de amoníaco y metales pesados (MP), que aquellos de países desarrollados. En cuanto al parámetro químico de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) y el parámetro biológico de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅), determinan el contenido de materia orgánica de los lixiviados, que vienen a ser indicativos de la cantidad total de materia química y orgánica que son fácilmente biodegradables. Estos parámetros (medidos como mg/L), cuantifican la cantidad de oxígeno necesario para la conversión de carbono orgánico a CO₂ y agua, o la cantidad de oxígeno que los microorganismos utilizan en convertir la materia orgánica.

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5. Conclusiones y Recomendaciones

5.1. Conclusiones

- Comparando los análisis de laboratorio, se determinó una carga tóxica muy elevada, para el parámetro DBO_5 con un exceso de más de 3000% a lo normado en el D.S. N°012 – MINAM, las 3 pozas y en todas las fechas de muestreo (28 de enero, 03, 08, 13, 23 y 28 de febrero). Para pH se comparó el valor obtenido con el D.S. N°012 – MINAM – 2009 que se encuentran entre 6,5 y 8,5; Lo que se pudo apreciar que en las primeras 4 fechas de muestreo (28 de enero, 03, 08, 13 de febrero) sus datos obtenidos se encuentran entre el parámetro; En las demás fechas (18, 23 y 28 de febrero) sus resultados no se encuentran entre el parámetro propuesto por el decreto mencionado, sino que lo superan; Esto para la POZA 1, para las pozas 2 y 3 los resultados obtenidos superan de 1% a 11% . Para DQO, la comparación de los resultados de laboratorio, también se determinó una carga tóxica muy elevada, para este parámetro, con un exceso de más de 920% del LMP de la normativa vigente D.S. N°012 – MINAM – 2009, en las 3 pozas.

- Tras analizar los datos de laboratorio obtenidos para los parámetros DBO₅, pH y DQO, se pudo apreciar que el lixiviado de esta infraestructura se caracteriza principalmente por su baja biodegradabilidad, alcanzando valores de extremos para la DBO₅ y DQO, en el cual destacó el alto contenido en materia orgánica, ya que sus valores superan los de la normativa que aplica para el análisis de descarga de efluentes líquidos de tratamiento de residuos sólidos y lixiviados de rellenos sanitarios (D.S. N°012 – MINAM – 2009), con esto se determinó que la efectividad del tratamiento de la fracción orgánica de los lixiviados en la infraestructura de tratamiento y disposición final de residuos sólidos de Cajamarca no es eficiente.

5.2. Recomendaciones

- Se recomienda realizar la investigación en otros botaderos de la región, que permitan comparar con la investigación efectuada a la infraestructura de tratamiento y disposición final de residuos sólidos de Cajamarca.
- Impulsar campañas de educación y sensibilización ambiental para la adecuada gestión de los residuos sólidos en Cajamarca con la finalidad de concientizar a la población y autoridades a minimizar los riesgos de contaminación del suelo.

REFERENCIAS

- Aduvire, O. (2006). *Drenaje Ácido de Mina Generación y Tratamiento*. Instituto Geológico y Minero de España. Dirección de Recursos Minerales y Geoambiente. Madrid. 2006.
- Alaba, L. (2013). *Gestión y Aprovechamiento de los Residuos Sólidos en la ciudad de Cajamarca*. Universidad Nacional de Cajamarca.
- Alais, C. y Linden, G. (1990). *Bioquímica De Los Alimentos*. Masson, Barcelona.
- Alcalá, J. Sosa, M. Moreno, M. Rodríguez, J. Quintana, C. Terrazas, C. y Otros. (2009). *Metales pesados en suelo urbano como un indicador de la calidad ambiental: ciudad de Chihuahua, México*. *Multequina*, 18, 53-69.
- Aparicio M. y Flores, J. (2017). *Evaluación del impacto ambiental de los lixiviados del vertedero de Jocotepec, Jalisco*. Congreso Nacional de Ciencias y Tecnología del Mar.

