ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL

DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE TRATABILIDAD DE UN SISTEMA DE BIOFILTRACIÓN CON *LANTANA CAMARA* COMO MEDIO FILTRANTE

TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO AMBIENTAL

NAGHIA MARISÉ CEVALLOS MAGALLÁN

naghia.cevallos@epn.edu.ec

BRYAN ISIDRO CLEMENTE YAGUAL

bryan.clemente@epn.edu.ec

DIRECTORA: M EN I. NATHALIA TERESA VALENCIA BONILLA

nathalia.valencia@epn.edu.ec

Quito, 2021

DECLARACIÓN

Yo, Naghia Marisé Cevallos Magallán y yo, Bryan Isidro Clemente Yagual declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Escuela Politécnica Nacional puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

NAGHIA MARISÉ CEVALLOS MAGALLÁN

BRYAN ISIDRO CLEMENTE YAGUAL

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Naghia Marisé Cevallos Magallán y Bryan Isidro Clemente Yagual, bajo mi supervisión.

ING. NATHALIA VALENCIA BONILLA
DIRECTOR DEL PROYECTO

DEDICATORIA

Este trabajo de investigación, que representa un escalón más en mi vida profesional lo dedico a las personas más importantes de mi vida. A mis padres por haberme empujado hasta aquí, viendo realizados sus sueños en mi y los que vendrán. A mis hermanos Anny, Angie, Joel y Mati, por que a través del esfuerzo de nuestros padres y el mío todos vamos a llegar lejos. A mi mami Targe, porque sé que siempre ha sido su deseo verme llegar lejos profesionalmente y mis logros son los suyos. De su negra, su gorda, su aññy gonda. Los amo tanto, que este paso más es para todos ustedes.

Ghia

AGRADECIMIENTO

A Dios, por haberme acompañado en cada paso incluso cuando ni yo misma sabía si lo lograría y por haberme llevado por el camino que querías que eligiera.

A mis padres Navijio y Annevel, por su apoyo incondicional y esforzado, por haber sufrido conmigo cada etapa, por haberme brindado esta oportunidad, por amarme tanto.

Gracias a mis amigos, a aquellos que siempre confiaron en mi y que jamás me dejaron sola, Andre, David y Bryan. Por ser totalmente incondicional conmigo y haberme dado también una familia más a quienes agradecer, gracias Bryan. Sé totalmente que este logro también es suyo seño Maritza, gracias por ser como mi mamá en este tiempo y por cuidarme amorosamente.

Y sin quitar importancia, gracias David por tu amor sin condición, por el apoyo que he recibido de ti y de tu familia, porque sé que tengo un hogar en cada uno de ustedes.

Ghia

DEDICATORIA

El presente trabajo lo dedico con mucho cariño y amor a mis padres: Maritza e Isidro, quienes fueron mis pilares de formación y fuentes de apoyo para afrontar las dificultades y obstáculos que se presentaron durante toda mi vida, a mi padre por ser mi ejemplo de fortaleza e inspiración diaria y a mi madre por ser mi ejemplo de constancia y dedicación.

A mis abuelitos Heriberta, Alipio, Agapito y Felicita quienes son y serán mi ejemplo a seguir tanto en mi vida profesional como personal, los que en cualquier situación de mi vida siempre estarán presentes en mi corazón por sus valores y principios que me inculcaron desde pequeño, siempre les tendré un amor eterno.

A todas las personas quienes de una u otra manera estuvieron presentes en mi vida brindándome su ayuda.

Bryan Isidro Clemente Yagual

AGRADECIMIENTO

Esta tesis de Ingeniería pudo ser realizada gracias a la aceptación de la vinculación del Proyecto PIJ 17-11, por parte de la Ing. Nathalia Valencia, quien durante la elaboración del presente documento fue un apoyo incondicional en todos los aspectos hasta la culminación de este, de todo corazón gracias por ser la mejor profesora que he conocido a nivel de la facultad, siempre ha tenido mi toda mi admiración académica desde el primer día que la conocí, y fue un honor poder haber elaborado esta tesis bajo su supervisión.

A Dios por cuidarme todos los días de mi vida y darme la fortaleza y sabiduría para poder elegir los camino y decisiones más correctas de mi vida, gracias por estar en mi vida hoy, mañana y siempre.

A mis padres: Maritza e Isidro, que por todas sus enseñanzas que me impartieron hoy les debo todos mis logros adquiridos y por adquirir, quienes me motivan día a día para alcanzar todos mis anhelos y sueños de vida, y a toda mi familia en especial a mis hermanos Johan y Jessenia.

A todos mis amigos: Diego, Luis, Ronald, Andrea, David, Mishu, Kathu y sobre todo a mi mejor amiga Naghia con quien pasamos muchos momento buenos y malos en la universidad y ahora estamos culminando una etapa, así como comenzamos en primer semestre, gracias por los buenos momentos y los que nos esperan de aquí en adelante.

A Ing. Genny Herrera quien con su sabiduría y experiencia forma mi futuro laboral, que a pesar de todo siempre me apoya de una u otra manera, agradezco que este en mi camino.

Bryan Isidro Clemente Yagual

CONTENIDO

DECLARACIÓN ..... **II**

CERTIFICACIÓN ..... **II**

DEDICATORIA ..... **III**

AGRADECIMIENTO ..... **IV**

DEDICATORIA ..... **V**

AGRADECIMIENTO ..... **VI**

LISTA DE FIGURAS ..... **X**

LISTA DE TABLAS ..... **XII**

LISTA DE ANEXOS ..... **XV**

RESUMEN ..... **XVI**

ABSTRACT ..... **XVIII**

CAPITULO 1 ..... **1**

INTRODUCCIÓN **1**

1.1 ANTECEDENTES 2

1.2 HIPÓTESIS 4

1.3 OBJETIVOS 4

1.3.1 OBJETIVO GENERAL *4*

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS *5*

1.4 JUSTIFICACIÓN 5

CAPITULO 2 ..... **7**

MARCO TEÓRICO **7**

2.1 AGUAS RESIDUALES 7

2.2 BIOFILTRACIÓN 7

2.3 *LANTANA CAMARA* 9

2.4 MODELOS PARA EL DISEÑO DE BIOFILTROS 9

2.4.1 MODELO DE ECKENFELDER *10*

2.4.2 MODELO DE OLESZKIEWICZ *10*

2.4.3 MODELO DE GERMAIN 11
2.4.4 MODELO DE VELZ 11
2.5 FACTORES QUE INFLUYEN EN LA EFICIENCIA DE TRATAMIENTO DE LOS BIOFILTROS 12
2.5.1 CARGA ORGÁNICA 12
2.5.2 CARGA HIDRAULICA 12
2.5.3 TEMPERATURA 13
2.5.4 POTENCIAL DE HIDRÓGENO (pH) 14
2.5.5 DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO (DQO) 15
2.6 CINÉTICA BACTERIANA 15
2.6.1 CURVA DE CRECIMIENTO 15
2.7 ANÁLISIS ESTADÍSTICO 16
2.7.1 VARIABLES CUANTITATIVAS 17
2.7.2 VARIABLES CUALITATIVAS O ATRIBUTOS 17
2.7.3 TRANSFORMACIÓN BOX COX 17
2.7.4 ANALISIS DE RESIDUOS 18

CAPITULO 3 20

METODOLOGÍA 20

3.1 INFORMACIÓN BASE. 20
3.2 DEPURACIÓN Y TRATAMIENTO DE LA INFORMACIÓN 21
3.2.1 IDENTIFICACIÓN DE DATOS ATÍPICOS. 21
3.2.2 DISTRIBUCIÓN TEMPORAL DE PARÁMETROS EVALUADOS. 22
3.3 APLICACIÓN DEL MODELO Y CÁLCULO DEL COEFICIENTE DE TRATABILIDAD 24
3.3.1 AJUSTE DEL MODELO 24
3.3.2 ANÁLISIS COMPARATIVO CON MODELOS BIBLIOGRÁFICOS 28

CAPITULO 4 30

RESULTADOS Y DISCUSIÓN 30

4.1 DEPURACIÓN DE LA BASE DE DATOS 30

4.1.1 MATERIAL FINO CON ESPINOS 30
4.1.2 MATERIAL GRUESO CON ESPINOS 37
4.1.3 MATERIAL GRUESO SIN ESPINOS 45
4.1.4 MATERIAL FINO SIN ESPINOS 52
4.2 TRATAMIENTO DE DATOS 59
4.2.1 ANÁLISIS DE pH Y TEMPERATURA 59
4.2.2 CARGA ORGÁNICA Y CARGA HIDRÁULICA SUPERFICIAL 62
4.3 AJUSTE DEL MODELO Y CÁLCULO DEL COEFICIENTE DE TRATABILIDAD 74
4.3.1 PRUEBA DE NORMALIDAD (TEST DE KOLMOGOROV - SMIRNOV 74
4.3.2 DETERMINACIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO 77
4.4 PROPUESTA DE MODELO MATEMÁTICO 80
4.5 APLICACIÓN DEL MODELO EN LA PLANTA PILOTO SUTAR-Q. 81
4.5.1 MODELO DE ECKENFELDER 83
4.5.2 MODELO DE OLESKIEWICZ 83
4.5.3 MODELO DE GERMAIN 84
4.5.4 MODELO DE VELZ 85
4.5.5 VARIABILIDAD DE PARÁMETROS 85
4.6 ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE MODELOS 87
4.7 DISCUSIÓN 89

CAPÍTULO 5 91

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 91

5.1 CONCLUSIONES 91
5.2 RECOMENDACIONES 92

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 93

ANEXOS 98

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Curva de crecimiento de microorganismos. 16
Figura 2. Distribuciones de homocedasticidad y heteroscedasticidad 19
Figura 3. Remoción DQO Fino con Espinos (%) por tiempo (semanas) 30
Figura 4. Remoción DQO Fino con Espinos (%) por tiempo (semanas) sin datos atípicos....34
*Figura 5. Carga hidráulica superficial Fino con Espinos (m3/m2*d) por Tiempo (semanas) 35*
*Figura 6. Carga orgánica volumétrica Fino con Espinos (kg DQO /m3*d) por Tiempo (semanas) 36*
Figura 7. Temperatura Fino con Espinos (ºC) por Tiempo (días)....37
Figura 8. pH Fino con Espinos por Tiempo (días) 37
Figura 9. Remoción DQO Grueso con Espinos (%) por tiempo (semanas) 38
Figura 10. Remoción DQO Grueso con Espinos (%) por tiempo (semanas) sin datos atípicos....42
*Figura 11. Carga hidráulica superficial Grueso con Espinos (m3/m2*d) por Tiempo (semanas) 43*
*Figura 12. Carga orgánica volumétrica Grueso con Espinos (kg DQO/m3*d) por Tiempo (semanas)....44*
Figura 13. Temperatura Grueso con Espinos (ºC) por Tiempo (días) 44
Figura 14. pH Grueso con Espinos por Tiempo (días) 45
Figura 15. Remoción de DQO grueso sin Espinos (%) por Tiempo (semanas) 45
Figura 16. Remoción DQO Grueso sin Espinos (%) por Tiempo (semanas) sin datos atípicos....49
*Figura 17. Carga Hidráulica (m3/m2*d) Grueso sin Espinos por Tiempo (semanas) 50*
*Figura 18. Carga Orgánica Volumétrica (kg DQO/m3*d) Grueso sin Espinos por Tiempo (semanas) 51*
Figura 19. pH Grueso sin Espinos por Tiempo (semanas)....51
Figura 20. Temperatura (°C) Grueso sin Espinos por Tiempo (semanas) 52

Figura 21. Remoción de DQO Fino sin Espinos (%) por Tiempo (semanas) 52
Figura 22. Remoción DQO Fino sin Espinos (%) por Tiempo (semanas) sin datos atípicos 56
*Figura 23. Carga Hidráulica (m3/m2*d) Fino sin Espinos por Tiempo (semanas) 57*
*Figura 24. Carga Orgánica Volumétrica (kg DQO/m3*d) Fino sin Espinos por Tiempo (semanas) 57*
Figura 25. pH Fino sin Espinos por Tiempo (semanas) 58
Figura 26. Temperatura (°C) Fino sin Espinos por Tiempo (semanas) 58
Figura 27. Gráfica de Box-Cox de Se/Sa 76
Figura 28. Residuos calculados respecto a los valores predichos 78
Figura 29. Análisis de residuos ordinarios de los k y n 80

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Categorización de la carga orgánica siguiendo las directrices de Metcalf y Eddy..... 12
Tabla 2 Categorización de la carga hidráulica superficial siguiendo las directrices de Metcalf y Eddy. 13
Tabla 3 Transformaciones Box-Cox. 18
Tabla 4 Características de las aguas residuales utilizadas. 21
Tabla 5 Estadísticos descriptivos Fino con Espinos 31
Tabla 6 Rangos de eficiencia de remoción de DQO en función del tiempo para el material fino con espinos 31
Tabla 7 Estadísticos descriptivos Fino con Espinos sin datos atípicos 35
Tabla 8 Estadísticos descriptivos Grueso con Espinos 38
Tabla 9 Rangos de eficiencia de remoción de DQO en función del tiempo para el material grueso con espinos 39
Tabla 10 Estadísticos descriptivos Grueso con Espinos sin datos atípicos 42
Tabla 11 Estadísticos descriptivos del material Grueso sin Espinos 46
Tabla 12 Rangos de Eficiencia de Remoción de DQO en función del tiempo para el material Grueso sin Espinos 46
Tabla 13 Estadísticos descriptivos del material Grueso sin Espinos sin datos atípicos 49
Tabla 14 Estadísticos descriptivos del material Fino sin Espinos..... 53
Tabla 15 Rangos de Eficiencia de Remoción de DQO en función del tiempo para el material Fino sin Espinos 53
Tabla 16 Estadísticos descriptivos del material Fino sin Espinos (sin datos atípicos) 56
Tabla 17 Estadísticos Descriptivos de datos de Temperatura 60
Tabla 18 Prueba de Kolmogorov-Smirnov para datos de Temperatura..... 60
Tabla 19 Prueba de Kolmogórov-Smirnov para datos de pH 61
Tabla 20. Estadísticos Descriptivos de datos de pH 62

Tabla 21 Rangos de Carga Orgánica e Hidráulica en función del tiempo para el material Fino sin Espinos 63
Tabla 22 Rangos de Carga Orgánica e Hidráulica en función del tiempo para el material Grueso sin Espinos 65
Tabla 23 Rangos de Carga Orgánica e Hidráulica en función del tiempo para el material Grueso con Espinos 68
Tabla 24 Rangos de Carga Orgánica e Hidráulica en función del tiempo para el material Fino con Espinos 71
Tabla 25 Kolmogorov-smirnov para cada edad de poda 74
Tabla 26 Kolmogorov-smirnov para el material unificado 75
Tabla 27 Prueba de Kolmogorov-Smirnov para los datos corregidos 76
Tabla 28 Determinación de las constantes K y n, para la variable dependiente Sa/Se 77
Tabla 29 Valores obtenidos de la regresión no lineal para K y n 79
Tabla 30 Evaluación de la varianza del análisis de residuos 80
Tabla 31 Dimensiones del biofiltro planta piloto SUTAR-Q. 81
Tabla 32 Caracterización del agua residual del biofiltro planta piloto SUTAR-Q 82
Tabla 33 Aplicación del modelo propuesto con los datos de campo 82
Tabla 34 Valores de la concentración de salida con la aplicación del Modelo de Eckenfelder del biofiltro de la planta piloto SUTAR-Q 83
Tabla 35 Valores para la aplicación del Modelo de Oleszkiewicz del biofiltro planta piloto SUTAR-Q 84
Tabla 36 Valores para la aplicación del Modelo de Germain del biofiltro planta piloto SUTAR-Q. 84
Tabla 37 Valores para la aplicación del Modelo de Velz del biofiltro planta piloto SUTAR-Q 85
Tabla 38 Prueba de Kolmogórov-Smirnov para datos de temperatura planta piloto SUTAR-Q 86
Tabla 39 Prueba de Kolmogorov-Smirnov para datos de pH planta piloto. 87

Tabla 40 Se (mg/L) calculado a través de los modelos bibliográficos 88
Tabla 41 % Error de la concentración de salida calculada con respecto a la medida 88

LISTA DE ANEXOS

ANEXO 1 Datos (Se/Sa) Transformados 99
ANEXO 2 Base de datos del proyecto “desarrollo de un sistema de biofiltración unifamiliar para el tratamiento de aguas residuales aplicado a la protección de quebradas SUTAR-Q, PIJ 17- 11”..... 103

RESUMEN

El presente estudio tiene como objetivo la determinación del coeficiente de tratabilidad de un biofiltro empacado con *Lantana camara* a partir de datos obtenidos en sus cuatro edades de poda (fino con espinos, grueso con espinos, fino sin espinos y grueso sin espinos) aplicado al tratamiento de aguas residuales domésticas.

Los análisis para la caracterización del agua residual real empleada en esta investigación se realizaron tanto en el afluente como en el efluente de los cuatro reactores a escala laboratorio, considerando ensayos semanales de Demanda Química de Oxígeno (DQO) y mediciones diarias de caudal, pH y temperatura, para cada uno de los cuatro reactores con su correspondiente empaque, asociado a la edad de poda del material.

Una vez generada la base de datos, se utilizaron los paquetes computacionales SPSS, Minitab y Excel para el tratamiento y análisis estadístico de los datos obtenidos en el período de evaluación de los reactores. Con la base de datos depurada se genera un modelo matemático que refleja el funcionamiento del biofiltro. Así mismo, se han empleado los modelos de Eckenfelder, Velz, Germain y Oleszkiewicz para ser aplicados a los datos y comparar los resultados de concentración del efluente del modelo ofrecido con los resultados de los modelos bibliográficos. Con el fin de validar el modelo obtenido con los datos de laboratorio, se incluyó el monitoreo de una planta piloto a escala real.

Los resultados del proceso reflejan que durante el período de evaluación los parámetros de pH y temperatura no presentan mayor variabilidad, por lo que no se incluyen como variables en el modelo matemático generado. El modelo propuesto tiene constantes de k=1,832 y n=0,541.

Al comparar los valores de DQO del efluente medidos con los modelos bibliográficos propuestos por Eckenfelder, Oleszkiewicz y Velz, las diferencias respecto al valor medido de DQO son superiores al 100%, mientras que con el modelo de Germain se obtiene una diferencia del 28%. El modelo matemático

propuesto en esta investigación alcanza a representar los resultados del tratamiento con el 15% de diferencia respecto a lo medido.

Palabras clave: biofiltro, filtro percolador, *Lantana camara*

ABSTRACT

The present study aims to determine the treatability coefficient of a biofilter packed with *Lantana camara* from data obtained in its four pruning ages (fine with thorns, coarse with thorns, fine without thorns and coarse without thorns) for the treatment of domestic wastewater. The analyzes carried out for the characterization of the wastewater used in this research have been carried out at the inlet of the biofilter for the tributaries and at the outlet for the effluents, thus executing Chemical Oxygen Demand (COD) tests and measurements of parameters such as the flow, pH and temperature for each pruning age and in a pilot plant for subsequent evaluation.

For this purpose, tools such as SPSS, Minitab and Excel have been used to treat the data obtained in the evaluation period and to determine a mathematical model that reflects the functioning of the biofilter. Likewise, the Eckenfelder, Velz, Germain and Oleszkiewicz models have been used to be applied to the data and to compare the effluent concentration results by the offered model with the results of the bibliographic models.

The results of the process reflect that during the evaluation period the pH and temperature parameters do not show greater variability and allow the optimal functioning of the biofilter, and the proposed model has constants of k = 1.832 and n = 0.541. With these constants, the COD values of the effluent are compared with the bibliographic models through the error, of which it is necessary that for the Eckenfelder, Oleszkiewicz and Velz models the errors with respect to the measured COD value are greater than 100%, and the Germain model has an error of 28% compared with the 15% of the model proposed in this research, with which it is concluded that the latter model that best fits the data set.

Keywords: biofilter, trickling filter, organic packaging, *Lantana camara*

CAPITULO 1
INTRODUCCIÓN

Los sistemas de tratamiento biológico constituyen una alternativa para depurar las aguas residuales basado en la capacidad que tienen los microorganismos para metabolizar y convertir la materia orgánica, en suspensión y disuelta, en tejido celular nuevo y diferentes gases (Mejía-López et al., 2017). Con la finalidad de adaptar esta opción de tratamiento a condiciones sociales y económicas viables en medios en donde resulta difícil pensar en la instalación de grandes estructuras o zonas en donde no se dispone de servicio de alcantarillado público, se han estudiado tecnologías no convencionales unifamiliares, como la aplicación de biofiltración con material de empaque orgánico, fácilmente accesible en la zona de implantación del sistema de tratamiento. (Reyes, 2016).

Por lo general, los asentamientos al borde de quebradas utilizan estas depresiones como depósitos informales de basura y escombros, lo que intensifica la contaminación y el riesgo de los residentes de exponerse a afecciones a la salud (PMDOT-DMQ, 2015). Adicionalmente, las áreas circundantes también se usan para descargar los desechos líquidos de los poblados, por no poseer accesibilidad al servicio de tratamiento de aguas residuales (Gómez & Cuvi, 2016). De hecho, el 60,3 % de municipios del Ecuador dispone el agua residual no tratada en los ríos, mientras que el 38,4 % lo dispone en quebradas, lo que evidencia la importancia de adoptar medidas de prevención, tratamiento y recuperación de estos ecosistemas, con el fin de mantener la disponibilidad, calidad y cantidad de agua, y con ello también proteger la flora y fauna que conviven en estos hábitats (INEC, 2017).

La implementación de sistemas de tratamiento que usan residuos orgánicos como medio filtrante para el tratamiento de las aguas residuales domésticas, responden a la necesidad de solucionar la problemática de contaminación de cuerpos receptores, mediante un sistema de tratamiento simple, eficiente, barato y accesible con los recursos disponibles en el entorno. Sin embargo, es necesario contar con

las bases de diseño asociados, ya que cada medio filtrante y tipo de agua a tratar, tienen características específicas que influyen en el desarrollo de la biomasa, y por ende en la eficiencia del tratamiento aplicado (Kaetzl et al., 2020).

Actualmente, el tratamiento de aguas residuales en estos sistemas no convencionales de tratamiento tiene limitaciones, principalmente por no tener definido los aspectos técnicos de su concepción, y su dimensionamiento se realiza con parámetros estimados, dando como resultado que las unidades construidas no logren la eficiencia esperada (Huamaní, 2018).

Si bien existen ecuaciones propuestas para el diseño de filtros percoladores, como el propuesto por National Research Counsil, el modelo General Brunce y Merkens, propuestas de: Velz, Rankin, Schulze, Eckenfelder, Germain, Galler y Gotas, Kincannon y Stover, Logan et al, entre otros; estas están basadas en coeficientes empíricos asociados al material de empaque (Romero Rojas, 2002).

En trabajos experimentales realizados por Moreno (2019) y Lara (2017), se estudia las bondades de la *Lantana cámara* como material de empaque en un sistema de biofiltración, logrando remociones entre el 69% y 73% en DQO, por lo que resulta atractiva la implementación de este medio filtrante en sistemas unifamiliares de biofiltración. Sin embargo, no existe bibliografía asociada con coeficientes de diseño, que permitan dimensionar el biofiltro con este empaque en particular, por lo que, el presente trabajo propone la determinación del coeficiente de tratabilidad con base de medida DQO, para aguas residuales domésticas, de un biofiltro utilizando como medio de soporte *Lantana camara.*

1.1 ANTECEDENTES

La selección del medio filtrante para un biofiltro es de suma importancia para asegurar la eficiencia del mismo, ya que; de acuerdo con Torres, et al. (2003) éste ocupa entre el 50% y el 70% de la altura total del reactor. Dado que se busca hacer de la biofiltración una tecnología de bajo costo, y se requieren grandes cantidades

de material destinado a utilizarse como medio filtrante, se prefiere utilizar materiales de fácil acceso y que se encuentren localmente disponibles.

Hasta la fecha se han estudiado medios filtrantes orgánicos como la cáscara de coco resultante de los procesos productivos que la generan como desecho para el tratamiento de aguas residuales provenientes de la industria camaronera con resultados de remoción aceptables. Así mismo se ha empleado el anillo de guadua para el tratamiento de las aguas mieles de la industria cafetera (Torres, Rodríguez & Uribe, 2003).

Por otro lado, también se han puesto a prueba materiales como la cáscara de plátano y de maracuyá en biofiltros destinados a reducir la concentración de metales pesados en aguas contaminadas (Espinoza & Nonato, 2019). Materiales como la fibra de coco y el aserrín han sido empleados en biofiltros que tratan aguas residuales domésticas (Reyes, 2016). La turba ha sido un material que también se ha empleado para el empaque de biofiltros (Garzón-Zúñiga, et al. 2012), la fibra de árbol de mezquite (Sosa, 2015), fibra de agave (Vigueras, 2012), y entre otros también la madera de árbol de poinciana enano, árbol de jacarandá (Garzón-Zúñiga, et al. 2012). Sin embargo, para estos filtros con los empaques mencionados los parámetros de diseño empleados no se establecen, sino que únicamente se expresan sus eficiencias al final de la investigación.

Además, la utilización de biofiltros empacados con residuos orgánicos de cáscara de arroz, cáscara de café y aserrín, cada uno por separado, para el tratamiento de aguas residuales de granjas porcinas, dio como resultado la remoción del 87% del DQO y el 52% del DBO_5 con la utilización de cáscara de arroz, del 86% del DQO y el 50% del DBO_5 con cáscara de café y del 86,5% del DQO y el 45% del DBO_5 con aserrín (Huamán, 2018)

También se tiene que la utilización de biofiltros empacados con astillas de madera de Mezquite (*Prosopis*) para el tratamiento de aguas residuales municipales, una vez estabilizado, se obtuvo una remoción promedio de DQO del 83%, mientras que para la DBO5 fue del 71% en condiciones aireadas (Sosa, 2015).

En Ecuador, la investigación realizada por Lara (2017) estimó la eficiencia en la remoción de Demanda Química de Oxígeno (DQO) en reactores a escala laboratorio, alimentados con agua residual sintética por el lapso de 67 días, utilizando como material de empaque bagazo de caña de azúcar, residuo de mora y *Lantana camara*. De los datos obtenidos durante el período de monitoreo se puede concluir que el material filtrante más eficiente es *Lantana camara*, que representa el 69% de remoción, mientras que los biofiltros para el bagazo de caña de azúcar y residuo de mora son 42% y 8%, respectivamente.

Además, la investigación realizada por Moreno, (2019), evaluó la influencia de la edad del resto de poda de Lantana cámara como material de empaque en un sistema de biofiltración para tratamiento de aguas residuales domésticas, obteniendo porcentajes de eficiencia de remoción cuando la carga hidráulica superficial es alta, teniendo al material fino sin espinos el que presenta mayor eficiencia (50,43%), seguido del material grueso con espinos (49,72%); para el material fino con espinos y grueso sin espinos se presenta eficiencias de 49,72% y 48,71% respectivamente.

1.2 HIPÓTESIS

El sistema de biofiltración con *Lantana camara* presenta un coeficiente de tratabilidad igual al presentado para la categoría madera como material de empaque.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO GENERAL

Determinar el coeficiente de tratabilidad de un sistema de biofiltración utilizando *Lantana camara* como lecho filtrante.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar la variación de los parámetros de control involucrados en el tratamiento del agua residual mediante un biofiltro empacado con *Lantana cámara*: Temperatura y pH, durante el tiempo de experimentación.

- Proponer un modelo matemático de diseño del biofiltro unifamiliar con *Lantana camara* como material de empaque.

- Evaluar la aplicación del modelo mediante la toma de muestras en campo para ser comparados con los datos teóricos.

1.4 JUSTIFICACIÓN

La implementación de sistemas de tratamiento que usan los residuos orgánicos como medio filtrante para el tratamiento de las aguas residuales domésticas en zonas rurales y márgenes de quebradas, responden a la necesidad de solucionar la problemática expuesta mediante un sistema de tratamiento simple, eficiente, barato, accesible y más ecológico con los recursos disponibles en el entorno, con las bases investigativas respectivas (Kaetzl et al., 2020).

El presente estudio plantea determinar el coeficiente de tratabilidad K de biofiltros que emplean como medio filtrante *Lantana camara*, con la finalidad de obtener información comparable con otro tipo de materiales, debido a que no existe bibliografía que indique esta constante para el tipo de material que se ha utilizado en este proyecto, y la mayoría de los valores de la constante de tratabilidad K que se indican en diferentes documentos no están normalizados, ya que este valor varía con multitud de condiciones locales y también está relacionado con la profundidad, por lo que los valores de la literatura deben emplearse con extremo cuidado (Metcalf & Eddy, 2000).

De este modo, se espera que los resultados obtenidos sirvan como base para futuras investigaciones asociadas al tratamiento de efluentes domésticos de viviendas unifamiliares en zonas adyacentes a quebradas, así como propuestas de mejora.

CAPITULO 2
MARCO TEÓRICO

2.1 AGUAS RESIDUALES

De acuerdo con el TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACION SECUNDARIA DE MEDIO AMBIENTE (TULSMA), las aguas residuales constituyen “las aguas de composición variada provenientes de las descargas de usos municipales, industriales, comerciales, de servicios agrícolas, pecuarios, domésticos, incluyendo fraccionamientos y en general de cualquier otro uso, que hayan sufrido degradación en su calidad original” (TULSMA, 2015).

2.2 BIOFILTRACIÓN

La biofiltración es un proceso basado en la utilización de un filtro percolador que contiene un lecho permeable de material orgánico (biofiltro), a través del cual circula el agua residual que se desea tratar de manera continua o intermitente. A medida que el agua residual se filtra a través del reactor, los microorganismos presentes en ella se adhieren alrededor del lecho hasta formar una película fija, denominada biopelícula (Jaramillo & Paredes, 2019). La actividad microbiológica es la responsable de la disminución de los contaminantes presentes en el agua residual, gracias al metabolismo de los microorganismos (Romero Ladino et al., 2017).

Un filtro percolador es un sistema de tratamiento biológico aerobio (Huamaní, 2018). La comunidad biológica presente en el biofiltro está conformada principalmente por bacterias aerobias, facultativas y anaerobias, acompañadas de protozoarios, hongos e incluso algas. Estas poblaciones sufren variaciones respecto a la profundidad del biofiltro y en función del pH, temperatura, cargas hidráulicas y orgánicas.

Los biofiltros poseen una zona aerobia y una anaerobia en la biopelícula. La parte aerobia la forman los microorganismos en contacto con el agua residual, la cual también contiene oxígeno, y la parte anaerobia está formada por los microorganismos en contacto con la superficie del lecho utilizado. (Reyes-Lara & Reyes-Mazzoco, 2019). A medida que los microorganismos crecen, también lo hace el grosor de la biopelícula, y la cantidad de oxígeno disponible se ingiere antes de que pueda adentrarse a través de la biopelícula. Es gracias a esto, que se produce un medio anaerobio en la proximidad con las paredes del lecho (Metcalf & Eddy, 2000).

En la biofiltración, mientras más carga orgánica esté sometida el biofiltro mayor será la relación alimento-microorganismos. Esto conlleva una tasa de crecimiento exponencial de las bacterias degradadoras del sustrato, terminando con una concentración menor del sustrato en el efluente. Está eficiencia de degradación es afectada por las condiciones a las cuales está sometida el biofiltro (Reyes-Lara & Reyes-Mazzoco, 2019).

Como resultado de no poseer una fuente externa de carbono celular los microorganismos ubicados en las paredes del lecho filtrante se encuentran en una fase de crecimiento endógena, y así pierden la capacidad de adherirse a la superficie del medio (Metcalf & Eddy, 2000). La biopelícula alcanza un punto máximo de adherencia debido a su espesor, después del cual se desprende del lecho para formar una nueva película fija, este fenómeno es conocido como “desgajamiento” o “arrastre” (S. Reyes-Lara y R. Reyes-Mazzoco), y está en función de la carga orgánica y la carga hidráulica. (Metcalf & Eddy, 2000).

Para el estudio de la degradación de la materia orgánica de una determinada agua residual, se han desarrollado varios modelos matemáticos específicos de acuerdo con los parámetros estudiados de cada autor, por lo que no existe un modelo universal para describir el funcionamiento de estas unidades de tratamiento (CONAGUA, 2014).

Teniendo en cuenta que en un biofiltro el agua mantiene una trayectoria vertical, con muy poco movimiento lateral, se puede mencionar que es característico de un proceso de flujo pistón, aunque la remoción de la materia orgánica está en función de las características morfológicas y composición química de cada tipo de lecho, se utilizan aproximaciones de modelos matemáticos empíricos (Romero Rojas, 2002).

2.3 *Lantana camara*

La *Lantana camara* es una planta nativa del continente americano, especialmente de América del Sur, es distinguida en la región por los siguientes nombres: filigrana, abre camino entre los más principales, pertenece a la familia Verbenaceae (Miguez et al., 2013). Sus características son: altura de crecimiento está entre 0,6 a 1,5 m, sus tallos distinguen cuatro recodos con espinas encorvas, sus hojas presentan una representación oval con peciolo corto y principalmente posee un olor intenso al machacar sus hojas (Matienzo et al., 2003).

Figura 1. *Lantana camara*
Elaboración propia

2.4 MODELOS PARA EL DISEÑO DE BIOFILTROS

Para el diseño de biofiltros no existe una ecuación global, y a lo largo de los años se han desarrollado varios modelos aplicables a su diseño y dimensionamiento, así como para describir los rendimientos de eliminación de los mismos.

2.4.1 MODELO DE ECKENFELDER

El modelo descrito por Eckenfelder (1963) sigue siendo en la actualidad usado como base para el diseño de estos filtros para el tratamiento de aguas residuales.

$$\frac{S_e}{S_a} = exp\,[-k_{20}Z\left(\frac{Q}{A}\right)^{-n}] \qquad \textit{Ecuación 1.}$$

Donde:

S_e= concentración total del efluente del filtro decantado, mg/L

S_a= concentración total del agua residual afluente al filtro, mg/L

K_{20}= constante de tratabilidad correspondiente a una profundidad del medio filtrantes a 20 °C, m/d

Z = profundidad del filtro, m

Q = caudal total aplicado al filtro sin tener en cuenta la recirculación, m^3/d

A = superficie del filtro, m^2

n = constante empírica

La relación Q/A se conoce como carga hidráulica superficial “q”, m^3/m^2*d

2.4.2 MODELO DE OLESZKIEWICZ

El modelo realizado por Oleszkiewicz es un modelo que involucra la carga orgánica volumétrica para evaluar las eficiencias de remoción de los filtros percoladores o de biofiltros, de donde se evidencia una relación inversamente proporcional entre ambos parámetros.

$$\frac{Se}{Sa} = e^{-k/L} \qquad \textit{Ecuación 2.}$$

Donde:

S_e = concentración del efluente, mg/L

S_a = concentración del afluente, mg/L

K = constante de tratabilidad, kg/m^2*d

L = carga orgánica volumétrica, kg/ m^3d

Para la Ecuación 2 se establece un coeficiente de tratabilidad teórico para madera de k = 0,02 (Romero Rojas, 2002).

2.4.3 MODELO DE GERMAIN

La fórmula propuesta por Germain, para filtros percoladores es la Ecuación 3. Se usa generalmente para el diseño de filtros de medio plástico con una constante empírica n=0,5. Si bien, no está asociado al uso de materiales orgánicos, se considera esta propuesta para establecer si la diferencia obtenida es significativa al usar un medio filtrante orgánico.

$$\frac{Se}{Sa} = e^{-kD/q^{0,5}} \qquad \textit{Ecuación 3.}$$

Donde:

S_e = concentración del efluente, mg/L

S_a = concentración del afluente, mg/L

K = constante de tratabilidad, que se debe deducir de estudios piloto, $m^{-0,5}/d^{-0,5}$

q = carga hidráulica, sin incluir recirculación, m^3/ m^2d

2.4.4 MODELO DE VELZ

Velz, en su formulación relaciona la concentración del efluente con la profundidad del filtro percolador de la siguiente manera:

$$\frac{Sd}{Sa} = 10^{-kD} \qquad \textit{Ecuación 4.}$$

Donde:

S_d = concentración removida en la profundidad D (m), mg/L

S_a = concentración del afluente, mg/L

K = constante de tratabilidad, d^{-1}

D = profundidad del filtro, m

2.5 FACTORES QUE INFLUYEN EN LA EFICIENCIA DE TRATAMIENTO DE LOS BIOFILTROS

2.5.1 CARGA ORGÁNICA

Los compuestos de carbono son estructuras químicas (moléculas) en las que el carbono está conectado con el hidrógeno y otros elementos (como azufre, oxígeno, nitrógeno, fósforo y cloro) (Rodríguez, Ruiz, Hidalgo y Delgado, 2019).

Entre mayor sea carga orgánica, mayor será la relación alimento: microorganismos, y más rápido crecerán las bacterias del sistema que consumen el sustrato. Con altas cargas orgánicas se puede tener una menor concentración de sustrato en la descarga del tratamiento, siempre que la aireación, composición de sustrato u otro factor, no se conviertan en limitantes (Reyes-Lara & Reyes-Mazzoco, 2019).

La tabla 1 muestra la categorización de la carga orgánica, según Metcalf y Eddy (2000)

Tabla 1
Categorización de la carga orgánica siguiendo las directrices de Metcalf y Eddy.

Elemento	Baja Carga	Carga Intermedia	Carga Alta	Muy alta Carga	De desbaste
Carga Orgánica, kg DBO_5/m^3*d	0,08 – 0,25	0,25 – 0,5	0,5 – 0,95	0,95 – 1,6	1,6 - 8

Fuente: Metcalf y Eddy (2000).

2.5.2 CARGA HIDRAULICA

Constituye el volumen de agua a tratar por metro cuadrado de superficie y por unidad de tiempo (m^3 / m^2 * d), y este origina las velocidades de arrastre de la biomasa (Rodríguez, Ruiz, Hidalgo y Delgado, 2019).

En un biofiltro, la eficiencia de eliminación de la DBO se mantiene constante si la carga hidráulica que se otorga al reactor es también constante, independientemente de la concentración en el afluente. Por otra parte, si se manejan valores fijos de DBO en el afluente, la eficiencia de eliminación de la DBO desciende si la carga hidráulica aumenta (Menéndez Gutiérrez & Pérez Olmo, 2007).

La tabla 2 muestra la categorización de la carga hidráulica superficial, según Metcalf y Eddy (2000)

Tabla 2
Categorización de la carga hidráulica superficial siguiendo las directrices de Metcalf y Eddy.

Elemento	Baja Carga	Carga Intermedia	Carga Alta
Carga Hidráulica m^3/m^2*d	0,03 – 3,5	3,5 – 9,4	9,4 – 37,55

Fuente: Metcalf y Eddy (2000).

Los filtros con lecho orgánico se caracterizan por tener cargas hidráulicas bajas entre valores de 0,05 a 0,3 m^3/m^2*d, en comparación con biofiltros de lecho inorgánico (Cóndor, 2019).

2.5.3 TEMPERATURA

La temperatura no influye únicamente en los procesos metabólicos de los microorganismos, sino que además tiene un efecto pronunciado sobre elementos como la tasa de intercambio gaseoso en el reactor (Metcalf & Eddy, 2000). Así, la disponibilidad de oxígeno en el agua disminuye, dada la disminución de su solubilidad. Por otro lado, la difusividad de los contaminantes presentes aumenta y el efecto reflejado por estas dos particularidades se muestra en expresiones

empíricas que relacionan la temperatura y la eficiencia del proceso de tratamiento (Menéndez Gutiérrez & Pérez Olmo, 2007).

Además, se evidencia que una disminución en la temperatura operativa del sistema generalmente conduce a una disminución en el crecimiento específico máximo y la tasa de utilización del sustrato con respecto a los microorganismos (Yu & Fang, 2003). Ademas, la presencia de altas temperaturas en el medio llegan a ocasionar daños a los microoorganismo al denaturalizar las enzimas, las proteinas transportadoras y varias proteinas presentes (Rodríguez, 2016).

2.5.4 POTENCIAL DE HIDRÓGENO (pH)

El pH del medio es uno de los factores principales para el crecimiento de los organismos de un área determinada, ya que la mayoría de estos no soportan niveles de pH de 9,5 o por debajo 4,0 (Horiuchi et al., 2002). Todos los microorganismos y/o bacterias se desarolllan óptimamente a niveles de pH cercanos a la neutralidad.

El pH afecta directamente a la tasa de crecimientos de los microorganismos, estos cambios de pH causan variaciones drásticas en los números relativos de las diversas especies presentes en una población heterogénea como la presente en un reactor, esto debido a que muchos aspectos del metabolismos microbiano está muy influenciados por estas variaciones de pH (Yu & Fang, 2003). Además, la varición de pH en un sistema en la que estén involucrados microoorganismos, afecta a la morfología y estructuras de las células presentes (Cervantes-Zepeda et al., 2011).

Si el medio en donde se desarrollan los microrganismos no logra mantenerse estable en valores de pH cercanos a la neutralidad, los microoorganismos no podrán sintetizar los respectivos nutrientes y conducirá a una disminución en sus actividades; al limitarse la entrada de iones y nutrientes será incapaz de dividirse y crecer, reduciéndose la tasa de crecimiento (Rodríguez, 2016).

2.5.5 DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO (DQO)

La demanda química de oxígeno es la cantidad de oxígeno que se requiere para oxidar la materia orgánica e inorgánica presente en una determinada muestra de agua, a través de medios químicos y llevarla a dióxido de carbono y agua. Cuanto mayor es la DQO más contaminada estará el agua analizada (Zambrano & Hinestroza, 1998).

2.6 CINÉTICA BACTERIANA

2.6.1 CURVA DE CRECIMIENTO

El crecimiento bacteriano es el aumento del número de células o de masas celulares por una determinada unidad de tiempo con relación a una población que se agrupo en miles de millones de células (Ortiz Texon et al., 2015). Este incremento se refleja en la curva de crecimiento de un cultivo microbiano que representa el logaritmo del número de células viables en función al tiempo de incubación. En la curva de crecimiento se definen cuatro etapas: fase de latencia, fase de crecimiento exponencial, fase estacionaria y la fase de muerte celular. Una curva típica de crecimiento de un cultivo de microorganismos se muestra en la figura 1 (Cobas et al., 2007).

a) *Fase de latencia*

Es el periodo en donde las células experimenta un ajuste o un tiempo de adaptación, debido al cambio de entorno y no hay crecimiento celular aparente (Rodríguez, 2016). Las células se encuentran en intensa actividad metabólica sintetizando nuevas enzimas y moléculas (Guerra & Reinoso, 2016). Esta fase consiste en un periodo de ajuste en el que las células se modifican por sí mismas con la finalidad de sacar ventajas del nuevo entorno induciendo o reprimiendo la síntesis y activadas de determinadas enzimas (Rodríguez, 2016).

b) *Fase Exponencial o Logarítmica*

Es la fase en la cual los microorganismos se multiplican hasta el máximo nivel, conforme a las condiciones en las que están sometidas, su potencial genético y tipo de medio (Guerra & Reinoso, 2016). En esta fase se encuentran en un estado fisiológico perfecto para estudios enzimáticos y estructurales (Rodriguez Molina & Chambi Rodriguez, 2019).

c) Fase Estacionaria

Resulta del agotamiento de los nutrientes disponibles que tiene como consecuencia la disminución de la velocidad de crecimiento, por lo ingresa a un periodo de equilibrio (Rodriguez Molina & Chambi Rodriguez, 2019).

d) Fase de Muerte Celular

El agotamiento de las reservas de energía induce la muerte de los microrganismos, provocando que el número de muertes supere el de las nuevas células, este estado sigue una tendencia exponencial (Guerra & Reinoso, 2016).

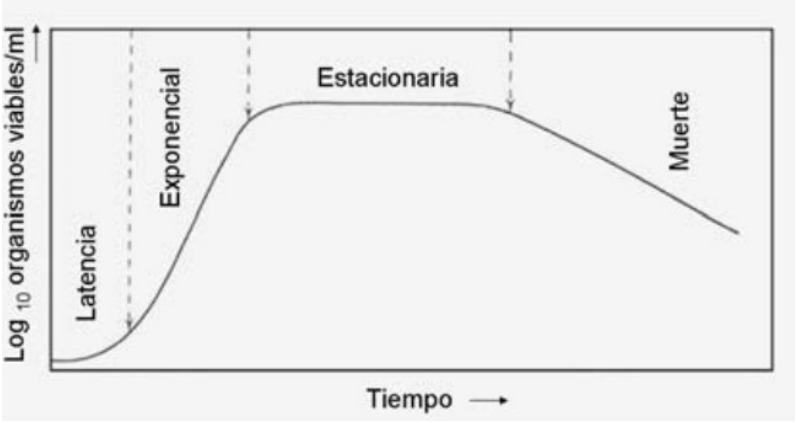

Figura 2. Curva de crecimiento de microorganismos.
Fuente: (Cobas et al., 2007)

2.7 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

En general un tratamiento estadístico de datos, involucra el considerar las siguientes alternativas en la generación de un modelo representativo de un fenómeno particular:

- **Regresión Lineal:** La regresión lineal se basa en un análisis estadístico de la comparación de variables con la finalidad de generar un modelo, para poder predecir valores a partir de variables (Leal-Cornejo et al., 2019).
- **Regresión no Lineal:** La regresión no lineal se emplea para estimar variables de modelo que no describe un modelo lineal, en la que se vincula una variable *Y* con determinadas variables de control o predictoras (Rivas M., 1993).

Para esto es necesario identificar y definir los conceptos presentados a continuación.

2.7.1 VARIABLES CUANTITATIVAS

Son variables estadísticas que pueden medirse numéricamente, es decir otorgan como resultado un valor numérico (Rendón-Macías et al., 2016).

- Discretas. Es una variable que solo puede tener un valor, es decir comprende un valor exacto.
- Continuas. Es una variable que puede tomar cualquier valor, intervalo o medición, es decir existen otros valores en medio de dos exactos.

2.7.2 VARIABLES CUALITATIVAS O ATRIBUTOS

Es un tipo de variable estadística que se caracteriza por la descripción de una características, atributos, cualidades o categorías no numéricas y pueden ser Nominales u Ordinales (Rendón-Macías et al., 2016).

2.7.3 TRANSFORMACIÓN BOX COX

Las transformaciones Box-Cox admiten la corrección de la forma de distribución como son la asimetría, curtosis entre otras presentes en una o más variables (de la Guía, 2014). Normalmente en un estudio de regresión es fundamental transformar la variable dependiente para lograr aditividad, errores normales y de varianza no variable (Castaño, 2011).

La estimación del parámetro λ se basa en el Método de Máximo Verosimilitud, el cual consiste en hallar un valor λ que minimice los residuos en relación a la suma de sus cuadrados, estos valores calculados varían entre -2 a 2 (Coronado & Molinares, 2005). El objetivo de la estimación de λ es hallar variables transformadas que se correspondan linealmente, es decir una relación no lineal, en la tabla 3 se muestran valores de λ con su respectiva expresión de transformación (de la Guía, 2014).

Tabla 3
Transformaciones Box-Cox.

λ	X'
-2	$\frac{1}{X^2}$
-1	$\frac{1}{X}$
-0,5	$\frac{1}{\sqrt{X}}$
0	Log (X)
0,5	$\sqrt{X}$
1	X
2	X^2

Fuente: (de la Guía, 2014)

2.7.4 ANALISIS DE RESIDUOS

La homocedasticidad consiste en determinar que las desviaciones de la función de regresión o perturbaciones presentes en una serie de datos que tienen la misma varianza (Montoya Valer, 2017). El gráfico de homocedasticidad es la representación a través de un diagrama de dispersión de los valores en los que en el eje de las abscisas se colocan los valores proyectados, mientas que en el eje de las ordenadas se colocan los errores al cuadrado, con la finalidad de determinar la existencia de un patrón tendencial y sesgos, el cual si prestan se concluye que existe heteroscedasticidad (Montoya Valer, 2017). En la figura 2 se muestran gráficas con una tendencia definida y no definida, lo que representa la existencia de homocedasticidad o heteroscedasticidad (Merayo, 2017).

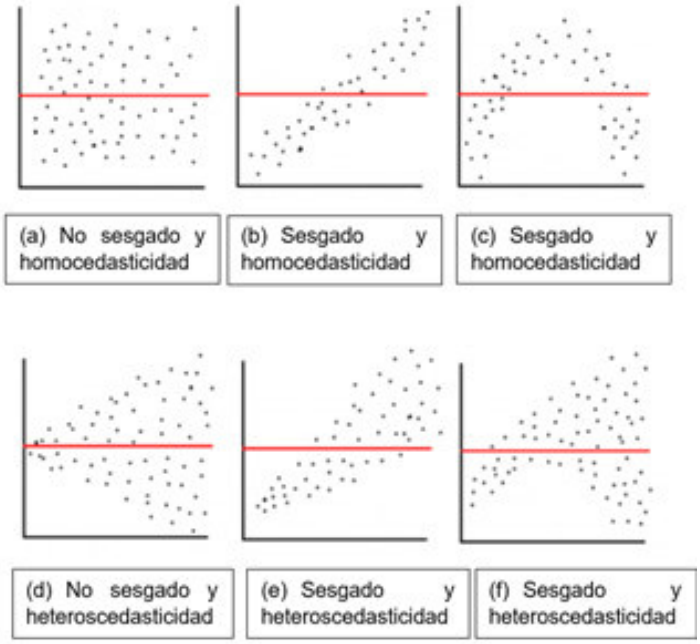

***Figura 3**. Distribuciones de homocedasticidad y heteroscedasticidad*
Fuente: (Merayo, 2017)

CAPITULO 3
METODOLOGÍA

El presente proyecto de investigación se desarrolló en tres etapas:

- Recopilación de información
- Depuración y tratamiento de la información
- Aplicación del modelo y cálculo del coeficiente de tratabilidad

3.1 INFORMACIÓN BASE.

El presente estudio utiliza los datos obtenidos de la fase experimental del proyecto *"Desarrollo de un Sistema de Biofiltración Unifamiliar para el Tratamiento de Aguas Residuales Aplicado a la Protección de Quebradas SUTAR-Q" PIJ 17-11"* desde las fechas correspondientes al 12 de febrero de 2019 al 16 de marzo de 2020.

Dentro de este periodo se evaluaron parámetros como Tiempo de Retención Hidráulica (TRH), Caudal (ml/min), Carga Hidráulica (m^3/m^2*d), Temperatura (ºC), pH y Demanda Química de Oxígeno (mg/L). Adicionalmente, se realizaron ensayos de Oxígeno Disuelto (mg/L), nutrientes y coliformes para cuatro biofiltros empacados con *Lantana camara* de cuatro edades de poda: fino con espinos, grueso con espinos, fino sin espinos y grueso sin espinos. Los datos de temperatura y pH se tomaron diariamente, y los datos de DQO se evaluaron semanalmente.

La caracterización del agua residual utilizada para la alimentación de los reactores, se muestra en la tabla 4.

Tabla 4
Características de las aguas residuales utilizadas.

Parámetro	Unidades	Valor
DQO	mg/L	527
Temperatura	ºC	17,5
pH	-	9,7
Sólidos Totales	mg/L	894,3
Coliformes fecales	NMP/100ml	$2,4x10^3$
Nitritos	mg/L	0,2
Nitratos	mg/L	24
Nitrógeno Amoniacal	mg/L	134
Fósforo total	mg/L	2,9

Fuente: (Moreno, 2019)

3.2 DEPURACIÓN Y TRATAMIENTO DE LA INFORMACIÓN.

La depuración de la base de datos se realizó con base en los datos correspondientes a la fase estabilizada de cada biofiltro clasificados por edad de poda (fino con espinos, grueso con espinos, fino sin espinos y grueso sin espinos), de acuerdo a los resultados obtenidos en fases previas a esta investigación (Moreno, 2019).

Se verificó la distribución espacial de los datos para cada edad de poda tomando en cuenta el porcentaje de remoción de DQO respecto al tiempo de estabilización, mediante un gráfico de barras. Adicionalmente, se incluye un análisis estadístico de los datos para determinar valores mínimos, máximos, media y desviación estándar, con la finalidad de explicar la distribución general de los datos analizados (Matus, 1995).