- Aznar, A. (2000). *Determinación de los parámetros Fisicoquímicos de calidad de las aguas*. Instituto Tecnológico de Química y Materiales Álvaro Alonso Barba. Universidad Carlos III. Madrid.
- Bailey y Ollis. (1986). *Fundamentos de ingeniería bioquímica*.
- Bernache, G. (2011). *Riesgo de contaminación por disposición final de residuos. Un estudio de la región centro occidente de México*. Centro de Investigaciones y Estudios Superiores en Antropología Social, CIESAS, Unidad Occidente. Ave. España. Rev. Int. Contam. Ambie. 28 Sup. (1) 97 – 105, 2012.
- Bonmatí, A. (2008). *Evaluación y prevención de riesgos Ambientales en Centroamérica*. ISBN: 978-84-96742-37-6. Documenta Universitaria. Girona. España.
- Cardona, D. (2011). *Caracterización del agua cruda del río La Vieja como fuente superficial para el proceso de potabilización de Ecartago S.A. E.S.P.* Universidad Tecnológica de Pereira.
- CEPAL/ CLADES. (1981). *Tesaurus de medio ambiente para América Latina y el Caribe*. Santiago, Recuperado de: https://prezi.com/zod_m3cfphv-/gestion-ambiental/

- Chávez, W. (2011). *Tratamiento de lixiviados generados en el relleno sanitario de la Cd. de Chihuahua, México*. Centro de Investigación en Materiales Avanzados.
- Corena, M. (2008). *Sistemas de Tratamiento para lixiviados generados en Rellenos Sanitarios*. Universidad de Sucre, Dpto. de Ingeniería Civil Sincelejo, 2008. Recuperado de:
<http://repositorio.unisucre.edu.co/bitstream/001/304/2/628.44564C797.pdf>
- Espinosa, M. López, M. Pellón, A. Mayarí, R. Fernández, A. (2006). *La fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos como fuente potencial de producción de biogás*. Revista CENIC Ciencias Biológicas, Vol. 38, No. 1, 2007.
- Giraldo, E. (1997). *Manejo Integrado de Residuos Sólidos Urbanos*. Universidad de los Andes
- Giraldo, E. (2001). *Tratamiento De Lixiviados De Rellenos Sanitarios: Avances Recientes*. Revista de Ingeniería, 46(14), 44-55. Recuperado de:
<https://doi.org/10.16924/riua.v0i14.538>
- Gobierno Regional de Cajamarca. (2012).

- Gonzáles, L. (2013). *Nitrógeno amoniacal, importancia de su determinación*. Recuperado de:file:///C:/334-Texto%20del%20art%C3%ADculo-482-1-10-20160721.pdf

- Gonzales, L. (2018). *Evaluación del riesgo ambiental que genera la planta de tratamiento de residuos sólidos de la ciudad de Cajamarca debido al manejo de los lixiviados*. Universidad Nacional de Cajamarca. Recuperado de:
<http://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/UNC/2238/EVALUACION%20DEL%20RIESGO%20AMBIENTAL%20QUE%20GENERA%20LA%20PLANTA%20DE%20TRATAMIENTO%20DE%20RESIDUOS%20S%20LIDOS%20DE%20LA%20CIU.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Hernández, R. Fernández, C. y Baptista, M. (2010). *Metodología de la investigación*. México DF: McGraw-Hill/Interamericana editores, 5ª ed.

- Hernández, L. (2018). *Caracterización físico-química de la fracción orgánica de residuos sólidos urbanos del vertedero controlado en el Centro Urbano Abel Santamaría de Santiago de Cuba*. Centro de Investigaciones de Energía Solar. Cuba.

- Hernández, N. et al., (2012). *Determinación de metales pesados en residuos sólidos y lixiviados en biorreactores a diferentes tasas de recirculación*. México. Rev. Int. Contam. Ambie. 28 Sup. (1) 77-82, 2012
- Lastra, T. (2013). *Caracterización experimental de la fracción orgánica triturada de los RSU para valorar su incorporación al agua residual y tratamiento de una EDAR*.
- Lewis, A. (2010). *Review of metal sulphide precipitation*. Hidrometallurgy, 104, 222-234.
- Lizana, P. (2018). *Tratamiento de aguas residuales para el caserío Villa Palambra*. Universidad de Piura. Facultad de Ingeniería. Programa Académico de Ingeniería Industrial y de Sistemas. Piura, Perú.
- Martin, C. (2000). *Heavy Metals Tends Floodplain Sediments and Valley Fill*. Catena, 39, 53-68.
- Martínez, J. (1997). *Sistemas de Gestión Medioambiental*. Recuperado de <http://www.uv.es/dmoreno/ISO14000.pdf>