3.2.1 IDENTIFICACIÓN DE DATOS ATÍPICOS.

La identificación de datos atípicos a partir de la etapa de estabilización se realiza con el objetivo de discriminar la información obtenida durante el período de muestreo en laboratorio en donde se producen fallas del sistema. La determinación

y eliminación de los valores atípicos presentes en una base de datos permite disminuir el error en un análisis estadístico (Hernández Vargas, 2017). Estas fallas corresponden a taponamientos en el sistema de recolección y transporte de agua residual hacia el tanque de recolección del afluente, mal funcionamiento de las bombas conectadas a los biofiltros para la distribución del agua residual, fallas eléctricas que afecten las bombas de trasporte, entre otros.

La identificación de datos atípicos se realizó mediante la categorización de los valores del porcentaje de remoción de DQO para cada edad de poda, mediante los siguientes rangos: 21-40%, 41-60% y 61-80% (Moreno, 2019), dentro de los cuales se encuentran los valores de la base de datos conformada. Se elaboró una tabla de contingencias para cada edad de poda, dentro de las cuales se constan las eficiencias de remoción durante el tiempo de monitoreo, con la finalidad de analizar las variables del proceso, para la determinación de la distribución de los datos existentes entre ellas (Montero Lorenzo, 2007). Así mismo, se obtuvieron tablas que indican la frecuencia de los datos evaluados para cada rango de porcentaje de remoción de DQO establecido.

Con la información del recuento total de los rangos de remoción se identificaron las semanas en que los porcentajes de remoción de DQO corresponden al rango inferior de categorización (21-40%). Posterior a esta identificación, se eliminaron los datos ubicados dentro de este rango al considerarse como desviados de la tendencia central de los datos totales dentro de la fase estabilizada, y dentro de los cuales se identificaron fallas del sistema de depuración (Moreno, 2019).

Para verificar la influencia de la eliminación de los datos identificados como atípicos, se realizó una comparación entre los estadísticos descriptivos y los diagramas de barras de la base de datos con y sin datos atípicos para cada edad de poda. A partir de este análisis se conformó una nueva base de datos que no considera dichas irregularidades.

3.2.2 DISTRIBUCIÓN TEMPORAL DE PARÁMETROS EVALUADOS.

Para el análisis de la distribución temporal de los parámetros: carga hidráulica superficial (m^3/m^2*d), carga orgánica volumétrica (kg DQO/ m^3*d), pH y temperatura

(ºC) se realizaron gráficos de dispersión para cada edad de poda respecto al tiempo, con la finalidad de visualizar y analizar la distribución espacial de cada parámetro en el tiempo de evaluación (Méndez Rocha & Ortiz Gómez, 2012).

3.2.2.1 pH y Temperatura.

La determinación de la variabilidad de los datos obtenidos de temperatura y pH durante el período de monitoreo es importante para evaluar el funcionamiento del biofiltro (Cervantes-Zepeda et al., 2011). Para ello se obtuvo los estadísticos descriptivos de estos dos parámetros para los biofiltros fino con espinos, grueso con espinos, fino sin espinos y grueso con espinos, con el fin de obtener información de la distribución general de los datos a través de mínimos, máximos, media y desviación estándar.

Adicionalmente, los datos de temperatura y pH fueron sometidos a la prueba de Kolmogórov-Smirnov para la determinación el grado congruencia existente de los mismos (García Bellido et al., 2010). Esta prueba requiere la formulación de dos hipótesis, las cuales corresponderán a la hipótesis nula (o de homogeneidad) y la hipótesis alterna (o de diferencias). El nivel de significancia utilizado fue de 0,05. Si el nivel de significancia obtenido de la prueba aplicada es menor al 0,05 (<0,05) se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna, es decir; se acepta que los datos no son homogéneos entre sí (Diaz Pertegas & Pita Fernandez, 2003).

3.2.2.2 Tratamiento de datos: carga orgánica volumétrica y carga orgánica superficial

Mediante el uso de la herramienta de tablas cruzadas se evaluaron las cargas hidráulicas superficiales (m^3/m^2*d) y carga orgánica volumétrica (kg DQO/ m^3*d), al ser esta una forma de resumir los datos en una tabla que mide la relación existente entre estas variables (Rodríguez Jaume & Mora Catalá, 2001). Para cada carga se establecen rangos que los categorizan en valores bajos, medios o altos. Las tablas cruzadas relacionan el porcentaje de remoción de DQO en cada biofiltro, con sus respectivas cargas hidráulica y orgánica para posteriormente relacionarlos entre sí,

debido a que la carga orgánica afecta principalmente al desempeño del filtro, mientras que la carga hidráulica está directamente relacionada con la remoción del contaminante (Reyes-Lara & Reyes-Mazzoco, 2009).

Las categorías para la carga orgánica volumétrica corresponden a: 0,08-0,25 (muy bajo), 0,25-0,5 (bajo), 0,5-0,95 (medio), 0,96-1,6 (alto), >1,6 (de desbaste) (Metcalf & Eddy, 2000). Los rangos establecidos para carga hidráulica son: 0,03-3,5 (baja), 3,5-9,4 (media) y 9,4-35,55 (alta) (Cóndor, 2019) (Metcalf & Eddy, 2000). Del mismo modo, los rangos de eficiencia de remoción serán 21-40% (bajo), 41-60% (medio), 61-80% (alto) (Moreno, 2019).

Así mismo, se emplearon tablas bivariadas entre las variables carga hidráulica superficial, carga orgánica volumétrica y porcentaje de remoción de DQO para cada edad de poda con el fin de analizar la linealidad entre ellas (Rosales Arriaga, 2011). Las tablas además incluyen el cálculo del coeficiente de correlación de Pearson para el análisis de la distribución normal y el cálculo del coeficiente de correlación de Spearman para el estudio de distribuciones no normales, con la finalidad de evaluar el grado de asociación entre las variables descritas (Restrepo & González, 2007). Conjuntamente, se ha establecido un análisis comparativo entre ambas correlaciones. Si el nivel de significancia obtenido es mayor a 0,05 las variables no están correlacionadas, por lo contario se asume que existe asociación entre las variables analizadas (Quiroz Papa de García, 2003).

3.3 APLICACIÓN DEL MODELO Y CÁLCULO DEL COEFICIENTE DE TRATABILIDAD.

3.3.1 AJUSTE DEL MODELO

Con el fin de obtener un modelo que relacione la reducción de concentración en el efluente y el afluente, las características propias del medio, y parámetros como la carga hidráulica y la profundidad del biofiltro se busca obtener una formulación, tal como las propuestas por Eckenfelder, Germain, Velz, Oleszkiewicz entre otros autores (Ramalho, 2002). Para estas formulaciones, además se toman en cuenta

los supuestos de que el filtro funciona como un reactor de tipo flujo pistón y sigue una cinética de primer orden (Romero Rojas, 2002).

Para ajustar un modelo a los datos experimentales de un biofiltro empacado con *Lantana camara* se trabajó a partir de la ecuación que describe el comportamiento de un filtro percolador desde los dos supuestos anteriormente mencionados. Se tiene (Romero Rojas, 2002):

$$\frac{dS}{dt} = -cS \qquad \textit{Ecuación 5.}$$

Donde:

S= concentración de sustrato en mg/L

c= constante de remoción de sustrato en d^{-1}

t= tiempo de retención en días.

Integrando la Ecuación 5. se tiene:

$$\int_{Sa}^{Se} \frac{dS}{S} = -c \int_0^t dt \qquad \textit{Ecuación 6.}$$

$$\frac{Se}{Sa} = e^{-ct} \qquad \textit{Ecuación 7}$$

Donde:

Se= DQO del efluente en mg/L

Sa= DQO del afluente en mg/L

El tiempo de retención, para este análisis corresponde a la ecuación:

$$t = \frac{CD}{q^n} \qquad \textit{Ecuación 8.}$$

Donde:

D= profundidad del filtro en metros

q= carga hidráulica superficial en m/d

C y n= constantes dependientes del medio.

Por lo tanto, reemplazando la ecuación del tiempo de retención en la Ecuación 7., se obtiene la ecuación de la cual partirá el ajuste del modelo de esta investigación:

$$\frac{Se}{Sa} = e^{\frac{-KD}{q^n}} \qquad \textit{Ecuación 9.}$$

Aquí, la constante K corresponde a la constante modificada de remoción de sustrato, producto de las constantes cC en la ecuación, en $(m/d)^n$ (Ramalho, 2002; Romero Rojas, 2002).

De la Ecuación 9. se identifican varias variables, entre las cuales las constantes a determinar son K y n a partir de los datos obtenidos del proyecto PIJ:1711 SUTAR-Q. Se realizó un tratamiento estadístico de los datos para las cuatro edades de poda disponibles: fino con espinos, grueso con espinos, fino sin espinos y grueso sin espinos. Mediante el uso de la herramienta estadística SPSS se evaluó la normalidad de la relación Se/Sa en cada edad de poda, correspondiente a la variable dependiente de la ecuación obtenida mediante el test de Kolmogórov-Smirnov (García Bellido et al., 2010). Posterior a esta evaluación y dependiendo de los resultados obtenidos se continuó a unificar la base de datos con el fin de obtener un solo valor de las constantes K y n para el biofiltro empacado con *Lantana camara.* La base de datos unificada también deberá ser sometida a la prueba de normalidad con el fin de conocer la uniformidad de los datos.

Si se llega a determinar que la nueva base de datos conformada no es uniforme ni se ajusta a una curva normal, se deberá hacer uso de la transformación Box-Cox para corregir la forma de la distribución de los datos (de la Guía, 2014; Olivier & M. Norberg, 2010) y transformarlos a una distribución normal. Una vez realizada la transformación, los datos permitirán interpretar adecuadamente los resultados a posteriori (Osborne, 2003). La herramienta estadística Minitab permite lograr esta transformación eficazmente. Se deberá realizar una nueva evaluación de la normalidad de los datos transformados conforme al valor de λ obtenido de la transformación para constatar que se han corregido eficientemente.

Con base en la forma de la Ecuación 9., se ejecutó una regresión no lineal en SPSS, donde la variable dependiente es la relación Se/Sa y la forma de la ecuación corresponde a e^{-kD/q^n}. La profundidad del filtro es de 0.6 m. Los valores de partida tanto para K como para n fueron de cero.

Una vez obtenidos los valores de K y n, se determinó el valor de los residuos ordinarios del modelo, a través de la resta entre los valores observados y los valores predichos del modelo (Hernández & López, 2020) y a continuación se realizó un gráfico de residuos versus valores predichos para evaluar la validez del modelo. Con el gráfico de residuos se busca encontrar una varianza constante en los residuos a través de una deducción visual. Una gráfica de residuos con varianza constante, contiene los puntos dispersos de manera aleatoria alrededor del eje x, como una nube de puntos sin un patrón identificable o determinado (Carollo & Pateiro, 2011; Hernández & López, 2020).

Si el gráfico de residuos no presenta ningún patrón asociado, o alguna tendencia marcada, o a su vez la presencia de datos que se desvían de las observaciones el modelo se acepta como válido (Merayo, 2017; Rivas, 2010). Adicional al análisis gráfico, se incluyó un test de análisis de varianza para el conjunto de datos analizado (ANOVA) con un valor de significancia de α=0,05. La hipótesis nula para el análisis de varianzas corresponde a que las varianzas son estadísticamente iguales, y por el contrario la hipótesis alterna describe que la varianza no es constante (Montes, 2004). Con un resultado del p-valor mayor a 0,05 se acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alterna (Minitab, 2019a; Montes, 2004). Si se observa la presencia de datos atípicos en el gráfico de residuos ordinarios, se procederá a eliminarlos y posteriormente, se deberá ajustar nuevamente el modelo de regresión no lineal mediante el mismo procedimiento (Minitab, 2019b). Los valores obtenidos de la nueva regresión no lineal serán los correspondientes a las constantes K y n para el biofiltro empacado con *Lantana camara.*

3.3.2 ANÁLISIS COMPARATIVO CON MODELOS BIBLIOGRÁFICOS.

Con los modelos bibliográficos seleccionados: Modelo de Eckenfelder, Modelo de Velz, Modelo de Oleszkiewicz y el Modelo de Germain, se calcula la concentración de salida de DQO (mg/l), utilizando los datos obtenidos de la fase experimental del proyecto *"Desarrollo de un Sistema de Biofiltración Unifamiliar para el Tratamiento de Aguas Residuales Aplicado a la Protección de Quebradas SUTAR-Q" PIJ 17-11"* desde las fechas correspondientes al 12 de febrero de 2019 al 16 de marzo de 2020 y los datos de sus respectivas constantes "k" propias de cada modelo, con la finalidad de estimar el error de ajuste del modelo al comprar con el valor real medido en laboratorio en base a la ecuación 10.

$$\%Error = \frac{Valor\ Calculado - Valor\ Medido}{Valor\ medido} x\ 100\% \quad \textit{Ecuación 10.}$$

3.3.2.1 Modelo de Eckenfelder

Del modelo de Eckenfelder se efectuará un despeje sencillo de la concentración de salida S_e (mg/l) del que se obtiene:

$$S_e = S_a * exp\left[-k_{20} Z \left(\frac{Q}{A}\right)^{-n}\right] \quad \textit{Ecuación 11.}$$

3.3.2.2 Modelo de Velz.

Del modelo de Velz se efectúa un despeje sencillo del coeficiente k del que se obtiene:

$$Sd = Sa - Sa * 10^{-kD} \quad \textit{Ecuación 12.}$$

3.3.2.3 Modelo de Oleszkiewicz.

Para la aplicación de este modelo es necesario poseer el dato de la carga orgánica volumétrica que entra en el biofiltro expresada en kg/m^3*d. Al igual que en el modelo

de Eckenfelder, para el cálculo del Se se procederá al despeje de la ecuación del modelo de Oleszkiewicz, la cual se obtiene la siguiente:

$$Se = Sa * e^{-k/L} \quad \textit{Ecuación 13.}$$

3.3.2.4 Modelo de Germain.

El modelo de Germain es muy similar al modelo de Eckenfelder, con la variación de que ofrece un valor de n=0,5. Se toma en cuenta además que los biofiltros evaluados no poseen un flujo de recirculación. Dado que ya se cuenta con el valor de "n" es necesario únicamente efectuar un despeje simple del modelo para determinar el valor de Se. Se obtiene entonces:

$$Se = Sa * e^{-kD/q^{0,5}} \quad \textit{Ecuación 14.}$$

CAPITULO 4

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 DEPURACIÓN DE LA BASE DE DATOS

4.1.1 MATERIAL FINO CON ESPINOS

La etapa de estabilización en el biofiltro empacado con material fino con espinos se presenta a partir de la semana 13 de evaluación del biofiltro (Moreno, 2019). De acuerdo con el autor, este análisis está basado en la obtención de eficiencias de remoción de DQO superiores al 40%, donde se indica que previo a este período las oscilaciones en la eficiencia de remoción fueron altas, presentando incluso valores negativos. La figura 3 muestra el comportamiento del biofiltro empacado con material fino con espinos a partir del período de estabilización hasta el final de la etapa de monitoreo en laboratorio.

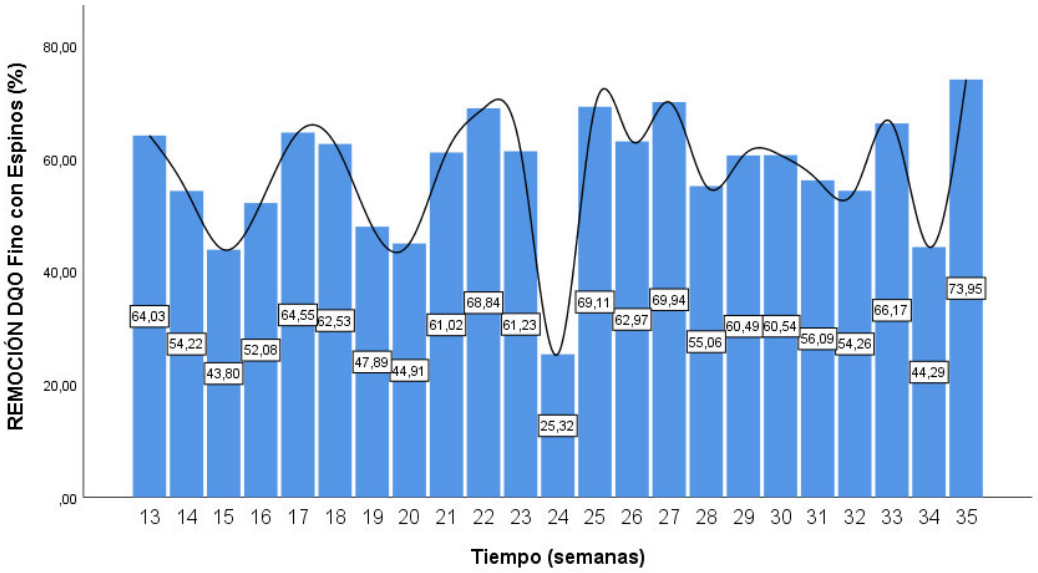

Figura 4. Remoción DQO Fino con Espinos (%) por tiempo (semanas)

Los estadísticos descriptivos del material fino con espinos evaluado en las semanas 13 a la 35 muestran a continuación en la tabla 5.

Tabla 5
Estadísticos descriptivos Fino con Espinos

	N	Mínimo	Máximo	Media	Desv. Desviación
REMOCIÓN DQO Fino con Espinos (%)	23	25,32	73,95	57,53	11,00

Durante el periodo evaluado, desde la semana 13 hasta la 35 del material fino con espinos se identifica que el dato correspondiente a la semana 24, en el cual el recuento de los valores del porcentaje de remoción de DQO respecto a la distribución general de los datos en los rangos de 21-40%, 41-60% y 61-80% es del 4,3% para el rango de eficiencia más bajo en comparación con el 95,6% en los rangos superiores al 41%. Este análisis se ve reflejado en la tabla 6. Adicionalmente, la distribución gráfica de los valores del porcentaje de remoción de DQO (figura 3) indica el fuerte descenso de la curva en la semana 24 en relación a los demás, por lo cual se considera este valor como dato atípico dentro de la base de datos y no será considerado.

Tabla 6
Rangos de eficiencia de remoción de DQO en función del tiempo para el material fino con espinos

			% de Remoción FC			Total
			21-40	41-60	61-80	
Tiempo (semanas)	**13**	**Recuento**	0	0	1	1
		% del total	0,0%	0,0%	4,3%	4,3%
	14	**Recuento**	0	1	0	1
		% del total	0,0%	4,3%	0,0%	4,3%

Tabla 6 (Continuación)

Rangos de eficiencia de remoción de DQO en función del tiempo para el material fino con espinos

	15	**Recuento**	0	1	0	1
		% del total	0,0%	4,3%	0,0%	4,3%
	16	**Recuento**	0	1	0	1
		% del total	0,0%	4,3%	0,0%	4,3%
	17	**Recuento**	0	0	1	1
		% del total	0,0%	0,0%	4,3%	4,3%
	18	**Recuento**	0	0	1	1
		% del total	0,0%	0,0%	4,3%	4,3%
	19	**Recuento**	0	1	0	1
		% del total	0,0%	4,3%	0,0%	4,3%
	20	**Recuento**	0	1	0	1
		% del total	0,0%	4,3%	0,0%	4,3%
	21	**Recuento**	0	0	1	1
		% del total	0,0%	0,0%	4,3%	4,3%
	22	**Recuento**	0	0	1	1
		% del total	0,0%	0,0%	4,3%	4,3%
	23	**Recuento**	0	0	1	1
		% del total	0,0%	0,0%	4,3%	4,3%
	24	**Recuento**	1	0	0	1
		% del total	4,3%	0,0%	0,0%	4,3%

Tabla 6 (Continuación)

Rangos de eficiencia de remoción de DQO en función del tiempo para el material fino con espinos

	25	**Recuento**	0	0	1	1
		% del total	0,0%	0,0%	4,3%	4,3%
	26	**Recuento**	0	0	1	1
		% del total	0,0%	0,0%	4,3%	4,3%
	27	**Recuento**	0	0	1	1
		% del total	0,0%	0,0%	4,3%	4,3%
	28	**Recuento**	0	1	0	1
		% del total	0,0%	4,3%	0,0%	4,3%
	29	**Recuento**	0	0	1	1
		% del total	0,0%	0,0%	4,3%	4,3%
	30	**Recuento**	0	0	1	1
		% del total	0,0%	0,0%	4,3%	4,3%
	31	**Recuento**	0	1	0	1
		% del total	0,0%	4,3%	0,0%	4,3%
	32	**Recuento**	0	1	0	1
		% del total	0,0%	4,3%	0,0%	4,3%
	33	**Recuento**	0	0	1	1
		% del total	0,0%	0,0%	4,3%	4,3%
	34	**Recuento**	0	1	0	1
		% del total	0,0%	4,3%	0,0%	4,3%

Tabla 6 (Continuación)

Rangos de eficiencia de remoción de DQO en función del tiempo para el material fino con espinos

	35	**Recuento**	0	0	1	1
		% del total	0,0%	0,0%	4,3%	4,3%
Total		**Recuento**	1	9	13	23
		% del total	4,3%	39,1%	56,5%	100,0 %

Los datos retirados para el material fino con espinos corresponden a aquellos tomados en la semana 24. La curva generada de porcentaje de remoción de DQO vs tiempo en semanas se indica en la figura 4.

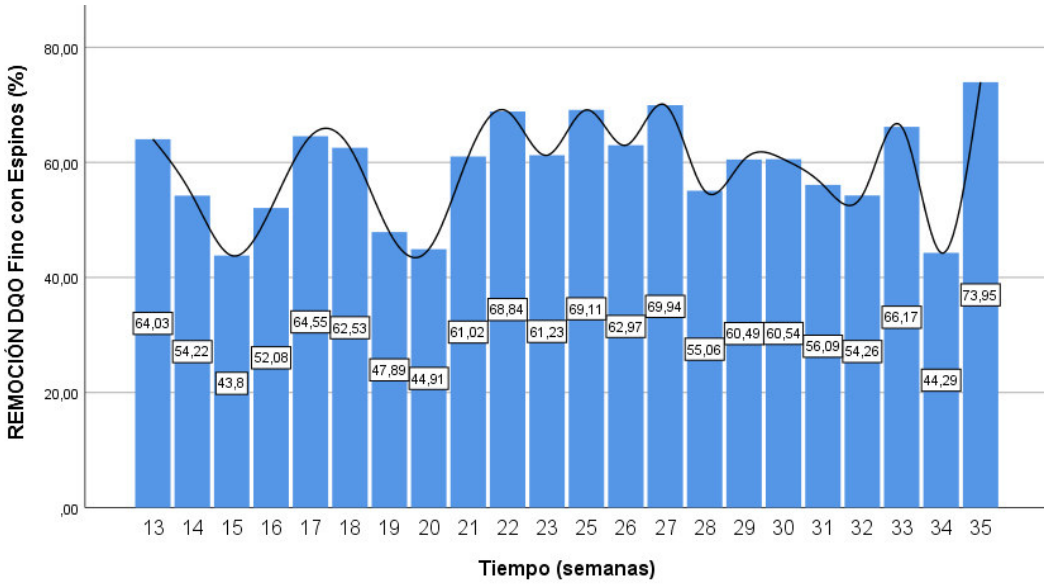

Figura 5. Remoción DQO Fino con Espinos (%) por tiempo (semanas) sin datos atípicos

Los estadísticos descriptivos de los datos obtenidos se muestran en la tabla 7.

Tabla 7
Estadísticos descriptivos Fino con Espinos sin datos atípicos

	N	Mínimo	Máximo	Media	Desv. Desviación
REMOCIÓN DQO Fino con Espinos (%)	22	43,80	73,95	59,00	8,67

Los estadísticos descriptivos del material fino con espinos muestran que el porcentaje mínimo de remoción de DQO es del 43,8% comparado con el 25,32% sin la eliminación del valor de la semana 24 en que ocurren fallas del sistema. Así mismo, el valor de la media de los datos ajustados es de 59,00 en relación a una media de 57,53 y una desviación estándar de 8,67 respecto a una de 11,00 de los datos no ajustados. Debido a que las variaciones de la media no son mayores y la desviación de los datos disminuye, se considera el análisis realizado como correcto.

A continuación, la figura 5 evidencia los valores de cargas hidráulicas aplicadas en el biofiltro empacado con material fino con espinos a lo largo del período de evaluación del mismo. La dispersión de los datos indica que desde el inicio del periodo estabilizado y con excepción de la semana 13, los valores de carga hidráulica son de hasta 0,5 m^3/m^2*d, aproximadamente. Posteriormente, se produce un aumento de carga desde la semana 25, evidenciándose cargas hidráulicas entre 1 $m^3/m^{2.}$*d y 2 m^3/m^2*d hasta el final del período de evaluación.

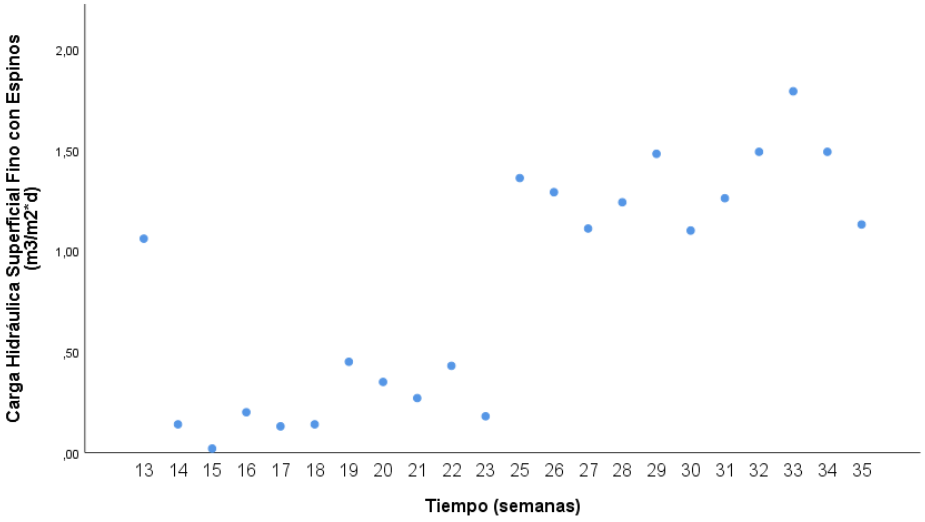

Figura 6. Carga hidráulica superficial Fino con Espinos (m^3/m^2*d)

Los valores de carga orgánica volumétrica empleados desde la semana 13 hasta la semana 35 del biofiltro fino con espinos se indican en la figura 6. Se evidencia que hasta la semana 25 de evaluación las cargas orgánicas se mantienen por debajo de 1 kg DQO/m^3*d, aproximadamente. Por lo contrario, en la semana 26 se produce un incremento que alcanza alrededor de 4 kg DQO/m^3*d, para posteriormente descender a valores entre 1 y 2,5 kg DQO/m^3*d desde las semanas 27 hasta la 35.

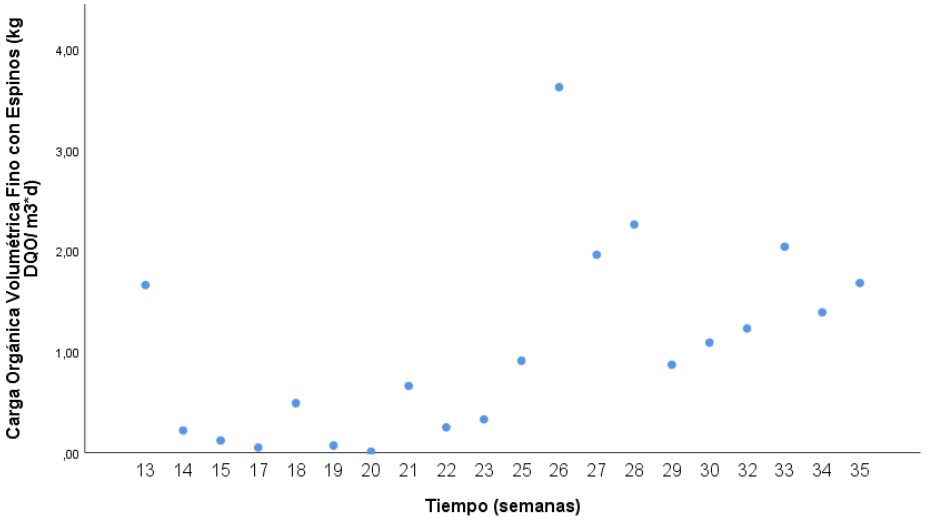

Figura 7. Carga orgánica volumétrica Fino con Espinos (kg DQO /m3*d)

Durante el período estabilizado del biofiltro fino con espinos se recopilaron datos de temperatura y pH diariamente. Los datos de temperatura indican rangos de operación entre los 15 y 22 º C, ubicándose la mayor parte de ellos entre los 18 y 20 ºC. Así mismo, los valores obtenidos de pH muestran datos entre 7,5 y 9,5; ubicándose la mayor cantidad de ellos en un rango de 8,5 a 9 aproximadamente (figura 7, figura 8).

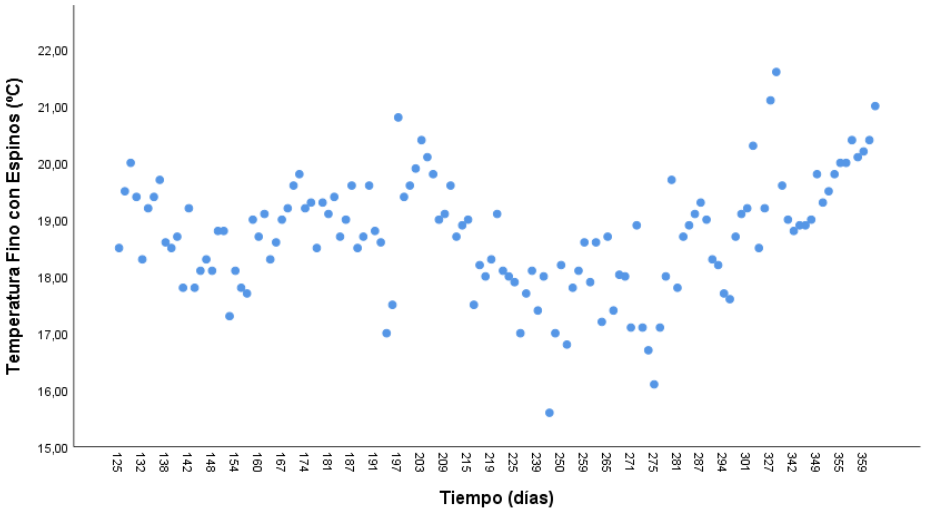

Figura 8. Temperatura Fino con Espinos (ºC) por Tiempo (días)

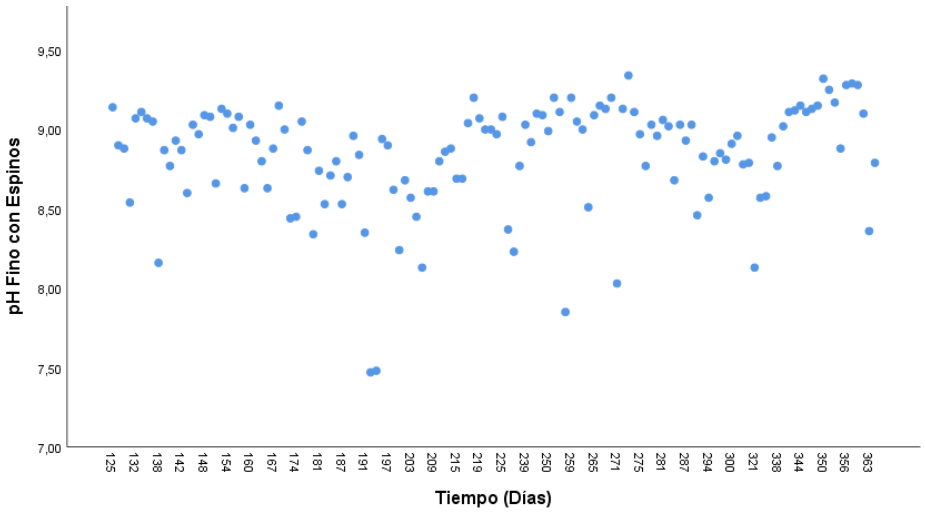

Figura 9. pH Fino con Espinos por Tiempo (días)

4.1.2 MATERIAL GRUESO CON ESPINOS

La etapa de estabilización en el biofiltro empacado con material grueso con espinos corresponde a la semana 12 de evaluación del biofiltro, basado en la obtención de eficiencias de remoción de DQO del biofiltro superiores al 40% (Moreno, 2019). En la figura 9 se muestra el comportamiento del biofiltro empacado con material grueso

con espinos desde el período de estabilización hasta el final de la etapa de monitoreo en laboratorio, correspondiente a la semana 34.

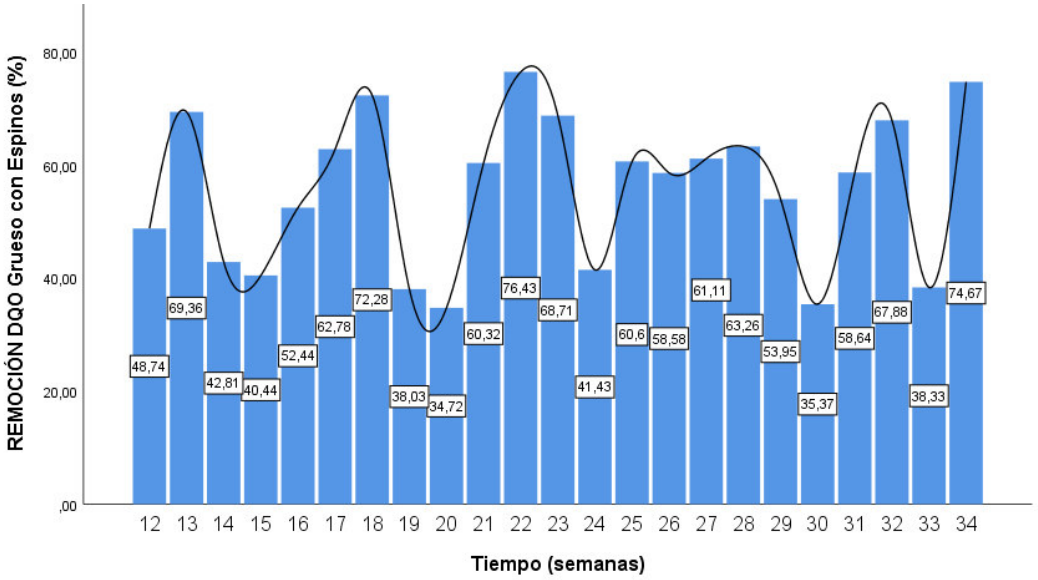

Figura 10. Remoción DQO Grueso con Espinos (%) por tiempo (semanas)

Los estadísticos descriptivos del material grueso con espinos correspondientes a las semanas 12 a la 34 se encuentran reflejados en la tabla 8.

Tabla 8
Estadísticos descriptivos Grueso con Espinos

	N	Mínimo	Máximo	Media	Desv. Desviación
REMOCIÓN DQO Grueso con Espinos (%)	23	34,72	76,43	55,69	13,31

La evaluación del biofiltro empacado con material grueso con espinos desde la semana 12 hasta la 34, correspondiente al período estabilizado, muestra datos en los cuales el recuento de los valores del porcentaje de remoción de DQO respecto a la distribución general de los valores en los rangos de 21-40%, 41-60% y 61-80% es del 17,4% para el rango de eficiencia más bajo en comparación con porcentaje restante ubicado en los rangos superiores al 41%. De acuerdo con la tabla 9, estos

datos son aquellos determinados en las semanas 19, 20, 30 y 33. Así mismo, la distribución gráfica del porcentaje de remoción de DQO (figura 9) indica descensos en las semanas mencionadas, por lo cual se consideran estos valores como datos atípicos dentro de la base de datos.

Tabla 9
Rangos de eficiencia de remoción de DQO en función del tiempo para el material grueso con espinos

			% de Remoción GC			Total
			21-40	41-60	61-80	
Tiempo (semanas)	**12**	**Recuento**	0	1	0	1
		% del total	0,0%	4,3%	0,0%	4,3%
	13	**Recuento**	0	0	1	1
		% del total	0,0%	0,0%	4,3%	4,3%
	14	**Recuento**	0	1	0	1
		% del total	0,0%	4,3%	0,0%	4,3%
	15	**Recuento**	0	1	0	1
		% del total	0,0%	4,3%	0,0%	4,3%
	16	**Recuento**	0	1	0	1
		% del total	0,0%	4,3%	0,0%	4,3%
	17	**Recuento**	0	0	1	1
		% del total	0,0%	0,0%	4,3%	4,3%
	18	**Recuento**	0	0	1	1
		% del total	0,0%	0,0%	4,3%	4,3%
	19	**Recuento**	1	0	0	1
		% del total	4,3%	0,0%	0,0%	4,3%
	20	**Recuento**	1	0	0	1

Tabla 9 (Continuación)

Rangos de eficiencia de remoción de DQO en función del tiempo para el material grueso con espinos

		% del total	4,3%	0,0%	0,0%	4,3%
	21	**Recuento**	0	0	1	1
		% del total	0,0%	0,0%	4,3%	4,3%
	22	**Recuento**	0	0	1	1
		% del total	0,0%	0,0%	4,3%	4,3%
	23	**Recuento**	0	0	1	1
		% del total	0,0%	0,0%	4,3%	4,3%
	24	**Recuento**	0	1	0	1
		% del total	0,0%	4,3%	0,0%	4,3%
	25	**Recuento**	0	0	1	1
		% del total	0,0%	0,0%	4,3%	4,3%
	26	**Recuento**	0	1	0	1
		% del total	0,0%	4,3%	0,0%	4,3%
	27	**Recuento**	0	0	1	1
		% del total	0,0%	0,0%	4,3%	4,3%
	28	**Recuento**	0	0	1	1
		% del total	0,0%	0,0%	4,3%	4,3%
	29	**Recuento**	0	1	0	1
		% del total	0,0%	4,3%	0,0%	4,3%
	30	**Recuento**	1	0	0	1

Tabla 9 (Continuación)

Rangos de eficiencia de remoción de DQO en función del tiempo para el material grueso con espinos

		% del total	4,3%	0,0%	0,0%	4,3%
	31	**Recuento**	0	1	0	1
		% del total	0,0%	4,3%	0,0%	4,3%
	32	**Recuento**	0	0	1	1
		% del total	0,0%	0,0%	4,3%	4,3%
	33	**Recuento**	1	0	0	1
		% del total	4,3%	0,0%	0,0%	4,3%
	34	**Recuento**	0	0	1	1
		% del total	0,0%	0,0%	4,3%	4,3%
Total		**Recuento**	4	8	11	23
		% del total	17,4%	34,8%	47,8%	100,0%

Los datos no considerados para el material fino con espinos corresponden a aquellos tomados en las semanas 19, 20, 30 y 33. La curva generada de porcentaje de remoción de DQO vs tiempo en semanas para este material se indica en la figura 10.

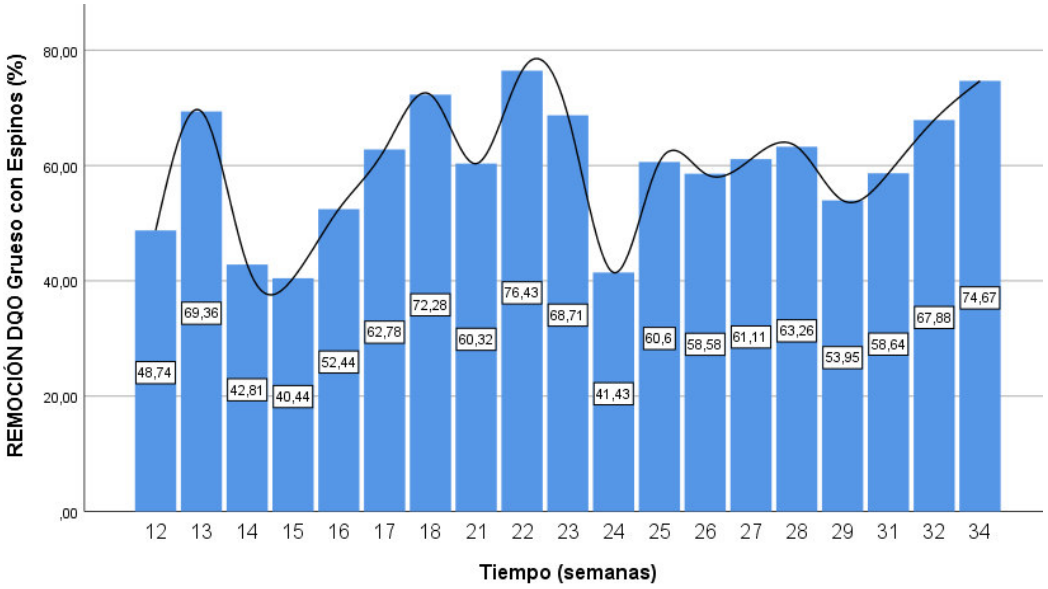

Figura 11. Remoción DQO Grueso con Espinos (%) por tiempo (semanas) sin datos atípicos

Los estadísticos descriptivos de los datos obtenidos para el material grueso con espinos se muestran en la tabla 10.

Tabla 10
Estadísticos descriptivos Grueso con Espinos sin datos atípicos

	N	Mínimo	Máximo	Media	Desv. Desviación
REMOCIÓN DQO Grueso con Espinos (%)	19	40,44	76,43	59,71	10,87

Los estadísticos descriptivos del material grueso con espinos muestran los valores de la media de los datos ajustados es de 59,71 comparados con la media de 55,69 de la tabla 8; y una desviación estándar de 10,87 respecto a una de 13,31 de los datos no ajustados en los que se incluyen los datos atípicos. Las variaciones mínimas de la media y la disminución del valor de la desviación estándar indican que la eliminación de los datos atípicos no tiene mayor influencia sobre la distribución espacial de los mismos.

La figura 11 evidencia los valores de cargas hidráulicas aplicadas en el biofiltro empacado con material grueso con espinos desde el período estabilizado hasta el final de la evaluación. La distribución de los datos evidencia que desde el inicio del periodo estabilizado y con excepción de la semana 12, los valores de carga hidráulica son de hasta 0,75 m^3/m^2*d aproximadamente hasta la semana 18. Las semanas 19 y 20 no se incluyen en este análisis debido a fallas del sistema durante la evaluación. Por otro lado, se produce un aumento de carga desde la semana 21, con valores de cargas hidráulicas que van desde 1 m^3/m^2.*d y 1,5 m^3/m^2*d hasta la semana 31, y valores entre 2 y 2,5 m^3/m^2*d para el final del período de evaluación.

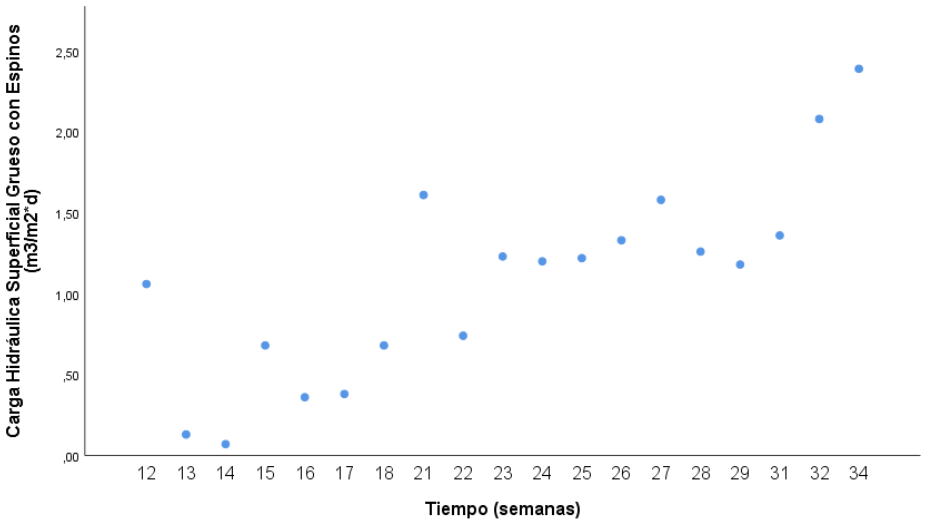

Figura 12. Carga hidráulica superficial Grueso con Espinos (m^3/m^2*d)

Los valores de carga orgánica volumétrica empleados desde la semana 12 hasta la semana 34 del biofiltro fino con espinos se indican en la figura 12. Mediante la representación, se observa que hasta la semana 21 de evaluación las cargas orgánicas se mantienen por debajo de 1 kg DQO/m^3*d. Entre las semanas 22 y 26 las cargas orgánicas se encuentran con valores cercanos a 2 kg DQO/m^3*d. La semana 27 presenta un aumento en la carga orgánica, alcanzando alrededor de 4,5 kg DQO/m^3*d, para posteriormente descender a valores entre 1 y 3 kg DQO/m^3*d.

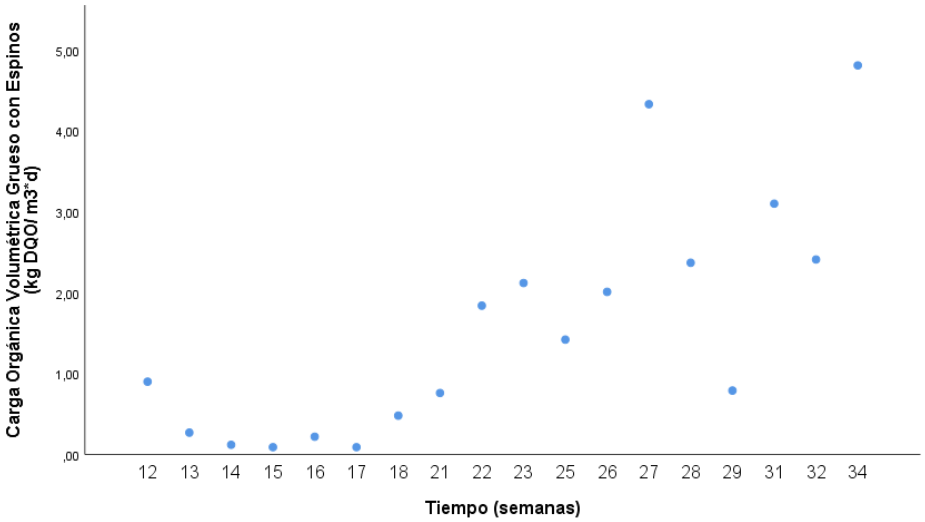

Figura 13. Carga orgánica volumétrica Grueso con Espinos (kg DQO/m^3*d)

Los datos de temperatura obtenidos diariamente a partir del período estabilizado indican rangos de operación del biofiltro entre los 15 y 23 º C, ubicándose la mayor parte de ellos entre los 17 y 19 º C. De igual modo, de los valores obtenidos de pH se observan datos entre 7,5 y 9,5; ubicándose la mayor cantidad de ellos en un rango de 8,5 a 9,5 aproximadamente (Figura 13, figura 14).

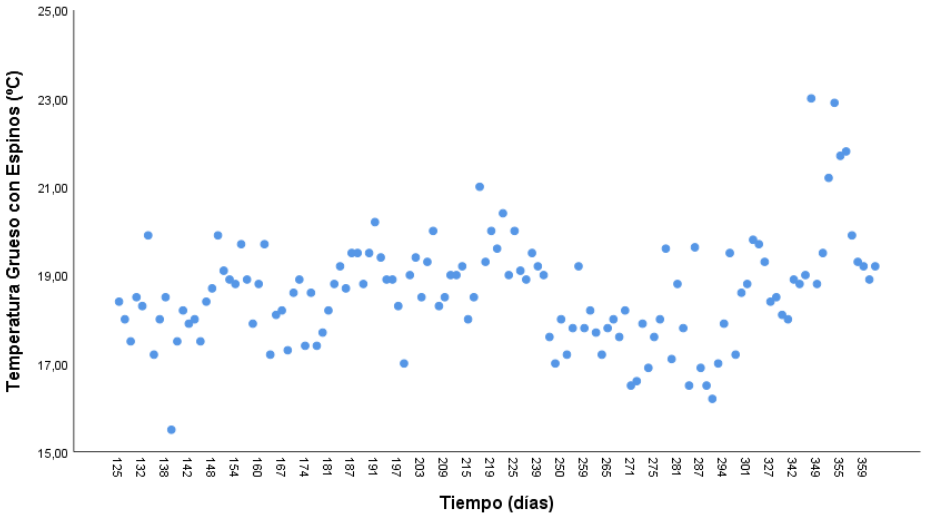

Figura 14. Temperatura Grueso con Espinos (ºC) por Tiempo (días)

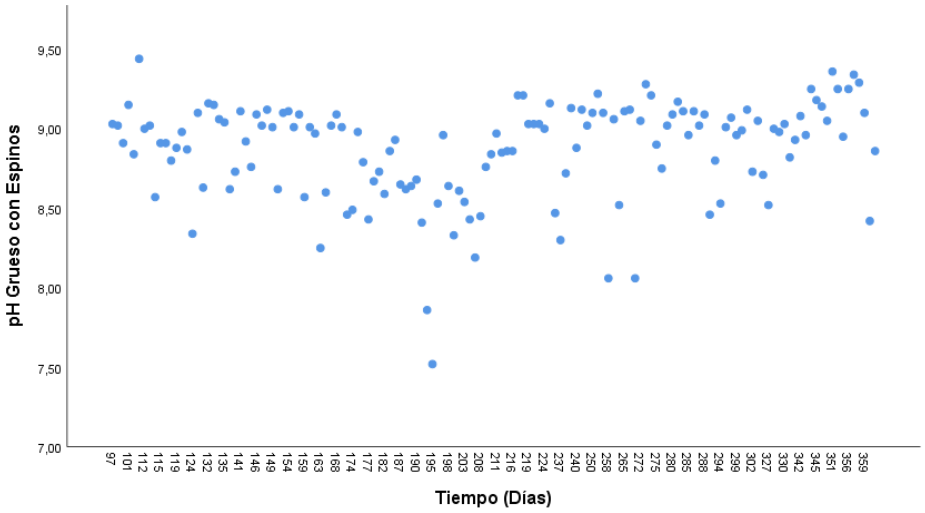

Figura 15. *pH Grueso con Espinos por Tiempo (días)*

4.1.3 MATERIAL GRUESO SIN ESPINOS

Para el análisis de la edad de poda correspondiente a grueso sin espinos según Moreno (2019), la fase de estabilización se determinó a partir de la semana 13, ya que una vez realizado los análisis de las eficiencias de remoción de DQO no disminuyeron y se mantuvieron en un rango superior 40%, con lo que se determina el periodo estabilizado. La figura 15, se presenta los datos de remoción DQO del biofiltro empacado con material Grueso sin espinos hasta el final del monitoreo del reactor.

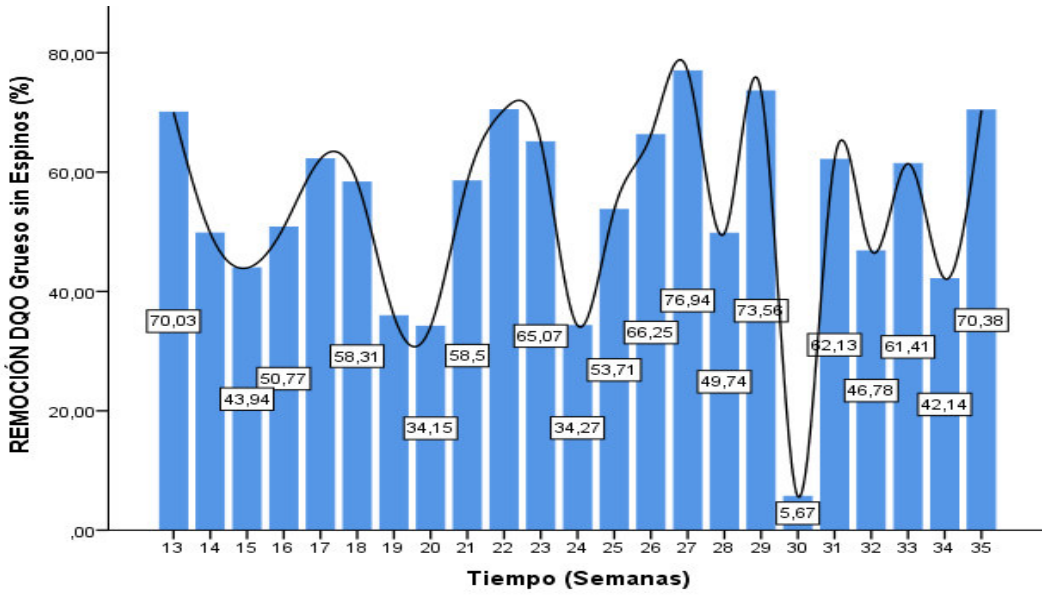

Figura 16. Remoción de DQO grueso sin Espinos (%) por Tiempo (semanas)

Durante el periodo evaluado desde la semana 13 hasta la 35 del material grueso sin espinos se evidencia la desviación de cuatro valores correspondientes a las semanas 19, 20, 24 y 30, de remoción de DQO con respecto a la tendencia de los datos como se muestra en la Tabla 11. Estos datos se estiman que son atípicos y que su presencia corresponde a errores presente en el muestro, ensayo del parámetro o fallas del sistema.