- Ortiz, B. Sanz, G. & Villar, F. (2007). *Técnicas de recuperación de suelos contaminados. España: Informe de Vigilancia Tecnológica.* Universidad de Alcalá. Dirección General de Universidades e Investigación.
- Pineda, S. (1998) *Manejo y disposición de residuos sólidos urbanos.* Panamericana formas e impresos.
- Renou, S. Givaudan, J. Poulain, S. Dirassoyan, F. y Mouline, P. (2007). *Leachate Treatment: Review and opportunity. Hazardous Materials,* 150, 468-493.
- Reyes, M. (2015). *Lixiviados en plantas de residuos. Una contribución para la selección del proceso de tratamiento.* Universitat Politècnica de València. Departamento de Física Aplicada.
- Sancha, M. (2013). *Caracterización físico-química y microbiológica de un proceso de tratamiento de lixiviados de vertedero.* Universidad de Oviedo
- Sánchez et al. (1982). *El entorno político de la sustentabilidad.*

- Solana, E. (2013). *Contribución al tratamiento de lixiviados de vertedero de residuos sólidos urbanos mediante procesos de oxidación avanzada*. Universidad de Cantabria. Santander
- Torres, J. Magno, J. Pineda, R. Cruz, M. (2017). *Evaluación de la eficiencia en el tratamiento de aguas residuales para riego mediante humedales Artificiales de flujo libre superficial (FLS) con las especies Cyperus Papyrus y Phragmites Australis, en Carapongo-Lurigancho*.
- Torres, P. Barba, L. Ojeda, C. Martínez, J. Castaño, Y. (2014). *Influencia de la edad de lixiviados sobre su composición físico-química y su potencial de toxicidad*. Rev. U. D. C. A. Act. & Div. Cient. 17(1): 245-255.
- Valles, A. (2013). *Tratamiento Físicoquímico y Biológico de lixiviado del Relleno Sanitario de la ciudad de Chihuahua*. Centro de Investigación en Materiales Avanzadas. Departamento de Estudios de Posgrado. México
- Vásquez, M. (2017). *Efecto de los microorganismos eficaces en la calidad físicoquímica y microbiológica de los lixiviados del relleno sanitario municipal de Cajamarca*. Universidad Nacional De Cajamarca. Escuela De Postgrado. Cajamarca. Perú

- Yanyu, W. Soqui, Z. Chen, D. Rong, Z. Huosheng, L. y Yiming, L. (2011).
Transformation of metals speciation in a combined landfill leachate treatment. Science of the Total Environmental, 409, 1613-1620.

- Zapata, A. (2012). *Un Método de Gestión Ambiental de Lixiviados Mediante Una Biobarrera Secuencial*. Universidad Nacional de Colombia. Medellín. 2012.

LISTA DE ABREVIATURAS

DS:	Decreto Supremo.
DBO ₅ :	Demanda Bioquímica de Oxígeno.
DQO:	Demanda Química de Oxígeno.
MINAM:	Ministerio del Ambiente.
RSU:	Residuos Sólidos Urbanos
FORSU:	Fracción Orgánica De Los Residuos Sólidos Urbanos.

ANEXO 01



Figura 29. Realizando el llenado de la cadena de custodia y tomando apuntes del monitoreo a la Infraestructura de tratamiento y disposición final de residuos sólidos Cajamarca para la toma de muestras DBO₅, pH y DQO, en sus respectivos puntos.



Figura 30. Procediendo a tomar la primera muestra de DBO₅ de la poza 1 y luego, el personal cumple con el material apropiado para la muestra.



Figura 31. Toma de muestra en la Poza 2, se evidencia al encargado del muestreo, tomar el parámetro de DBO_5 el cual no es preservado.



Figura 32. Toma de muestra en la Poza 3, se realiza el recojo de muestra de DQO , cumpliendo con los estándares de calidad para mantener sus características reales y así llegar en óptimas condiciones al laboratorio.



Figura 33. Se realiza la toma de muestra del parámetro pH, con la finalidad de evidenciar el proceso de neutralización que realiza la municipalidad a sus pozas.



Figura 34. Se evidencia el momento donde se realiza la preservación de la muestra de DQO con ácido sulfúrico el cual se da en todas las muestras de este parámetro.



Figura 35. Los muestreos se realizaron cumpliendo con todos los requisitos para realizar un monitoreo de calidad.

ANEXO 02