Tabla 11
Estadísticos descriptivos del material Grueso sin Espinos

	N	Mínimo	Máximo	Media	Desviación estándar
REMOCIÓN DQO Grueso sin Espinos (%)	23	5,67	76,94	54,00	16,50

En la tabla 12 se muestra intervalos de eficiencias del material grueso sin espinos, en la cual se aprecia que los datos de las semanas 19, 20, 24 y 30, identificados como atípicos anteriormente corresponde al intervalo (21 a 40 %) cuya eficiencia es menor, estos representan un 17,4 % de todos los datos, porcentaje inferior al compararlo el porcentaje de eficiencias con más del 40% que es de 82,6%, con lo que no se tomaran en cuenta para los análisis siguientes.

Tabla 12
Rangos de Eficiencia de Remoción de DQO en función del tiempo para el material Grueso sin Espinos

			% Remoción GS			Total
			21 - 40	41 - 60	61 - 80	
Tiempo (Semanas)	**13**	**Recuento**	0	0	1	1
		% del total	0,0%	0,0%	4,3%	4,3%
	14	**Recuento**	0	1	0	1
		% del total	0,0%	4,3%	0,0%	4,3%
	15	**Recuento**	0	1	0	1

Tabla 12 (Continuación)

Rangos de Eficiencia de Remoción de DQO en función del tiempo para el material Grueso sin Espinos

		% del total	0,0%	4,3%	0,0%	4,3%
	16	**Recuento**	0	1	0	1
		% del total	0,0%	4,3%	0,0%	4,3%
	17	**Recuento**	0	0	1	1
		% del total	0,0%	0,0%	4,3%	4,3%
	18	**Recuento**	0	1	0	1
		% del total	0,0%	4,3%	0,0%	4,3%
	19	**Recuento**	1	0	0	1
		% del total	4,3%	0,0%	0,0%	4,3%
	20	**Recuento**	1	0	0	1
		% del total	4,3%	0,0%	0,0%	4,3%
	21	**Recuento**	0	1	0	1
		% del total	0,0%	4,3%	0,0%	4,3%
	22	**Recuento**	0	0	1	1
		% del total	0,0%	0,0%	4,3%	4,3%
	23	**Recuento**	0	0	1	1
		% del total	0,0%	0,0%	4,3%	4,3%
	24	**Recuento**	1	0	0	1
		% del total	4,3%	0,0%	0,0%	4,3%
	25	**Recuento**	0	1	0	1
		% del total	0,0%	4,3%	0,0%	4,3%

Tabla 12 (Continuación)

Rangos de Eficiencia de Remoción de DQO en función del tiempo para el material Grueso sin Espinos

	26	**Recuento**	0	0	1	1
		% del total	0,0%	0,0%	4,3%	4,3%
	27	**Recuento**	0	0	1	1
		% del total	0,0%	0,0%	4,3%	4,3%
	28	**Recuento**	0	1	0	1
		% del total	0,0%	4,3%	0,0%	4,3%
	29	**Recuento**	0	0	1	1
		% del total	0,0%	0,0%	4,3%	4,3%
	30	**Recuento**	1	0	0	1
		% del total	4,3%	0,0%	0,0%	4,3%
	31	**Recuento**	0	0	1	1
		% del total	0,0%	0,0%	4,3%	4,3%
	32	**Recuento**	0	1	0	1
		% del total	0,0%	4,3%	0,0%	4,3%
	33	**Recuento**	0	0	1	1
		% del total	0,0%	0,0%	4,3%	4,3%
	34	**Recuento**	0	1	0	1
		% del total	0,0%	4,3%	0,0%	4,3%
	35	**Recuento**	0	0	1	1
		% del total	0,0%	0,0%	4,3%	4,3%
Total		**Recuento**	4	9	10	23
		% del total	17,4%	39,1%	43,5%	100,0%

En la figura 16 se muestra la distribución de los datos durante el periodo de análisis sin considerar datos atípicos determinados anteriormente correspondientes a las semanas 19, 20, 24 y 30.

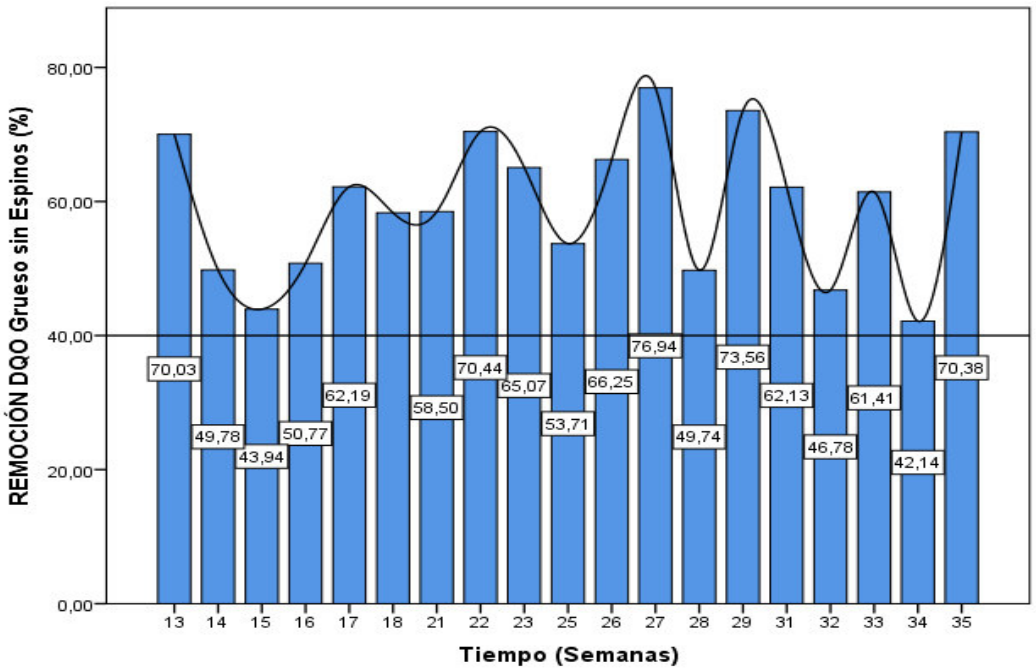

Figura 17. Remoción DQO Grueso sin Espinos (%) por Tiempo (semanas) sin datos atípicos

En la tabla 13 se evidencia una semejanza entre el dato de la media (59,58%) y el dato de la media (54%) con los datos atípicos mostrado en la tabla 11, así como también al realizar la comparación de sus respectivas desviaciones estándar hay una considerable disminución de 16,50 a 10,41, con lo que se demuestra que la eliminación de los datos atípicos no influencia en gran medida a la distribución espacial de los datos al tener una media semejante y se considera el análisis realizado como correcto.

Tabla 13
Estadísticos descriptivos del material Grueso sin Espinos sin datos atípicos

	N	Mínimo	Máximo	Media	Desviación estándar
REMOCIÓN DQO Grueso sin Espinos (%)	19	42,14	76,94	59,58	10,41

En la figura 17 se observa los valores de carga hidráulica en m^3/m^2*d tomados una vez estabilizado el reactor de material grueso sin espinos, en esta se tiene un primer intervalo en el que los valores se encuentra entre 0,5 a 1,5 m^3/m^2*d, para las semanas 13 a 18, después de la semana 18 existe un incremento llegando a valores aproximados de 3 m^3/m^2*d vistos hasta la semana 35.

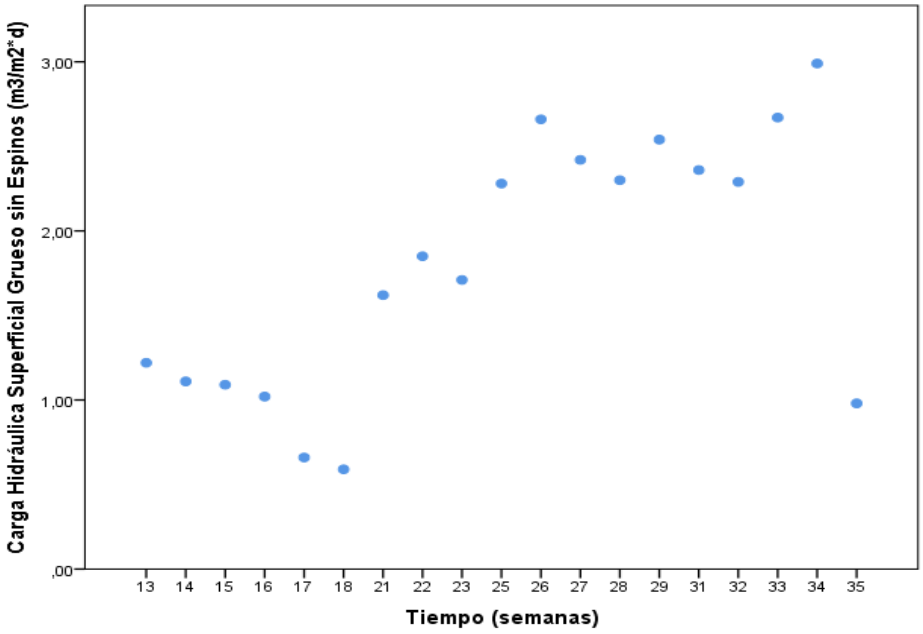

Figura 18. Carga Hidráulica (m^3/m^2*d) Grueso sin Espinos por Tiempo (semanas)

En la figura 18 se evidencia los valores de carga orgánica en kg DQO/m^3*d tomados a partir de la fase de estabilización en el cual se muestra que a lo largo de la toma de datos estos se encuentran concentrados entre el intervalo de 2 a 4 kg DQO/m^3*d, teniendo en cuenta que entre las semanas 26 a 29 de obtuvo valores aproximados de 7 DQO/m^3*d.

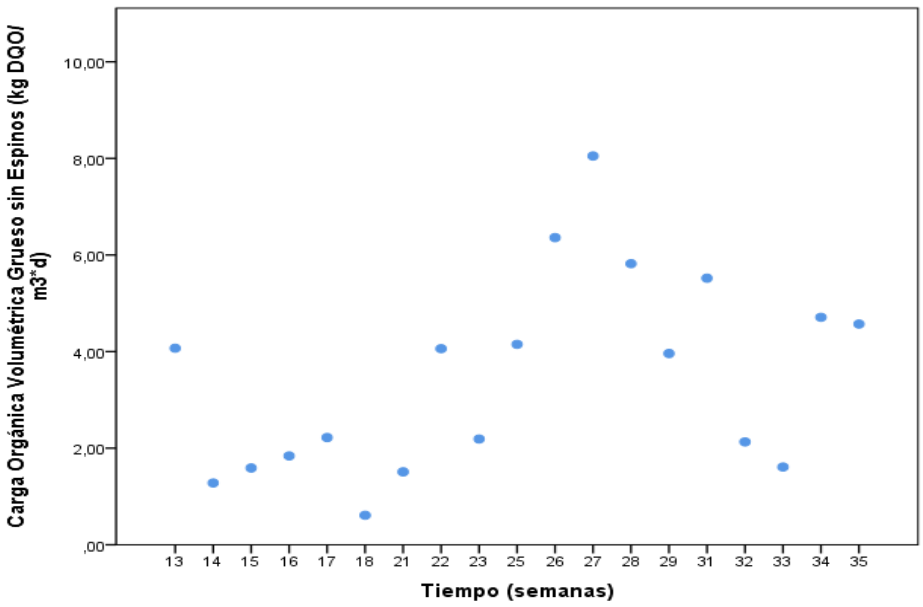

Figura 19. Carga Orgánica Volumétrica (kg DQO/m^3*d) Grueso sin Espinos

En la figura 19 se muestra los valores de pH obtenidos a lo largo del muestreo una vez identificado la fase de estabilización, en la que se tiene que los valores se encuentran concentrados entre valores de 8,5 a 9.

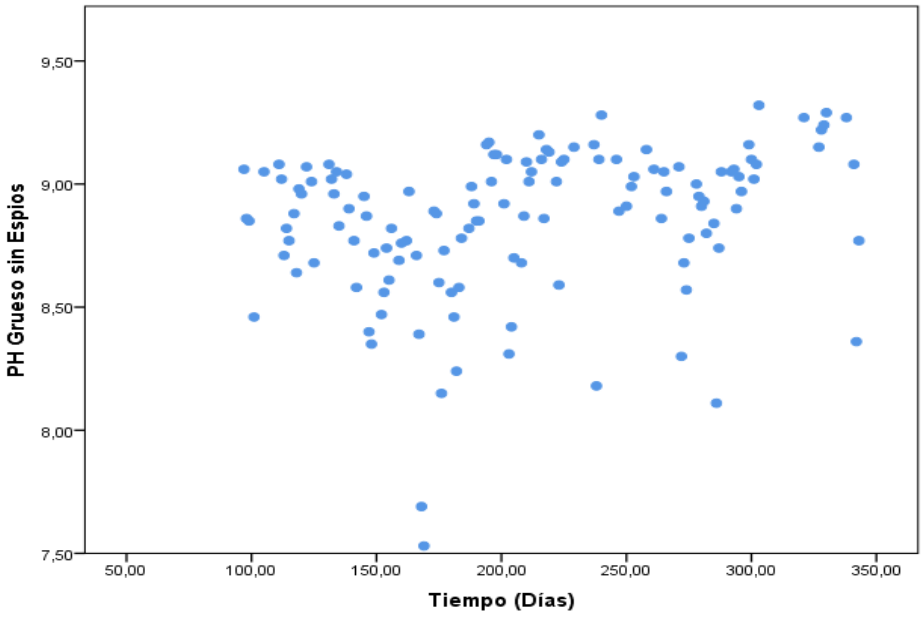

Figura 20. pH Grueso sin Espinos por Tiempo (semanas)

En la figura 20 se observa los valores de temperatura tomados a partir de la fase de estabilización correspondiente al material grueso sin espinos, y muestra que los datos están en mayor concentración en el rango de 17°C a 20°C

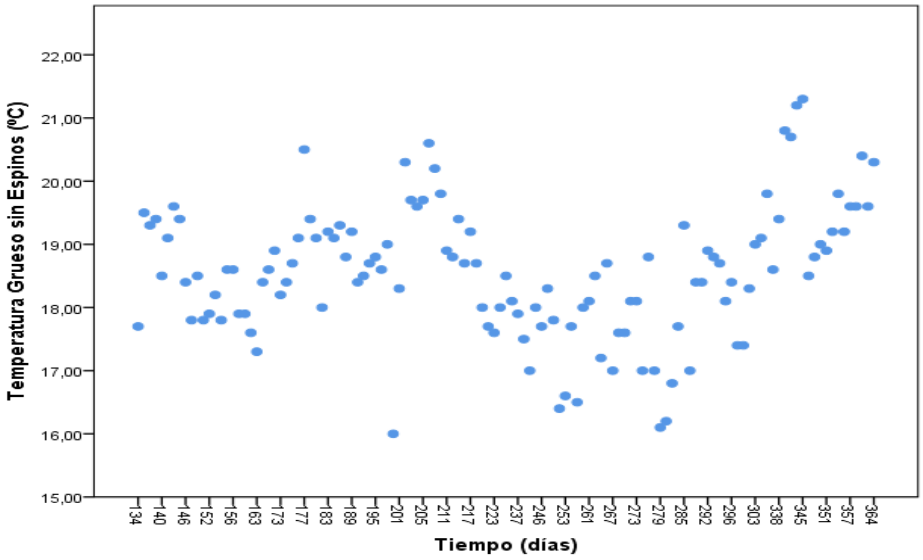

Figura 21. Temperatura (°C) Grueso sin Espinos por Tiempo (semanas)

4.1.4 MATERIAL FINO SIN ESPINOS

Para el análisis de la edad de poda correspondiente a fino sin espinos según Moreno, A. (2019) el periodo de estabilización se determinó a partir de la semana 14, una vez analizados e identificados los valores de Eficiencia de DQO, con lo que se presentó en los resultados una tendencia de eficiencia de remoción superior al 40% datos que no disminuyeron durante el periodo de análisis. La figura 21, se presenta los datos de Remoción DQO del biofiltro empacado con material Fino sin espinos hasta el final del monitoreo del reactor.

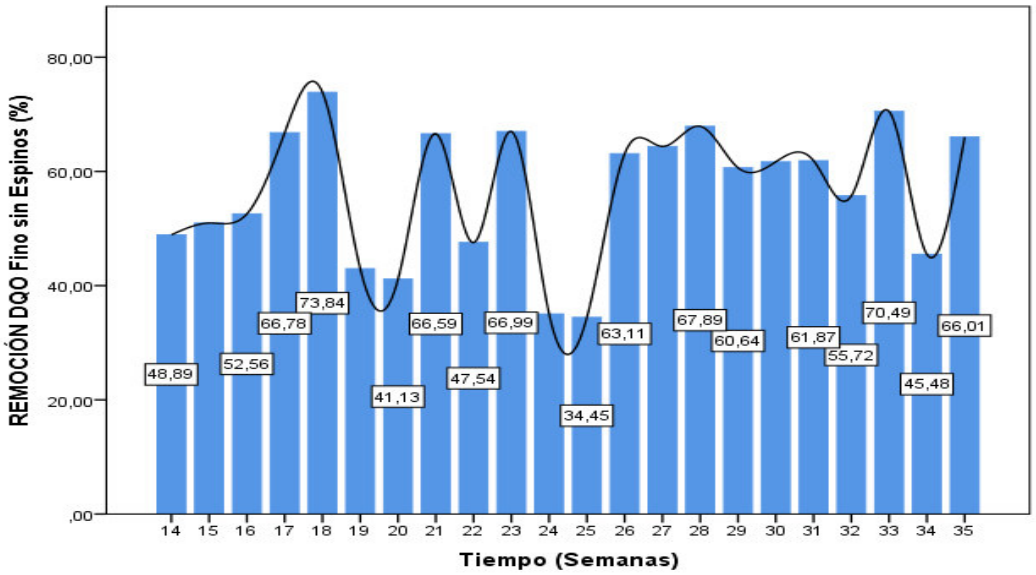

Figura 22. Remoción de DQO Fino sin Espinos (%) por Tiempo (semanas)

Durante el periodo evaluado desde la semana 14 hasta la 35 del material fino sin espinos se evidencia la desviación de dos valores correspondientes a las semanas 24 y 25, de remoción de DQO con respecto a la tendencia de los datos como se muestra en la tabla 14. Estos datos se estiman que son atípicos y que su presencia corresponde a errores presentes en el muestro o fallas del sistema.

Tabla 14
Estadísticos descriptivos del material Fino sin Espinos

	N	Mínimo	Máximo	Media	Desviación estándar
REMOCIÓN DQO Fino sin Espinos (%)	22	34,45	73,84	56,59	11,72

En la tabla 15 se muestra intervalos de eficiencias del material fino sin espinos, en la cual se aprecia que los datos de las semanas 24 y 25, identificados como atípicos anteriormente corresponde al intervalo cuya eficiencia es la menor (21 a 40 %) y en el recuento del porcentaje corresponde a un 9,1% de todos los datos, inferior al comparar con el porcentaje de datos con eficiencias mayores al 41% que es de 90,9%, por lo que no se tomarán en cuenta para los análisis siguientes.

Tabla 15
Rangos de Eficiencia de Remoción de DQO en función del tiempo para el material Fino sin Espinos

			% Remoción FS			Total
			21 - 40	41 - 60	61 - 80	
Tiempo (Semanas)	**14**	**Recuento**	0	1	0	1
		% del total	0,0%	4,5%	0,0%	4,5%
	15	**Recuento**	0	1	0	1
		% del total	0,0%	4,5%	0,0%	4,5%
	16	**Recuento**	0	1	0	1
		% del total	0,0%	4,5%	0,0%	4,5%
	17	**Recuento**	0	0	1	1

Tabla 15 (Continuación)

Rangos de Eficiencia de Remoción de DQO en función del tiempo para el material Fino sin Espinos

		% del total	0,0%	0,0%	4,5%	4,5%
	18	**Recuento**	0	0	1	1
		% del total	0,0%	0,0%	4,5%	4,5%
	19	**Recuento**	0	1	0	1
		% del total	0,0%	4,5%	0,0%	4,5%
	20	**Recuento**	0	1	0	1
		% del total	0,0%	4,5%	0,0%	4,5%
	21	**Recuento**	0	0	1	1
		% del total	0,0%	0,0%	4,5%	4,5%
	22	**Recuento**	0	1	0	1
		% del total	0,0%	4,5%	0,0%	4,5%
	23	**Recuento**	0	0	1	1
		% del total	0,0%	0,0%	4,5%	4,5%
	24	**Recuento**	1	0	0	1
		% del total	4,5%	0,0%	0,0%	4,5%
	25	**Recuento**	1	0	0	1
		% del total	4,5%	0,0%	0,0%	4,5%
	26	**Recuento**	0	0	1	1
		% del total	0,0%	0,0%	4,5%	4,5%
	27	**Recuento**	0	0	1	1
		% del total	0,0%	0,0%	4,5%	4,5%
	28	**Recuento**	0	0	1	1
		% del total	0,0%	0,0%	4,5%	4,5%

Tabla 15 (Continuación)

Rangos de Eficiencia de Remoción de DQO en función del tiempo para el material Fino sin Espinos

	29	**Recuento**	0	1	0	1
		% del total	0,0%	4,5%	0,0%	4,5%
	30	**Recuento**	0	1	0	1
		% del total	0,0%	4,5%	0,0%	4,5%
	31	**Recuento**	0	1	0	1
		% del total	0,0%	4,5%	0,0%	4,5%
	32	**Recuento**	0	1	0	1
		% del total	0,0%	4,5%	0,0%	4,5%
	33	**Recuento**	0	0	1	1
		% del total	0,0%	0,0%	4,5%	4,5%
	34	**Recuento**	0	1	0	1
		% del total	0,0%	4,5%	0,0%	4,5%
	35	**Recuento**	0	1	0	1
		% del total	0,0%	4,5%	0,0%	4,5%
Total		**Recuento**	2	12	8	22
		% del total	9,1%	54,5%	36,4%	100,0 %

En la figura 22 se muestra la distribución de los datos durante el periodo de análisis sin considerar datos atípicos determinados anteriormente correspondientes a las semanas 24 y 25.

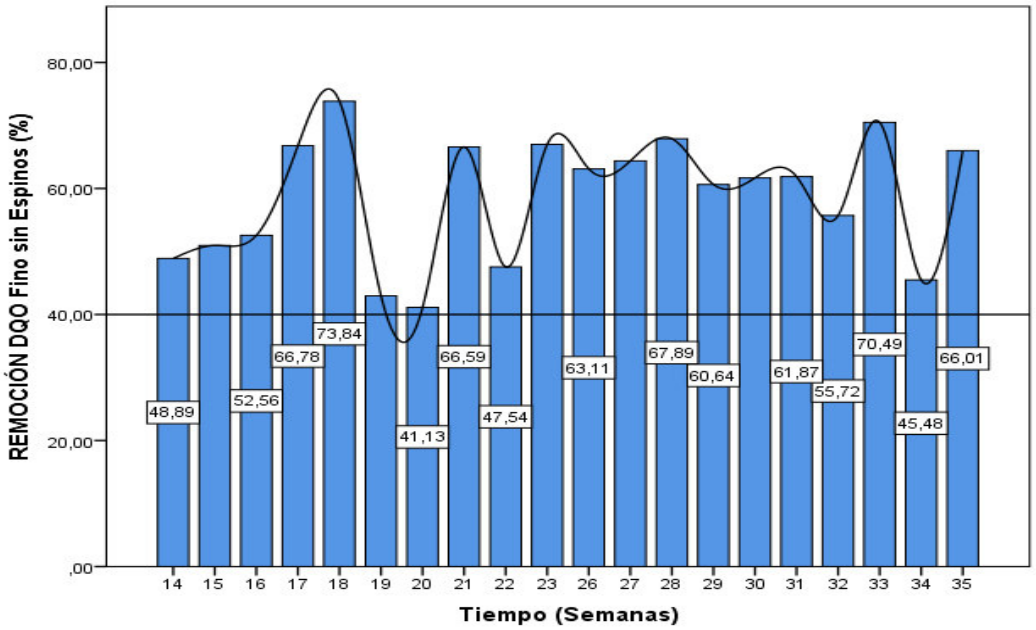

Figura 23. Remoción DQO Fino sin Espinos (%) por Tiempo (semanas) sin datos atípicos

En la tabla 16 se muestras una media de 58,77% similar a la media (56,59%) presente en la tabla 14 con los datos atípicos sin ser eliminado, al comparar sus respectivas desviaciones estándar de puede observar una disminución de 11,72 a 9,83 evidenciándose este cambio por la eliminación de los datos atípicos de las semanas 24 y 25, al cambiar el punto mínimo de 34,45% a 41,13%, con lo que se demuestra que la eliminación de los datos atípicos no influencia en gran medida a la distribución espacial de los datos al tener una media semejante y se considera el análisis realizado como correcto.

Tabla 16
Estadísticos descriptivos del material Fino sin Espinos (sin datos atípicos)

	N	Mínimo	Máximo	Media	Desviación estándar
REMOCIÓN DQO Fino sin Espinos (%)	20	41,13	73,84	58,77	9,83

En la figura 23 se muestra la carga hidráulica en función de las semanas trabajadas en el reactor para el material fino sin espinos, en el cual se evidencia un incremento

a partir de la semana 23 y este no varía en gran proporción (valores aproximados entre 2 a 3 m^3/m^2*d) hasta la semana 31 que comienza a descender paulatinamente hasta llegar a la semana 35.

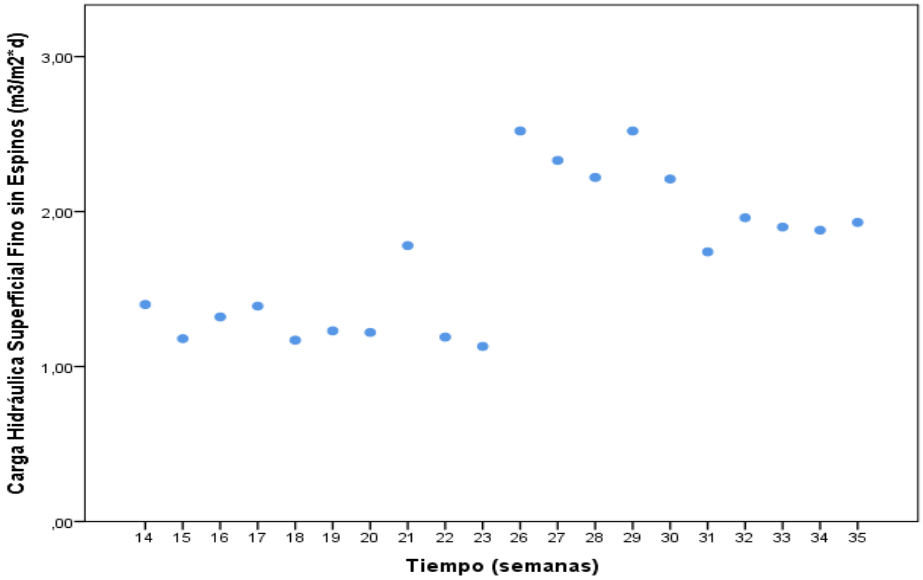

Figura 24. *Carga Hidráulica (m^3/m^2*d) Fino sin Espinos por Tiempo (semanas)*

En la figura 24 de carga orgánica en función del tiempo en semanas se muestra que entre las semanas 13 a la 22 existe una tendencia entre valores de 0 a 4 kg DQO/ m^3*d, a partir de esta semana existe un incremento hasta valores aproximados de 6 kg DQO/m^3*d, posterior a esto comienza a descender para mantenerse en el intervalo inicial ya mencionado.

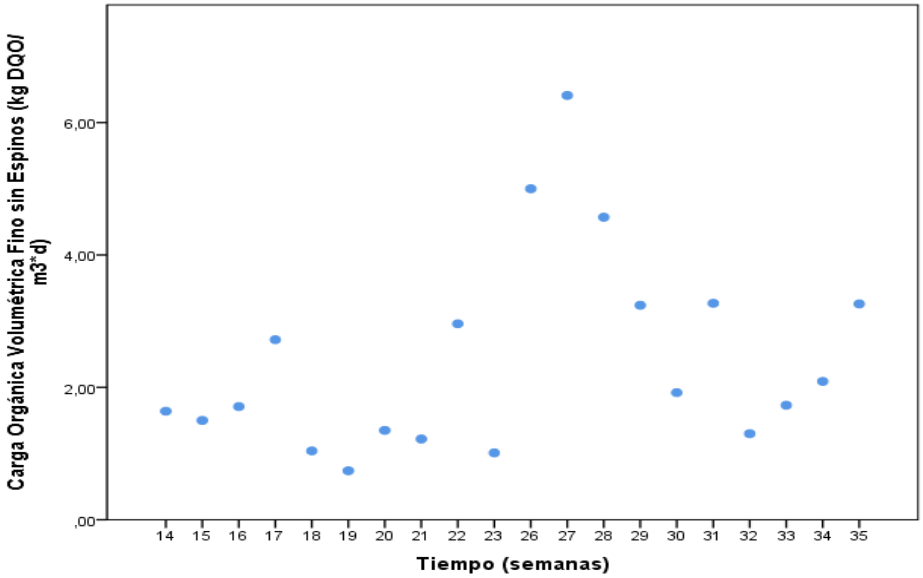

Figura 25. Carga Orgánica Volumétrica (kg DQO/m3*d) Fino sin Espinos

En figura 25 se muestra los valores de pH tomados a partir de la fase de estabilización del material fino sin espinos, en el cual se observa que la mayoría de datos están concentrados entre los rangos de 8,5 a 9. Mientras que en la figura 26 se observa los valores de temperatura tomados a partir de la fase de estabilización correspondiente al material fino sin espinos, y muestra que los datos están en mayor concentración en el rango de 18°C a 20°C

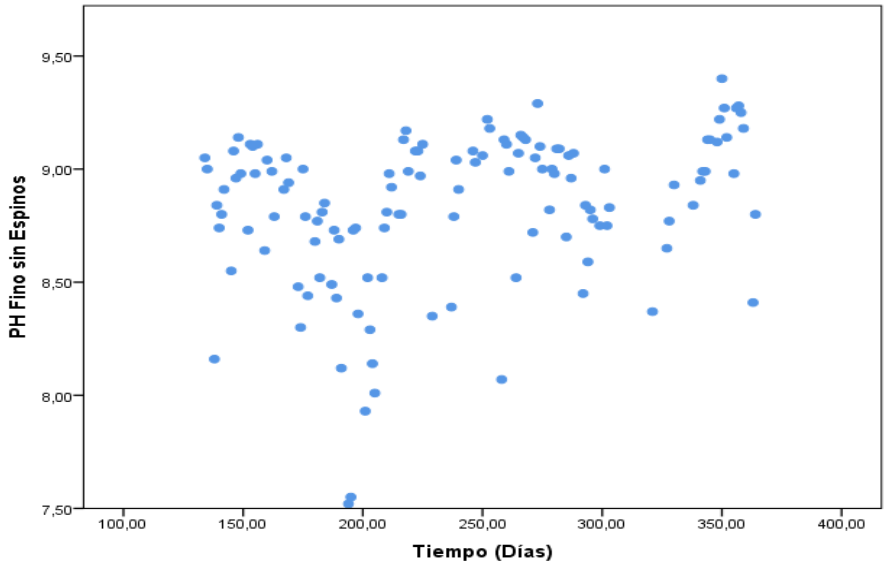

Figura 26. pH Fino sin Espinos por Tiempo (semanas)

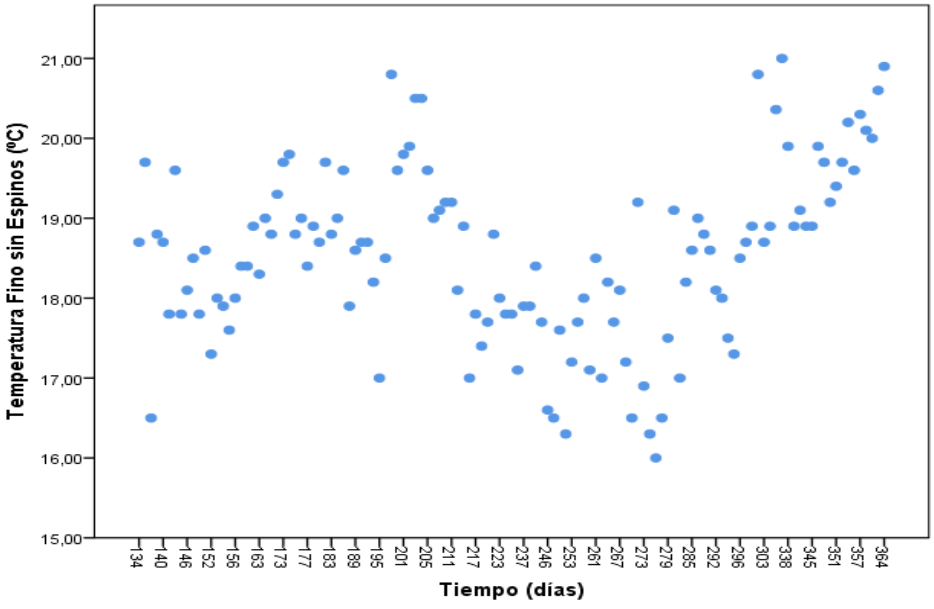

Figura 27. Temperatura (°C) Fino sin Espinos por Tiempo (semanas)

La eficiencia de remoción de los biofiltros empacados con las cuatro edades de poda de *Lantana camara* con la presencia de datos atípicos ronda entre los 54-57 % y desviaciones estándar entre 11 y 16,5 aproximadamente. Una vez efectuada la depuración de datos, retirando aquellos en donde se identificaron fallas del sistema; evidenciados en eficiencias inferiores al 40% según el análisis en investigaciones previas (Moreno, 2019), la media de remoción de las cuatro edades de poda es aproximadamente del 59%, y las desviaciones estándar para cada edad de poda disminuyen, sin embargo, siguen siendo altas (entre 8,6 y 10,8). Las desviaciones estándar altas, en la categoría de eficiencias de remoción puede deberse a que la carga orgánica volumétrica que ingresa a cada reactor semana a semana no es constante, gracias a una concentración de entrada So variable en el tiempo de evaluación. Así, se hace énfasis en que durante la fase de laboratorio el agua residual empleada no es sintética, al contrario, se sometió los reactores a un agua residual bajo condiciones reales tomada de la Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental de la Escuela Politécnica Nacional de la cual no se controló la concentración como afluente. De este modo, las eficiencias por cada edad de poda son similares en promedio al final de la evaluación, pero semana a semana como se muestreó el parámetro de DQO es variable.

4.2 TRATAMIENTO DE DATOS

4.2.1 ANÁLISIS DE pH Y TEMPERATURA

Los estadísticos descriptivos de los valores de temperatura para cada reactor, empacados con diferentes edades de poda se muestran en la tabla 17. A lo largo del período de evaluación se evidencia que los valores de temperatura, en todas las edades de poda, se mantienen en un valor de 18 ºC, aproximadamente. Los rangos mínimos de temperatura se encuentran entre los 15 y 16 ºC y los rangos máximos obtenidos se ubican entre los 21 y 23 ºC.

Tabla 17
Estadísticos Descriptivos de datos de Temperatura

	N	Mínimo	Máximo	Media	Desv. Desviación
Temperatura Fino con Espinos (ºC)	131	15,60	21,60	18,72	1,02
Temperatura Grueso con Espinos (ºC)	142	15,50	23,00	18,73	1,22
Temperatura Fino sin Espinos (ºC)	125	16,00	21,00	18,54	1,10
Temperatura Grueso con Espinos (ºC)	129	16,00	21,30	18,61	1,09
Temperatura Influente (ºC)	149	15,80	22,00	18,41	1,24

El análisis de la variabilidad de este parámetro aplicando la prueba de Kolmogórov-Smirnov se encuentra detallado en la tabla 18. Los niveles de significancia de la prueba de Kolmogórov-Smirnov obtenidos para todos los biofiltros analizados resultaron en valores mayores a 0,05 (nivel de significancia). Esto es 0,2 para los biofiltros fino con espinos, grueso con espinos, fino sin espinos y grueso sin espinos. Con este valor se acepta la hipótesis nula, de la cual se toma la base de datos de temperatura como homogénea y sin variabilidad considerable.

Tabla 18
Prueba de Kolmogorov-Smirnov para datos de Temperatura

		Temperatura Fino con Espinos (ºC)	Temperatura Grueso con Espinos	Temperatura Fino sin Espinos (ºC)	Temperatura Grueso con Espinos	Temperatura Influente (ºC)
N		131	142	125	129	149
Parámetros normales[a,b]	**Media**	18,72	18,73	18,54	18,61	18,41
	Desv. Desviación	1,02	1,22	1,10	1,09	1,24
Máximas diferencias extremas	**Absoluto**	0,055	0,064	0,052	0,045	0,079
	Positivo	0,038	0,064	0,052	0,045	0,079
	Negativo	-0,055	0-,045	-0,052	-0,043	-0,042
Estadístico de prueba		0,055	0,064	0,052	0,045	0,079
Sig. asintótica(bilateral)		0,200[c,d]	0,200[c,d]	0,200[c,d]	0,200[c,d]	0,025[c]
a. La distribución de prueba es normal.						
b. Se calcula a partir de datos.						
c. Corrección de significación de Lilliefors.						
d. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.						

En tabla 19 se observa el cálculo del nivel de significancia del pH para cada material analizado, los valores obtenidos son menores a 0,05 con lo que concluye que el parámetro pH es variable para cada tipo de material: Fino sin espinos, Fino con espinos, Grueso sin espinos y Grueso sin espinos.

Tabla 19
Prueba de Kolmogórov-Smirnov para datos de pH

		pH Fino sin Espinos	pH Fino con Espinos	pH Grueso sin Espinos	pH Grueso con Espinos	pH del Influente
N		127	134	131	144	151
Parámetros normales	**Media**	8,83	8,84	8,87	8,87	8,97
	Desviación estándar	0,34	0,34	0,31	0,31	0,30
Máximas diferencias extremas	**Absoluta**	0,13	0,12	0,15	0,15	0,19
	Positivo	0,09	0,10	0,08	0,08	0,13
	Negativo	-0,13	-0,12	-0,15	-0,15	-0,19
Estadístico de prueba		0,13	0,12	0,12	0,148	0,19
Sig. asintótica (bilateral)		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Se observa en la tabla 20 que, para el material Fino con Espinos, Fino sin espinos, Grueso sin espinos y Grueso con espinos los valores mínimos están en un aproximado de 7,5 mientras que los valores máximos están alrededor de 9,40 y sus medias con un valor cercano a 8,80, lo que representa una variabilidad significativa en cada material lo que se evidencia en su respectiva desviación estándar. Adicionalmente, como lo indica su media, un valor de 8,80 se cataloga dentro del rango básico, sin embargo, de acuerdo con (Apella & Araujo, n.d.) el biofiltro trabaja en un rango favorable de pH para los microorganismos presentes en él al encontrarse dentro del rango de 5 a 9. Un valor de pH por encima o por debajo de este rango conllevaría un mal funcionamiento del biofiltro, al alterar significativamente la membrana plasmática de los microorganismos, afectando de esta forma el transporte de solutos y con ello su alimentación y desarrollo (Apella & Araujo, n.d.). Así, un biofiltro con valores desfavorables de pH no puede funcionar correctamente.

Tabla 20.
Estadísticos Descriptivos de datos de pH

	N	Mínimo	Máximo	Media	Desviación estándar
pH Fino sin Espinos	127	7,52	9,40	8,83	0,34
pH Fino con Espinos	134	7,47	9,34	8,84	0,34
pH Grueso sin Espinos	131	7,53	9,32	8,86	0,30
pH Grueso con Espinos	144	7,52	9,44	8,87	0,31
pH del Influente	151	7,75	9,66	8,97	0,30

Durante la fase de evaluación del funcionamiento del biofiltro dentro del laboratorio los valores de pH se catalogaron como óptimos (Apella & Araujo, n.d.), mismos que en conjunto de otros parámetros como las cargas hidráulicas y orgánicas, además de la temperatura facilitaron las etapas de crecimiento de la comunidad microbiana del filtro. Así, bajo estas condiciones no se reporta la presencia de vectores o de malos olores con excepción de los casos en que existieron taponamientos del sistema por mal funcionamiento de la bomba empleada para distribuir el agua a los filtros.

4.2.2 CARGA ORGÁNICA Y CARGA HIDRÁULICA SUPERFICIAL

4.2.2.1 Fino sin Espinos

En la tabla 21 se muestra los valores de Carga Orgánica en función del tiempo en semanas y relacionadas con la carga hidráulica y eficiencia de remoción, en la que se destaca que los valores de la carga hidráulica están dentro del intervalos categorizado como de carga baja al estar todos los valores dentro de este rango es decir menor a 3,5 m^3/m^2*d, mientras que existen únicamente tres intervalos de carga orgánica presentes en este tipo de material (fino sin espinos), en la que se evidencia la presencia de mayor frecuencia de datos corresponde al intervalo entre 61% a 80%.

Tabla 21

Rangos de Carga Orgánica e Hidráulica en función del tiempo para el material Fino sin Espinos

			Carga Orgánica (kg DQO/m3*d)			Carga hidráulica	Eficiencia de Remoción
			0,50 - 0,95	0,95 - 1,6	1,6 - 8		
Tiempo (semanas)	**14**	**Recuento**	0	0	1	Baja	Media
		% dentro de Carga Orgánica FS	0,0%	0,0%	7,7%		
	15	**Recuento**	0	1	0	Baja	Media
		% dentro de Carga Orgánica FS	0,0%	16,7 %	0,0%		
	16	**Recuento**	0	0	1	Baja	Media
		% dentro de Carga Orgánica FS	0,0%	0,0%	7,7%		
	17	**Recuento**	0	0	1	Baja	Alta
		% dentro de Carga Orgánica FS	0,0%	0,0%	7,7%		
	18	**Recuento**	0	1	0	Baja	Alta
		% dentro de Carga Orgánica FS	0,0%	16,7 %	0,0%		
	19	**Recuento**	1	0	0	Baja	Media
		% dentro de Carga Orgánica FS	100, 0%	0,0%	0,0%		
	20	**Recuento**	0	1	0	Baja	Media
		% dentro de Carga Orgánica FS	0,0%	16,7 %	0,0%		
	21	**Recuento**	0	1	0	Baja	Alta
		% dentro de Carga Orgánica FS	0,0%	16,7 %	0,0%		
	22	**Recuento**	0	0	1	Baja	Media
		% dentro de Carga Orgánica FS	0,0%	0,0%	7,7%		
	23	**Recuento**	0	1	0	Baja	Alta
		% dentro de Carga Orgánica FS	0,0%	16,7 %	0,0%		
	26	**Recuento**	0	0	1	Baja	Alta
		% dentro de Carga Orgánica FS	0,0%	0,0%	7,7%		

Tabla 21 (Continuación)

Rangos de Carga Orgánica e Hidráulica en función del tiempo para el material Fino sin Espinos

	27	**Recuento**	0	0	1	Baja	Alta
		% dentro de Carga Orgánica FS	0,0%	0,0%	7,7%		
	28	**Recuento**	0	0	1	Baja	Alta
		% dentro de Carga Orgánica FS	0,0%	0,0%	7,7%		
	29	**Recuento**	0	0	1	Baja	Alta
		% dentro de Carga Orgánica FS	0,0%	0,0%	7,7%		
	30	**Recuento**	0	0	1	Baja	Alta
		% dentro de Carga Orgánica FS	0,0%	0,0%	7,7%		
	31	**Recuento**	0	0	1	Baja	Alta
		% dentro de Carga Orgánica FS	0,0%	0,0%	7,7%		
	32	**Recuento**	0	1	0	Baja	Media
		% dentro de Carga Orgánica FS	0,0%	16,7 %	0,0%		
	33	**Recuento**	0	0	1	Baja	Alta
		% dentro de Carga Orgánica FS	0,0%	0,0%	7,7%		
	34	**Recuento**	0	0	1	Baja	Media
		% dentro de Carga Orgánica FS	0,0%	0,0%	7,7%		
	35	**Recuento**	0	0	1	Baja	Alta
		% dentro de Carga Orgánica FS	0,0%	0,0%	7,7%		
Total		**Recuento**	1	6	13	20	
		% dentro de Carga Orgánica FS	100 %	100 %	100 %	100,0%	

4.2.2.2 Grueso sin Espinos

En la tabla 22 se muestra los rangos de Carga Orgánica en función del tiempo en semanas, en la que se observa que la mayor parte de datos se concentran en el intervalo de 61 a 80% con una frecuencia de 15 de un total de 19 datos, mientras que la mayor frecuencia en el análisis del porcentaje de remoción se encuentra en la categoría de alta al poseer la frecuencia mayor. Al comparar tanto la carga

orgánica con la eficiencia de remoción se puede concluir que existe una estrecha relación al tener en todas las eficiencias y rangos, al evidenciarse que cuando existe una alta carga orgánica correspondiente una alta eficiencia de remoción

Tabla 22

Rangos de Carga Orgánica e Hidráulica en función del tiempo para el material Grueso sin Espinos

			Carga Orgánica (kg DQO/m^3*d)			Carga hidráulica	Eficiencia de Remoción
			0,50 -0,95	0,95 - 1,6	1,6 - 8		
Tiempo (semanas)	**13**	**Recuento**	0	0	1	Baja	Alta
		% dentro de Carga Orgánica GS	0,0%	0,0%	6,7 %		
	14	**Recuento**	0	1	0	Baja	Media
		% dentro de Carga Orgánica GS	0,0%	33,3 %	0,0 %		
	15	**Recuento**	0	1	0	Baja	Media
		% dentro de Carga Orgánica GS	0,0%	33,3 %	0,0 %		
	16	**Recuento**	0	0	1	Baja	Media
		% dentro de Carga Orgánica GS	0,0%	0,0%	6,7 %		
	17	**Recuento**	0	0	1	Baja	Alta
		% dentro de Carga Orgánica GS	0,0%	0,0%	6,7 %		
	18	**Recuento**	1	0	0	Baja	Media
		% dentro de Carga Orgánica GS	100, 0%	0,0%	0,0 %		
	21	**Recuento**	0	1	0	Baja	Media

Tabla 22 (Continuación)

Rangos de Carga Orgánica e Hidráulica en función del tiempo para el material Grueso sin Espinos

		% dentro de Carga Orgánica GS	0,0%	33,3 %	0,0 %		
	22	**Recuento**	0	0	1	Baja	Alta
		% dentro de Carga Orgánica GS	0,0%	0,0%	6,7 %		
	23	**Recuento**	0	0	1	Baja	Alta
		% dentro de Carga Orgánica GS	0,0%	0,0%	6,7 %		
	25	**Recuento**	0	0	1	Baja	Media
		% dentro de Carga Orgánica GS	0,0%	0,0%	6,7 %		
	26	**Recuento**	0	0	1	Baja	Alta
		% dentro de Carga Orgánica GS	0,0%	0,0%	6,7 %		
	27	**Recuento**	0	0	1	Baja	Alta
		% dentro de Carga Orgánica GS	0,0%	0,0%	6,7 %		
	28	**Recuento**	0	0	1	Baja	Media
		% dentro de Carga Orgánica GS	0,0%	0,0%	6,7 %		
	29	**Recuento**	0	0	1	Baja	Alta
		% dentro de Carga Orgánica GS	0,0%	0,0%	6,7 %		
	31	**Recuento**	0	0	1	Baja	Alta
		% dentro de Carga Orgánica GS	0,0%	0,0%	6,7 %		
	32	**Recuento**	0	0	1	Baja	Media
		% dentro de Carga Orgánica GS	0,0%	0,0%	6,7 %		
	33	**Recuento**	0	0	1	Baja	Alta

Tabla 22 (Continuación)

Rangos de Carga Orgánica e Hidráulica en función del tiempo para el material Grueso sin Espinos

		% dentro de Carga Orgánica GS	0,0%	0,0%	6,7 %		
	34	**Recuento**	0	0	1	Baja	Media
		% dentro de Carga Orgánica GS	0,0%	0,0%	6,7 %		
	35	**Recuento**	0	0	1	Baja	Alta
		% dentro de Carga Orgánica GS	0,0%	0,0%	6,7 %		
Total		**Recuento**	1	3	15	19	
		% dentro de Carga Orgánica GS	100 %	100 %	100 %	100,0%	

4.2.2.3 Grueso con Espinos

En la tabla 23 se puede observar los rangos de Carga Orgánica en función del tiempo en semanas, y la comparación de este con la Carga Hidráulica y Eficiencia de remoción, en la que se observa una mayor frecuencia de 8 en el intervalo de 1,6 a 8 kg DQO/ m^3*d (característico de una condición de desbaste), de datos en comparación con los 18 datos globales, y en relación con la carga hidráulica esta se mantiene en el rango de carga baja al tener valores menores a 3,5 m^3/m^2*d.

Tabla 23

Rangos de Carga Orgánica e Hidráulica en función del tiempo para el material Grueso con Espinos

			Carga Orgánica (kg DQO/m^3*d)					Carga hidráulica	Eficiencia de Remoción
			0,08 - 0,25	0,25 - 0,50	0,50 - 0,95	0,95 - 1,6	1,6 - 8		
Tiempo (semanas)	12	Recuento	0	0	1	0	0	Baja	Media
		% dentro de Carga Orgánica GC	0,0 %	0,0 %	33,3 %	0,0 %	0,0 %		
	13	Recuento	0	1	0	0	0	Baja	Alta
		% dentro de Carga Orgánica GC	0,0 %	50, 0%	0,0%	0,0 %	0,0 %		
	14	Recuento	1	0	0	0	0	Baja	Media
		% dentro de Carga Orgánica GC	25, 0%	0,0 %	0,0%	0,0 %	0,0 %		
	15	Recuento	1	0	0	0	0	Baja	Media
		% dentro de Carga Orgánica GC	25, 0%	0,0 %	0,0%	0,0 %	0,0 %		
	16	Recuento	1	0	0	0	0	Baja	Media
		% dentro de Carga Orgánica GC	25, 0%	0,0 %	0,0%	0,0 %	0,0 %		
	17	Recuento	1	0	0	0	0	Baja	Alta
		% dentro de Carga Orgánica GC	25, 0%	0,0 %	0,0%	0,0 %	0,0 %		
	18	Recuento	0	1	0	0	0	Baja	Alta
		% dentro de Carga Orgánica GC	0,0 %	50, 0%	0,0%	0,0 %	0,0 %		

Tabla 23 (Continuación)

Rangos de Carga Orgánica e Hidráulica en función del tiempo para el material Grueso con Espinos

	21	**Recuento**	0	0	1	0	0	Baja	Alta
		% dentro de Carga Orgánica GC	0,0 %	0,0 %	33,3 %	0,0 %	0,0 %		
	22	**Recuento**	0	0	0	0	1	Baja	Alta
		% dentro de Carga Orgánica GC	0,0 %	0,0 %	0,0%	0,0 %	12, 5%		
	23	**Recuento**	0	0	0	0	1	Baja	Alta
		% dentro de Carga Orgánica GC	0,0 %	0,0 %	0,0%	0,0 %	12, 5%		
	25	**Recuento**	0	0	0	1	0	Baja	Alta
		% dentro de Carga Orgánica GC	0,0 %	0,0 %	0,0%	100 ,0 %	0,0 %		
	26	**Recuento**	0	0	0	0	1	Baja	Media
		% dentro de Carga Orgánica GC	0,0 %	0,0 %	0,0%	0,0 %	12, 5%		
	27	**Recuento**	0	0	0	0	1	Baja	Alta
		% dentro de Carga Orgánica GC	0,0 %	0,0 %	0,0%	0,0 %	12, 5%		
	28	**Recuento**	0	0	0	0	1	Baja	Alta
		% dentro de Carga Orgánica GC	0,0 %	0,0 %	0,0%	0,0 %	12, 5%		
	29	**Recuento**	0	0	1	0	0	Baja	Media
		% dentro de Carga Orgánica GC	0,0 %	0,0 %	33,3 %	0,0 %	0,0 %		

Tabla 23 (Continuación)

Rangos de Carga Orgánica e Hidráulica en función del tiempo para el material Grueso con Espinos

	31	**Recuento**	0	0	0	0	1	Baja	Media
		% dentro de Carga Orgánica GC	0,0 %	0,0 %	0,0%	0,0 %	12, 5%		
	32	**Recuento**	0	0	0	0	1	Baja	Alta
		% dentro de Carga Orgánica GC	0,0 %	0,0 %	0,0%	0,0 %	12, 5%		
	34	**Recuento**	0	0	0	0	1	Baja	Alta
		% dentro de Carga Orgánica GC	0,0 %	0,0 %	0,0%	0,0 %	12, 5%		
Total		**Recuento**	4	2	3	1	8	18	
		% dentro de Carga Orgánica GC	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100,0%	

4.2.2.4 Fino con Espinos

En la tabla 24 se evidencia la relación de intervalos de carga orgánica y la comparación de esta con la categorización de la carga hidráulica y eficiencia de remoción. De los 20 datos tomados para el material fino con espinos se evidencia una mayor proporción en la condición de desbaste, la frecuencia de estos datos corresponde a una condición de desbaste.

Tabla 24

Rangos de Carga Orgánica e Hidráulica en función del tiempo para el material Fino con Espinos

			Carga Orgánica (kg DQO/m^3*d)					Carga hidráulica	Eficiencia de Remoción
			0,08 - 0,25	0,25 - 0,50	0,50 - 0,95	0,95 - 1,6	1,6 - 8		
Tiempo (semanas)	13	Recuento	0	0	0	0	1	Baja	Alta
		% dentro de Carga Orgánica FC	0,0%	0,0 %	0,0%	0,0%	16,7 %		
	14	Recuento	1	0	0	0	0	Baja	Media
		% dentro de Carga Orgánica FC	20,0 %	0,0 %	0,0%	0,0%	0,0%		
	15	Recuento	1	0	0	0	0	Baja	Media
		% dentro de Carga Orgánica FC	20,0 %	0,0 %	0,0%	0,0%	0,0%		
	17	Recuento	1	0	0	0	0	Baja	Media
		% dentro de Carga Orgánica FC	20,0 %	0,0 %	0,0%	0,0%	0,0%		
	18	Recuento	0	1	0	0	0	Baja	Alta
		% dentro de Carga Orgánica FC	0,0%	50, 0%	0,0%	0,0%	0,0%		
	19	Recuento	1	0	0	0	0	Baja	Alta
		% dentro de Carga Orgánica FC	20,0 %	0,0 %	0,0%	0,0%	0,0%		
	20	Recuento	1	0	0	0	0	Baja	Media

Tabla 24 (Continuación)

Rangos de Carga Orgánica e Hidráulica en función del tiempo para el material Fino con Espinos

Tiempo (semanas)		**% dentro de Carga Orgánica FC**	20,0 %	0,0 %	0,0%	0,0%	0,0%		
	21	**Recuento**	0	0	1	0	0	Baja	Alta
		% dentro de Carga Orgánica FC	0,0%	0,0 %	25,0 %	0,0%	0,0%		
	22	**Recuento**	0	0	1	0	0	Baja	Alta
		% dentro de Carga Orgánica FC	0,0%	0,0 %	25,0 %	0,0%	0,0%		
	23	**Recuento**	0	1	0	0	0	Baja	Alta
		% dentro de Carga Orgánica FC	0,0%	50, 0%	0,0%	0,0%	0,0%		
	25	**Recuento**	0	0	1	0	0	Baja	Alta
		% dentro de Carga Orgánica FC	0,0%	0,0 %	25,0 %	0,0%	0,0%		
	26	**Recuento**	0	0	0	0	1	Baja	Alta
		% dentro de Carga Orgánica FC	0,0%	0,0 %	0,0%	0,0%	16,7 %		
	27	**Recuento**	0	0	0	0	1	Baja	Alta
		% dentro de Carga Orgánica FC	0,0%	0,0 %	0,0%	0,0%	16,7 %		
	28	**Recuento**	0	0	0	0	1	Baja	Media
		% dentro de Carga Orgánica FC	0,0%	0,0 %	0,0%	0,0%	16,7 %		

Tabla 24 (Continuación)

Rangos de Carga Orgánica e Hidráulica en función del tiempo para el material Fino con Espinos

Tiempo (semanas)	**29**	**Recuento**	0	0	1	0	0	Baja	Alta
		% dentro de Carga Orgánica FC	0,0%	0,0 %	25,0 %	0,0%	0,0%		
	30	**Recuento**	0	0	0	1	0	Baja	Alta
		% dentro de Carga Orgánica FC	0,0%	0,0 %	0,0%	33,3 %	0,0%		
	32	**Recuento**	0	0	0	1	0	Baja	Media
		% dentro de Carga Orgánica FC	0,0%	0,0 %	0,0%	33,3 %	0,0%		
	33	**Recuento**	0	0	0	0	1	Baja	Alta
		% dentro de Carga Orgánica FC	0,0%	0,0 %	0,0%	0,0%	16,7 %		
	34	**Recuento**	0	0	0	1	0	Baja	Media
		% dentro de Carga Orgánica FC	0,0%	0,0 %	0,0%	33,3 %	0,0%		
	35	**Recuento**	0	0	0	0	1	Baja	Alta
		% dentro de Carga Orgánica FC	0,0%	0,0 %	0,0%	0,0%	16,7 %		
Total		**Recuento**	5	2	4	3	6	20	
		% dentro de Carga Orgánica FC	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100,0%	

4.3 AJUSTE DEL MODELO Y CÁLCULO DEL COEFICIENTE DE TRATABILIDAD.

4.3.1 PRUEBA DE NORMALIDAD (TEST DE KOLMOGOROV-SMIRNOV

En la tabla 25 se muestran los análisis de normalidad de la variable dependiente Se/Sa para cada edad de poda, en la cual se han determinado las significancias correspondientes de la evaluación de la prueba estadística. Los resultados muestran significancias de 0,153 para el material Fino con espinos, 0,200 para el material Grueso con espinos, 0,109 para el material Fino sin espinos y de 0,200 para el material Grueso sin espinos. Todos los valores obtenidos son mayores al nivel de significancia establecido en la prueba de hipótesis (0,05), con lo que se acepta la normalidad y homogeneidad de los datos por cada edad poda.

Tabla 25
Kolmogorov-smirnov para cada edad de poda

		Se/Sa Fino con espinos	Se/Sa Grueso con espinos	Se/Sa Fino sin espinos	Se/Sa Grueso sin espinos
N		12	13	20	19
Parámetros normales[a,b]	**Media**	0,387	0,365	0,412	0,404
	Desv. Desviación	0,077	0,081	0,098	0,104
Máximas diferencias extremas	**Absoluto**	0,209	0,152	0,175	0,117
	Positivo	0,209	0,120	0,175	0,105
	Negativo	-0,110	-0,152	-0,093	-0,117
Estadístico de prueba		0,209	0,152	0,175	0,117
Sig. asintótica(bilateral)		0,153[c]	0,200[c,d]	0,109[c]	0,200[c,d]
a. La distribución de prueba es normal.					
b. Se calcula a partir de datos.					
c. Corrección de significación de Lilliefors.					
d. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.					

De acuerdo con la tabla 26 la prueba de normalidad en base al test Kolmogorov-Smirnov, realizada al compilado de las edades de poda, determinó un nivel de

significancia menor al establecido en la prueba de hipótesis (0,05). Así, los datos agrupados no se adaptan a una distribución normal razón por la cual debe realizarse un ajuste mediante la transformación box-cox.

Tabla 26
Kolmogorov-smirnov para el material unificado

		Se/Sa ***Lantana camara***
N		64
Parámetros normales[a,b]	**Media**	0,396
	Desv. Desviación	0,093
Máximas diferencias extremas	**Absoluto**	0,120
	Positivo	0,120
	Negativo	-0,065
Estadístico de prueba		0,120
Sig. asintótica(bilateral)		0,022[c]
a. La distribución de prueba es normal.		
b. Se calcula a partir de datos.		
c. Corrección de significación de Lilliefors.		

4.3.1.1 Transformación Box-Cox: Material Unificado

La transformación Box-Cox de los datos de la variable dependiente Se/Sa de la base de datos unificada a través de la herramienta Minitab, se encuentra detallada en la figura 27. El valor de λ obtenido como resultado de la transformación es de 0,5. Con este valor, se establece que la transformación se realizó mediante la raíz cuadrada de los datos ingresados.

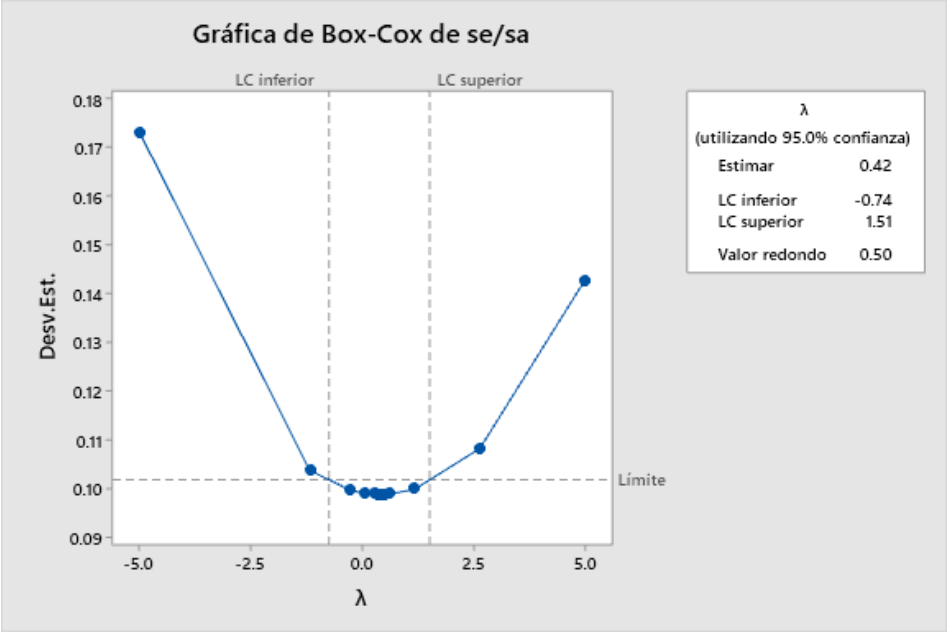

Figura 28. Gráfica de Box-Cox de Se/Sa

4.3.1.2 Material Unificado Corregido a través de Box-Cox

Una vez obtenidos los datos transformados mediante Box-Cox, se han sometido a una nueva evaluación de normalidad con el fin de comprobar la efectividad de la transformación. La prueba de Kolmogorov-Smirnov para los datos corregidos se presentan en la tabla 27. En ella se puede observar una significancia de 0,200 (mayor a 0,05), con lo que se establece que la transformación es válida.

Tabla 27
Prueba de Kolmogorov-Smirnov para los datos corregidos

		Raíz_cuadrada(Se/Sa)
N		64
Parámetros normales[a,b]	**Media**	0,625
	Desv. Desviación	0,074
Máximas diferencias extremas	**Absoluto**	0,097
	Positivo	0,097
	Negativo	-0,066

Tabla 27 (Continuación)

Prueba de Kolmogorov-Smirnov para los datos corregidos

Estadístico de prueba	0,097
Sig. asintótica(bilateral)	0,200[c,d]
a. La distribución de prueba es normal.	
b. Se calcula a partir de datos.	
c. Corrección de significación de Lilliefors.	
d. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.	

4.3.2 DETERMINACIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO

Aplicando la forma de la Ecuación 9. en una regresión no lineal dentro del programa SPSS, se determinan los valores de las constantes K y n, para la variable dependiente Sa/Se corregida y una profundidad (D) del filtro de 0,6 m. Se observan los parámetros determinados en la tabla 28:

Tabla 28
Determinación de las constantes K y n, para la variable dependiente Sa/Se

Estimaciones de parámetro				
Parámetro	**Estimación**	**Desv. Error**	**Intervalo de confianza de 95 %**	
			Límite inferior	**Límite superior**
K	0,797	0,050	0,686	0,907
n	0,025	0,083	-0,160	0,210

Los valores obtenidos de las constantes K y n mediante la regresión no lineal ejecutada son de 0,797 y 0,025 respectivamente. De esta forma se obtiene un modelo matemático de la forma a continuación presentado:

$$\sqrt{\frac{Se}{Sa}} = e^{\frac{-0,797\ D}{q^{0,025}}}$$

A partir del cual se evaluará el error o residuo de los datos predichos, respecto a los medidos en laboratorio.

4.3.2.1 Análisis de residuos ordinarios

Los residuos ordinarios se han calculado mediante la diferencia entre los valores medidos y los valores predichos por el modelo presentado anteriormente. A cada observación de la variable dependiente corregida le corresponde un residuo. A continuación, se presentan gráficamente los residuos calculados respecto a los valores predichos por el modelo matemático.

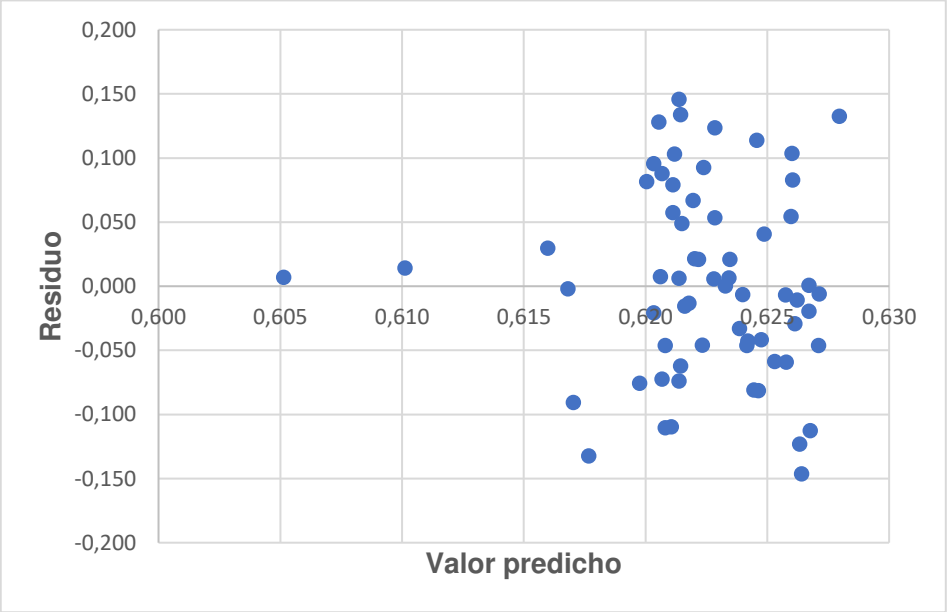

Figura 29. Residuos calculados respecto a los valores predichos

En la figura 28 se observa una nube de puntos sin una tendencia marcada alrededor del eje de las abscisas, pero si dispuestos de forma aleatoria principalmente entre valores de 0,615 y 0,630 en el eje x. Los residuos poseen valores muy cercanos a cero con lo que se determina que el error es bajo, y está en un rango entre ±0,15. Sin embargo, también se puede observar la presencia de dos puntos alejados de la nube principal, con valores inferiores a 0,615. Verificando la base de datos se determinó que, aunque el biofiltro está trabajando en un rango de cargas hidráulicas

bajas, los dos puntos atípicos observados corresponden a cargas hidráulicas muy por debajo de la media de 1,56 m^3/m^2d, con valores por debajo de 0,3 m^3/m^2d. Con este análisis, que sustenta la observación gráfica, se procede a retirarlos de la nube de puntos.

4.3.2.2 Constantes Empíricas: Depuración de Datos Atípicos

Una vez retirados de la base de datos los dos valores con cargas hidráulicas menores a 0,3 m^3/m^2d, producto del análisis gráfico de residuos ordinarios del apartado anterior donde se determina que están alejados de la disposición principal de la nube de puntos, se realiza la correspondiente regresión, cuyos resultados se muestran en la tabla 29.

Tabla 29
Valores obtenidos de la regresión no lineal para K y n

Estimaciones de parámetro				
Parámetro	**Estimación**	**Desv. Error**	**Intervalo de confianza de 95 %**	
			Límite inferior	**Límite superior**
K	0,916	0,118	0,645	1,188
n	0,541	0,436	-0,463	1,545

Las estimaciones de parámetros en la tabla 29 muestran que los valores obtenidos de la regresión no lineal para K y n son de 0,916 y 0,541 respectivamente. Comparados con los valores obtenidos antes de la eliminación de los datos fuera de rango (K=0,797 y n=0,025) se observa un incremento en las constantes. El incremento en el valor, especialmente en la constante n se considera como una mejora del modelo al disminuir la poca influencia que le otorgaba la carga hidráulica al modelo general al haber presentado un valor cercano a cero. Por lo tanto, se obtiene el siguiente modelo matemático:

$$\sqrt{\frac{Se}{Sa}} = e^{\frac{-0{,}916\ D}{q^{0{,}541}}}$$

A continuación, en la figura 29 se presenta el mismo análisis de residuos ordinarios realizado en el ítem anterior, aplicados los valores nuevos de las constantes K y n. La disposición de los datos de los residuos, tal como en el caso anterior, es aleatoria y sin una tendencia marcada con residuos cercanos a cero. Así, gráficamente los puntos presentan una varianza constante, y debido a que de esta forma se acepta este modelo como válido se sustenta el análisis con una evaluación de la varianza de los datos, presentes en la tabla 30. La significancia presenta un valor de 0,960; mayor a 0,05, con lo que se acepta que la varianza de los datos es uniforme.

Tabla 30
Evaluación de la varianza del análisis de residuos

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	0,003	3	0,001	0,099	0,960

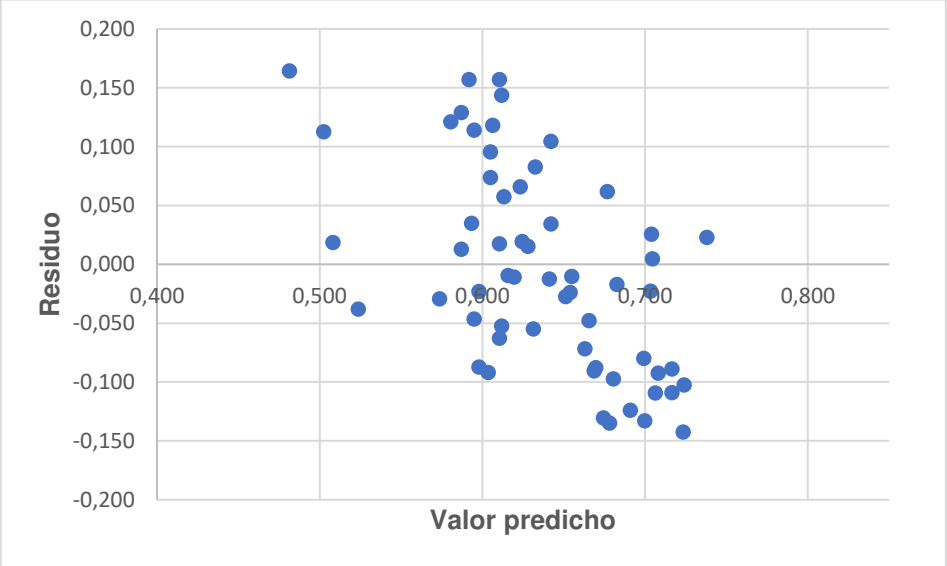

Figura 30. Análisis de residuos ordinarios de los k y n

4.4 PROPUESTA DE MODELO MATEMÁTICO

El modelo matemático propuesto por esta investigación para un biofiltro empacado con *Lantana camara*, para condiciones de temperatura entre 15,5°C y 23°C,

condiciones de pH entre 7,5 y 9,7 y cargas hidráulicas bajas se presenta en las formulaciones a continuación:

$$\sqrt{\frac{Se}{Sa}} = e^{\frac{-0,916\,D}{q^{0,541}}}$$ Ecuación 11.

De este modo, despejando la relación Se/Sa para establecerla con base a la Ecuación 9 se tiene que:

$$\frac{Se}{Sa} = e^{\frac{-2(0.916)*D}{q^{0,541}}}$$

$$\frac{Se}{Sa} = e^{\frac{-1,832*D}{q^{0,541}}}$$ Ecuación 12.

4.5 APLICACIÓN DEL MODELO EN LA PLANTA PILOTO SUTAR-Q.

La planta piloto del proyecto SUTAR-Q se encuentra implantada dentro de la Piscícola "El Molino" en la parroquia de Lloa al sur del Distrito Metropolitano de Quito. El biofiltro se encuentra empacado con *Lantana camara* en un tanque de polietileno virgen con las siguientes especificaciones:

Tabla 31
Dimensiones del biofiltro planta piloto SUTAR-Q.

Área	1,35 m^2
Volumen	0,50 m^3
Altura empacada	0,60 m

Durante la fase de muestreo en campo se obtuvieron los parámetros mostrados a continuación:

Tabla 32
Caracterización del agua residual del biofiltro planta piloto SUTAR-Q

Q (m^3/d)	DQO (mg/L)		pH		Temperatura (ºC)	
	Afluente (mg/L)	Efluente (mg/L)	Afluente	Efluente	Afluente	Efluente
0,11	138	53	7,76	7,72	16	16
0,10	556	176	8,82	8,2	22	22
0,12	124	47	7,96	7,75	18	17
0,08	119	47	8,5	8,03	18	18
0,13	183	64	7,79	7,38	14	11
0,16	51	13	7,17	7,15	23	22

La aplicación del modelo propuesto en los datos de campo obtenidos se presenta en la tabla 33. En ella se muestra el valor de la concentración de salida Se, y el cálculo del error para estas estimaciones con su respectiva desviación estándar.

Tabla 33
Aplicación del modelo propuesto con los datos de campo

Sa (mg/L)	Se/Sa	q (m^3/m^2*d)	Se (mg/L) calculado	Se (mg/L) Medido	%Error
138	0,38	0,92	43,80	53	17,36
556	0,32	0,92	176,52	176	0,29
124	0,38	0,92	39,25	47	16,79
119	0,39	0,92	37,87	47	19,13
183	0,35	0,92	58,08	64	9,01
51	0,25	0,92	16,24	13	24,92
Promedio					14,58
Desviación Estándar					8,66

De acuerdo con la tabla 33**,** las concentraciones calculadas con el modelo propuesto en comparación con los valores medidos se obtuvo un porcentaje de error igual al 14,58% con una desviación estándar igual a 8,66.

Con el fin de comparar los resultados obtenidos con los resultados a partir de modelos bibliográficos, se realiza una evaluación de los modelos de Eckenfelder, Oleskiewickz, Germain y Velz.

4.5.1 MODELO DE ECKENFELDER

La aplicación del modelo de Eckenfelder para los datos obtenidos en la planta piloto SUTAR-Q se muestra en la tabla 34. Utilizando estos valores, se calculó la concentración de salida la cual fue comparada con la concentración medida en el laboratorio obteniendo un error de 125,65% con una desviación estándar de 40,30.

Tabla 34
Valores de la concentración de salida con la aplicación del Modelo de Eckenfelder del biofiltro de la planta piloto SUTAR-Q

Sa (mg/l)	q (m^3/m^2*d)	K (m*d)^0,05	Z (m)	n	Se (mg/l) Calculado	Se (mg/l) Medido	%Error
138	0,92	0,45	0,6	0,05	105,46	53	98,99
556	0,92	0,45	0,6	0,05	424,92	176	141,43
124	0,92	0,45	0,6	0,05	94,77	47	101,63
119	0,92	0,45	0,6	0,05	90,94	47	93,50
183	0,92	0,45	0,6	0,05	139,86	64	118,52
51	0,92	0,45	0,6	0,05	38,98	13	199,82
Promedio							125,65
Desviación Estándar							40,30

4.5.2 MODELO DE OLESKIEWICZ

Los datos obtenidos de la aplicación del Modelo de Oleszkiewicz para la planta piloto SUTAR-Q se encuentran en la tabla 35, en la cual se muestran las concentraciones finales calculadas y comparadas las medidas en laboratorio, en las que se determina un porcentaje promedio de error de 167,37% con su respectiva desviación estándar de 36,97.

Tabla 35
Valores para la aplicación del Modelo de Oleszkiewicz del biofiltro planta piloto SUTAR-Q

Sa (mg/l)	L (kg/m^3*día)	k (kg/(m^2*d))	Se (mg/l) Calculado	Se (mg/l) Medido	%Error
138	0,25	0,02	127,18	53	139,97
556	0,99	0,02	544,85	176	209,57
124	0,22	0,02	113,23	47	140,92
119	0,21	0,02	108,25	47	130,33
183	0,32	0,02	172,08	64	168,87
51	0,09	0,02	40,89	13	214,57
Promedio					167,37
Desviación Estándar					36,97

4.5.3 MODELO DE GERMAIN

El modelo de Germain aplicado a los datos del biofiltro de la planta piloto SUTAR-Q para el cálculo de la concentración de salida se muestran en la tabla 36. Los datos procesados mediante el modelo nos proveen una concentración de salida para cada semana de muestreo. Al realizar la comparación con el valor medido se observa un porcentaje de error promedio de 28,63% con su desviación estándar de 12,75.

Tabla 36
Valores para la aplicación del Modelo de Germain del biofiltro planta piloto SUTAR-Q.

Sa (mg/l)	q (m^3/m^2*d)	k (m^-0,5*d^-0,5)	D (m)	Se (mg/l) Calculado	Se (mg/l) Medido	%Error
138	0,92	2,27	0,6	33,36	53	37,06
556	0,92	2,27	0,6	134,40	176	23,64
124	0,92	2,27	0,6	29,97	47	36,23
119	0,92	2,27	0,6	28,76	47	38,80
183	0,92	2,27	0,6	44,23	64	30,88
51	0,92	2,27	0,6	12,33	13	5,17
Promedio						28,63
Desviación Estándar						12,75

4.5.4 MODELO DE VELZ

El Modelo de Velz aplicado a los datos del biofiltro de la planta piloto SUTAR-Q calcula las concentraciones de salida para cada semana de muestreo dadas las características del modelo, con el fin de comparar estos valores con los determinados en el laboratorio, como se muestra en la tabla 37. El porcentaje de error promedio es de 91,95% con su respectiva desviación estar de 1,44.

Tabla 37
Valores para la aplicación del Modelo de Velz del biofiltro planta piloto SUTAR-Q

Sa (mg/l)	k (1/m)	D (m)	Se (mg/l) Calculado	Se (mg/l) Medido	%Error
138	0,02	0,6	3,76	53	92,90
556	0,02	0,6	15,15	176	91,39
124	0,02	0,6	3,38	47	92,81
119	0,02	0,6	3,24	47	93,10
183	0,02	0,6	4,99	64	92,21
51	0,02	0,6	1,39	13	89,31
Promedio					91,95
Desviación Estándar					1,44

4.5.5 VARIABILIDAD DE PARÁMETROS

Los valores de pH y temperatura se han sometido a la prueba de Kolmogórov-Smirnov para la evaluación de su variabilidad durante la fase de muestreo en campo empleando un nivel de significancia de 0,05 para su correspondiente evaluación. De este análisis se han obtenido los resultados presentes en las tablas 38 y 39.

Tabla 38
Prueba de Kolmogórov-Smirnov para datos de temperatura planta piloto SUTAR-Q

		Temperatura afluente (ºC)	Temperatura efluente (ºC)
N		9	9
Parámetros normales[a,b]	**Media**	19,00	18,55
	Desv. Desviación	2,96	3,68
Máximas diferencias extremas	**Absoluto**	0,195	0,191
	Positivo	0,188	0,175
	Negativo	-0,195	-0,191
Estadístico de prueba		0,195	0,191
Sig. asintótica(bilateral)		0,200[c,d]	0,200[c,d]
a. La distribución de prueba es normal.			
b. Se calcula a partir de datos.			
c. Corrección de significación de Lilliefors.			
d. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.			

De la tabla 38 se obtiene un nivel de significancia mayor a 0,05 para la evaluación de los datos de temperatura, lo que indica que valores no son variables en el tiempo de evaluación. Así mismo, se presentan los estadísticos descriptivos de las muestras analizadas donde las temperaturas se encuentran entre los 18 ºC y 19 ºC.

Los datos de pH evaluados reflejan de igual manera un nivel de significancia superior a 0,05; correspondiente a 0,2. El valor obtenido indica que los valores de pH no poseen mayor variabilidad entre sí, y de los cuales se ha determinado una media de 7,94 para el influente y una media de 7,69 para el efluente a lo largo del período de evaluación (tabla 39).

Tabla 39
Prueba de Kolmogorov-Smirnov para datos de pH planta piloto.

		pH afluente	pH efluente
N		9	9
Parámetros normales[a,b]	**Media**	7,94	7,69
	Desv. Desviación	0,51	0,42
Máximas diferencias extremas	**Absoluto**	0,190	0,199
	Positivo	0,190	0,120
	Negativo	-0,143	-0,199
Estadístico de prueba		0,190	0,199
Sig. asintótica(bilateral)		0,200[c,d]	0,200[c,d]
a. La distribución de prueba es normal.			
b. Se calcula a partir de datos.			
c. Corrección de significación de Lilliefors.			
d. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.			

4.6 ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE MODELOS

En la tabla 40 se puede observar un resumen de los cálculos de la concentración del efluente mediante modelos bibliográficos y el modelo sugerido en esta investigación. Todas las K empleadas son referidas a aguas residuales domésticas. Sin embargo, se conoce que la constante K del modelo de Oleszkiewicz además está categorizada para madera como lecho filtrante. Los valores medidos son aquellos tomados en campo, y corresponden a valores reales de concentración. Los valores calculados son las predicciones que cada modelo ofrece de acuerdo a sus especificaciones.

Tabla 40
Se (mg/L) calculado a través de los modelos bibliográficos

Se (mg/L) Medido	Se (mg/L) calculado.				
	Modelo Propuesto K=1,832	**Modelo de Eckenfelder K=0,45**	**Modelo de Oleszkiewicz K=0,02**	**Modelo de Germain K=2,27**	**Modelo de Velz K=0,02**
53	43,80	105,46	127,18	33,36	3,76
176	176,52	424,92	544,85	134,4	15,15
47	39,25	94,77	113,23	29,97	3,38
47	37,87	90,94	108,25	28,76	3,24
64	58,08	139,86	172,08	44,23	4,99
13	16,24	38,98	40,89	12,33	1,39

Con esta información, la tabla 41 muestra los errores obtenidos en el cálculo de la concentración del efluente posterior a la aplicación de cada modelo a los datos de la planta piloto. Los valores esperados más cercanos los tienen el modelo propuesto en esta investigación con un error de predicción del 14,58%, y a continuación el modelo de Germain con un error del 28,63%, en promedio. Aunque la desviación estándar del error más baja la presenta el modelo de Velz, sus predicciones superan el 90% de error promedio.

Tabla 41
% Error de la concentración de salida calculada con respecto a la medida

Se (mg/L) Medido	%Error				
	Modelo Propuesto K=1,832	**Modelo de Eckenfelder K=0,45**	**Modelo de Oleszkiewicz K=0,02**	**Modelo de Germain K=2,27**	**Modelo de Velz K=0,02**
53	17,36	98,99	139,97	37,06	92,9
176	0,29	141,43	209,57	23,64	91,39
47	16,79	101,63	140,92	36,23	92,81
47	19,13	93,5	130,33	38,8	93,1
64	9,01	118,52	168,87	30,88	92,21
13	24,92	199,82	214,57	5,17	89,31
Promedio	14,58	125,65	167,37	28,63	91,95
Desviación Estándar	8,66	40,3	36,97	12,75	1,44

La comparación entre constantes no se puede efectuar dadas las unidades que caracterizan cada modelo; sin embargo, comparando los resultados del modelo propuesto con el modelo de Oleszkiewicz al especificar el tipo de material empleado en el empaque, que corresponde a características similares (madera), se puede observar que las predicciones para material orgánico como lecho filtrante, específicamente *Lantana camara* son mejores al utilizar sus propias constantes K y n en el modelo ejecutado.

4.7 DISCUSIÓN

La metodología empleada para la determinación de la constante de tratabilidad “k” y la constante empírica dependiente del tipo de material de empaque “n” empleando datos experimentales en esta investigación es diferente a la presentada en bibliografía, donde se aplican gráficas que contienen una familia de curvas de las cuales se obtienen las pendientes, mismas que son equivalentes a las constantes deseadas (Romero Rojas, 2002). En este proceso, la metodología ha tenido que adaptarse a los datos experimentales disponibles, dado que no se dispuso de información de la demanda química de oxígeno (DQO) tomada a diferentes alturas del reactor para generar la familia de curvas para encontrar la constante “n”. En la bibliografía, una vez determinado el valor de “n” se determina el valor de “k” mediante métodos matemáticos simples y una gráfica de la cual se obtiene una pendiente de valor “k” (Romero Rojas, 2002). En esta investigación, el uso de métodos estadísticos es fundamental, guiándonos en el modelo básico de un reactor tipo flujo pistón para ser usado en una regresión no lineal.

La fase de toma de datos para la validación del modelo sugerido en este proyecto ha sido de seis semanas de las cuales se obtuvieron datos de demanda química de oxígeno, pH y temperatura. Aún cuando la base de datos conformada para la validación no es de tamaño comparable a la muestra tomada en laboratorio

(Martínez, 2018), la exactitud del modelo es del 85%, con un error promedio del 15%. Con una muestra de tamaño comparable a los datos de laboratorio, se pueden obtener niveles de error promedio más bajo, por lo que se sugiere continuar con la toma de datos en la planta piloto para aplicarlos en el modelo sugerido. Adicionalmente, apoyándonos en el análisis de residuos del modelo obtenido, si el modelo es acertado no debería existir una configuración organizada en los residuos; o una tendencia marcada, al contrario, deberían resultar en una distribución aleatoria (de Prada, 2014) tal como los residuos obtenidos en esta investigación.

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- El coeficiente de tratabilidad del biofiltro empacado con *Lantana camara,* obtenido considerando el funcionamiento del filtro como un reactor flujo pistón y con una cinética de primer orden, es de k= 1,832. La constante se obtuvo bajo condiciones de pH entre 7 y 9, temperaturas entre 15 °C y 23°C y cargas hidráulicas de rango bajo entre 0,03 y 3,5 m^3/m^2*d.

- La evaluación de variabilidad de los datos de pH y temperatura mediante el Test de Kolmogorov- Smirnov indica significancias de 0,20 para la temperatura y de 0,00 para los datos de pH. De este modo se demuestra que los datos de temperatura son homogéneos. Los datos de pH presentan una variabilidad entre ellos, sin embargo, sus rangos entre 7 y 9 permiten concluir que no afectan al funcionamiento del biofiltro de manera significativa.

- Se propone un modelo matemático que describe el funcionamiento del biofiltro empacado con *Lantana camara* a través de variables como la concentración de salida y entrada expresadas como Demanda Química de Oxígeno en mg/L, la profundidad del filtro, la carga hidráulica y las constantes que definen el material de empaque K=1,832 y n=0,541. El modelo matemático considera el material de empaque, sin clasificar el material por edades de poda, al verificar que las eficiencias de remoción que presentan son similares y trabajan bajo condiciones equivalentes.

- Los datos de campo aplicados al modelo propuesto reflejan niveles de predicción de la concentración del efluente más acertados respecto a los modelos de Eckenfelder, Germain, Oleszkiewicz y Velz. Así, los errores de

predicción de los modelos bibliográficos superan el 100%, con excepción del modelo de Germain que alcanza un promedio de error del 28%. Sin embargo, el modelo sugerido en esta investigación presenta un promedio de error de predicción del 15% con lo que se lo acepta como válido para este material de empaque específico.

5.2 RECOMENDACIONES

- Es recomendable determinar la influencia del grado de remoción de la carga orgánica medidos a diferentes alturas en un biofiltro empacado con *Lantana camara*, con el fin de poder establecer alturas de remoción efectivas y niveles máximos de remoción.

- Se recomienda realizar un estudio de la carga orgánica máxima que pueda ser removida de acuerdo a los niveles de eficiencia reportados en este estudio determinados a partir de la etapa de estabilización del reactor empacado con *Lantana camara.*

- Se recomienda realizar un estudio de tiempo de vida útil del material y su influencia en la remoción de la carga orgánica proponiendo la verificación de la hipótesis de la variación del valor de la constante de tratabilidad, tomando en cuenta el desgaste natural del medio orgánico (material de empaque).

- Se recomienda realizar un estudio considerando variaciones de temperatura fuera del rango utilizado en el presente estudio y su influencia en la remoción de la carga orgánica.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Apella, M. C., & Araujo, P. Z. (n.d.). *Microbiología de agua*. Conceptos básicos. http://www.ine.es/normativa/leyes/incinor.htm

Carollo, M. C., & Pateiro, B. (2011). PRÁCTICA 3. REGRESIÓN LINEAL SIMPLE CON SPSS. In *Estadística*. http://eio.usc.es/eipc1/BASE/BASEMASTER/FORMULARIOS-PHP-DPTO/MATERIALES/Mat_50140123_Práctica_3_.pdf

Castaño, E. (2011). Una estimación no paramétrica y robusta de la transformación Box-Cox para el modelo de regresión. *Lecturas de Economía*, *75*(75), 89–106. https://doi.org/10.17533/udea.le.n75a11477

Cervantes-Zepeda, A. I., Cruz-Colín, M. R., Aguilar-Corona, R., Castilla-Hernández, P., & Meraz-Rodríguez, M. (2011). Physicochemical and microbial characterization of the treated wastewater in a pilot scale UASB reactor. *Revista Mexicana de Ingeniera Quimica*, *10*(1), 67–77.

Cobas, H., Pavoni, S., Zayas, A., Rodriguez, F., Álvarez, E., & Contreras, R. (2007). Aplicación de la Voltametría en el Análisis del Crecimiento Microbiológico. *VII Congreso de La Sociedad Cubana de Bioingeniería Habana 2007*, *January*.

CONAGUA. (2014). Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Diseño de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales: Procesos de Oxidación Bioquímica con Biomasa Fija

Cóndor, V. (2019). *EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DE RESIDUOS OLEAGINOSOS Y SU COMPORTAMIENTO HIDRAULICO COMO LECHO FILTRANTE PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS*. https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/786%0Ahttps://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/786/1/CD-1222.pdf

Coronado, F. J. C., & Molinares, F. A. F. (2005). *UNA MIRADA GEOMETRICA DE BOX-COX*.

de la Guía, A. (2014). *Económicas Y Empresariales Grado En Economía*.

de Prada, C. (2014). *Validación de modelos.*

Diaz Pertegas, S., & Pita Fernandez, S. (2003). Cálculo del poder estadístico de un estudio. *Www.Fisterra.Com*, 1–7. http://www.fisterra.com/mbe/investiga/poder_estadistico/poder_estadistico2.pdf

Espinoza, D., & Nonato, K. (2019). *Eficiencia de biofiltros a base de cáscaras vegetales parar reducir metales pesados en aguas del río Chillón, Callao, 2019*.

García Bellido, R., González Such, J., & Jornet Meliá, J. M. (2010). Pruebas no Paramétricas. SPSS. Kolmogorov Smirnov. *Grupo de Innovacion Educativa. Universidad de Valencia*, 1–5. http://www.uv.es/innomide/spss/SPSS/SPSS_0802A.pdf

Garzón-Zúñiga, M. A., Buelna, G., & Moeller-Chávez, G. E. (2012). La biofiltración

sobre materiales orgánicos, nueva tecnología sustentable para tratar agua residual en pequeñas comunidades e industrias. *Tecnologia y Ciencias Del Agua*, *3*(3), 153–161.

Gómez, A., & Cuvi, N. (2016). Asentamientos informales y medio ambiente en Quito. *Areas: Revista Internacional de Ciencias Sociales*, *35*, 101–119.

Guerra, S., & Reinoso, G. (2016). EVALUACIÓN IN VITRO DE LA CAPACIDAD BACTERIANA PARA REMOVER PLOMO EN AGUAS RESIDUALES SINTÉTICAS. In *Tesis*. http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/5081/1/UPS-CYT00109.pdf

Hernández, F., & López, J. (2020). *Modelos Mixtos con R*. https://fhernanb.github.io/libro_modelos_mixtos/reg-diagnos.html

Hernández Vargas, L. A. (2017). Selección De La Metodologia Para Determinar Atipicos En Las Bases De Calculo De Un Indice De Costos. *Fundacion Universitaria Los Libertadores*, *53*(9), 1689–1699. file:///C:/Users/User/Downloads/fvm939e.pdf

Horiuchi, J. I., Shimizu, T., Tada, K., Kanno, T., & Kobayashi, M. (2002). Selective production of organic acids in anaerobic acid reactor by pH control. *Bioresource Technology*, *82*(3), 209–213. https://doi.org/10.1016/S0960-8524(01)00195-X

Huamaní, Z. (2018). ESTUDIO DE COEFICIENTES CINÉTICOS DE FILTROS PERCOLADORES POR ETAPAS, CON MEDIO FILTRANTE DE PIEDRA VOLCÁNICA. Высшей Нервной Деятельности, 2, 227–249.

INEC. (2017). *Gestión de Agua Potable y Alcantarillado_GAD Municipales 2017*. http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Encuestas_Ambientales/Municipios_2017/Agua_potable_alcantarillado-2017/PRESENTACION_AGUA_2017.pdf

Jaramillo, A., & Paredes, J. (2019). *"Evaluación de la eficiencia de un sistema de dos filtros percoladores en serie para el tratamiento de aguas residuales domésticas en la urbanización Santa Lucía – Morales, 2018"*. 95. https://repositorio.upeu.edu.pe/handle/UPEU/1832

Kaetzl, K., Lübken, M., Nettmann, E., Krimmler, S., & Wichern, M. (2020). Slow sand filtration of raw wastewater using biochar as an alternative filtration media. *Scientific Reports*, *10*(1). https://doi.org/10.1038/s41598-020-57981-0

Lara, C. (2017). *Estudio de la eficiencia en la remoción de DQO del residuo de mora y Lantana camara como material de empaque en sistemas de biofiltración.* Esciuela Politécnica Nacional.

Leal-Cornejo, F., López-García, R. E., Martínez-Montiel, M. G., Tapia-Castillo, D. I., & de León-Vázquez, I. I. (2019). Análisis de Regresión y Correlación Lineal Regression and Linear Correlation Analysis. *XIKUA Boletín Científico de La Escuela Superior de Tlahuelilpan*, *13*(13), 62–64. https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/xikua/issue/archive%0AXIKUA

Martínez, C. G. (2018). *MÉTODOS DE REMUESTREO Y VALIDACIÓN DE*

MODELOS: VALIDACIÓN CRUZADA Y BOOTSTRAP.

Matienzo, Y., Ramos, B., & Rijo, E. (2003). Revisión Bibliográfica Sobre Lantana Camara L. Una Amenaza Para La Ganadería. *Fitosanidad*, *7*(4), 45–55.

Matus, J. (1995). *Estadística Descriptiva E Inferencial I*. 1–88.

Mejía-López, A., Cabrera, M., & Carrillo, Y. (2017). *Remoción De Contaminantes Orgánicos Presentes En Agua Residual Doméstica Mediante Prototipo a Escala O Rganic Contaminants Removal in Domestic Wastewater Using a*. *26*(2), 72–83.

Méndez Rocha, M. F., & Ortiz Gómez, M. A. (2012). *Construcción y lectura de gráficos y tablas estadísticas en tesis de la licenciatura en psicología educativa de la Universidad Pedagógica Nacional*. 21–109. http://200.23.113.51/pdf/28977.pdf

Menéndez Gutiérrez, C., & Pérez Olmo, J. M. (2007). *Procesos para el tratamiento biológico de aguas residuales industriales*. http://library1.nida.ac.th/termpaper6/sd/2554/19755.pdf

Merayo, P. (2017). *¿CÓMO VALIDAR TU MODELO DE REGRESIÓN?* Máxima Formación. https://www.maximaformacion.es/blog-dat/como-validar-tu-modelo-de-regresion/

Metcalf, & Eddy. (2000). *Ingenieria de aguas residuales, tratamiento, vertido y reutilizacion*.

Miguez, M. B., Grohar, M., Aquino, D., Bouza, A., Herrera Cano, A., Lafuente Diaz, M., Scorza, V., Chamer, M., Amela García, M. T., & Hoc, P. S. (2013). *Biología Floral De Lantana Camara L . (Verbenaceae)*. *September*, 16–17.

Minitab. (2019a). Gráficas de residuos incluidas en Minitab. In *Soporte de Minitab*. https://support.minitab.com/es-mx/minitab/18/help-and-how-to/modeling-statistics/regression/supporting-topics/residuals-and-residual-plots/residual-plots-in-minitab/

Minitab. (2019b). Gráficas de residuos para Ajustar modelo de regresión. In *Soporte de Minitab*. https://support.minitab.com/es-mx/minitab/18/help-and-how-to/modeling-statistics/regression/how-to/fit-regression-model/interpret-the-results/all-statistics-and-graphs/residual-plots/

Montero Lorenzo, J. M. (2007). *Estadística descriptiva*. Editorial Paraninfo. https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=D6sj2d0xTgUC&oi=fnd&pg=PR4&dq=tabla+contigencia+estadistica+&ots=4oLiOInCyJ&sig=lTSPNEpNtvIgBoUkVYVOLgjk_J0#v=onepage&q=tabla de contingen&f=false

Montes, F. (2004). Análisis de la varianza: ANOVA. In *Estadística básica*. https://doi.org/10.14478/ace.2014.1087

Montoya Valer, S. K. (2017). *Factores Socioeconómicos Que Afectan Al Consumo Doméstico De Agua Potable Usando La Regresión Múltiple, Puno Ciudad - 2015*. 86.

Moreno, A. (2019). *Evaluación de la edad del resto de poda de Lantana camara*

como material de empaque en un sistema de biofiltración para aguas residuales domésticas. Esciuela Politécnica Nacional.

Olivier, J., & M. Norberg, M. (2010). Positively skewed data: revisiting the box-cox power transformation. *International Journal of Psychological Research*, *3*(1), 68–77. https://doi.org/10.21500/20112084.846

Ortiz Texon, J., Delgadillo Martínez, J., Rodríguez Mendoza, M., & Calderón Zaval, G. (2015). INOCULACIÓN BACTERIANA EN EL CRECIMIENTO Y CALIDAD DEL FRUTO DE CINCO VARIEDADES DE FRESA EN SUELOS CON pH CONTRASTANTE. *Terra Latinoamericana*, *1*, 177–185.

Osborne, J. W. (2003). Notes on the use of data transformations. *Practical Assessment, Research and Evaluation*, *8*(6), 2002–2003.

PMDOT-DMQ. (2015). *Plan Metropolitano de Desarrollo y Ordenamiento Territorial Propuesta Bibliografía*.

Quiroz Papa de García, R. (2003). *Los Cuadros Más Importantes Y Significativos*. *1*, 1-20;Creación:2010;Recuperado:10 mayo 2015. http://www.uoc.edu/in3/emath/docs/Chi_cuadrado.pdf

Ramalho, R. S. (2002). Filtros Percoladores. *Métodos Oficiales de Análisis Físicoquímicos Para Aguas Potables de Consumo Público.*, 1–21. http://cidta.usal.es/residuales/libros/logo/pdf/FILTROS_PERCOLADORES.pdf

Rendón-Macías, M. E., Villasís-Keever, M. Á., & Miranda-Novales, M. G. (2016). Estadística descriptiva. *Revista Alergia México*, *63*(4), 397. https://doi.org/10.29262/ram.v63i4.230

Restrepo, L. F., & González, J. (2007). De Pearson a Spearman. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, *20*(2), 183–192.

Reyes-Lara, S., & Reyes-Mazzoco, R. (2009). *EFECTO DE LAS CARGAS HIDRÁULICA Y ORGÁNICA SOBRE LA REMOCIÓN MASICA DE UN EMPAQUE ESTRUCTURADO EN UN FILTRO PERCOLADOR*. *8*(1), 101–109.

Reyes, J. V. (2016). *Determinación de la eficiencia del aserrín y la fibra de coco utilizados como empaques para la remoción de contaminantes en Biofiltros para el tratamiento de aguas residuales. 3*, 41–56. http://ingenieria.ute.edu.ec/enfoqueute/

Rivas, D. (2010). *Métodos Estadísticos: Análisis de Residuos*. 1–11.

Rivas M., G. (1993). Regresión no lineal. *Revista Colombiana de Estadística*, *14*(27), 89–102.

Rodríguez Jaume, M. J., & Mora Catalá, R. (2001). Análisis de las tablas de contingencia. *Estadística Informática: Casos y Ejemplos Con El SPSS*, 9–22.

Rodríguez, M. (2016). *Variabilidad de la inactivación microbiana y de la fase de latencia de los microorganismos supervivientes a un proceso de acidificación*. 247.

Rodriguez Molina, M., & Chambi Rodriguez, A. D. (2019). Determinación de la curva

de crecimiento microbiano Saccharomyces Boulardii en tunta variedades chaska y negra. *Fides et Ratio - Revista de Difusión Cultural y Científica de La Universidad La Salle En Bolivia*, *18*(18), 201–214.

Romero Ladino, Y. T., Rojas Ordóñez, L. F., & Rodríguez Miranda, J. P. (2017). *Evaluación de un filtro percolador sin recirculación con medio de soporte en PVC para el tratamiento de aguas residuales combinadas* (domésticas y pecuarias). 9(1), 38–48. https://doi.org/10.33304/revinv.v09n1-2017004

Romero Rojas, J. A. (2002). *Tratamiento_de_Aguas_Residuales_Romero_R.pdf* (p. 1233).

Rosales Arriaga, E. (2011). *Análisis de métodos alternativos para obtener información de temperatura del aire y estimar evapotranspiración usando imágenes satelitales*. 108. https://centrogeo.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1012/60

Sosa Hernandez, D. B. (2015). Uso de astillas de madera de mezquite (Prosopis) en un sistema de biofiltros para tratar aguas residuales municipales. *Tesis De Maestria*, 90.

Torres, P., Rodríguez, J., & Uribe, I. (2003). Tratamiento de aguas residuales del proceso de extracción de almidón de yuca en filtro anaerobio: influencia del medio de soporte. *Scientia et technica*, *3*(23). Https://doi.org/10.22517/23447214.7393

TULSMA, Libro IV- Acuerdo Ministerial 097-A 8 (2015).

Vigueras Cortés, J. M. (2012). *Innovación tecnológica para tratamiento de aguas residuales domesticas con biofiltros orgánicos*. 124.

Yu, H. Q., & Fang, H. H. P. (2003). Acidogenesis of gelatin-rich wastewater in an upflow anaerobic reactor: Influence of pH and temperature. *Water Research*, *37*(1), 55–66. https://doi.org/10.1016/S0043-1354(02)00256-7

Zambrano, D. A., & Hinestroza, J. D. (1998). Demanda Quimica De Oxígeno Y Nitrógeno Total, De Los Subproductos Del Proceso Tradicional De Beneficio Húmedo Del Café. *Cenicafé*, *49*(4), 279–289. http://www.cenicafe.org/es/publications/arc049(04)279-289.pdf

ANEXOS

ANEXO 1
Datos (Se/Sa) Transformados

Tabla de datos sin corregir, y datos corregidos mediante el método Box-Cox un lambda de 0,5.

Datos sin transformar	**Datos transformados (Box-Cox)**
Se/Sa	**sqrt(Se/Sa)**
0.36	0.60
0.37	0.61
0.39	0.62
0.37	0.61
0.30	0.55
0.45	0.67
0.40	0.63
0.39	0.63
0.46	0.68
0.34	0.58
0.56	0.75
0.26	0.51
0.51	0.72
0.28	0.53
0.40	0.63
0.24	0.49
0.31	0.56
0.39	0.63
0.41	0.64
0.39	0.62
0.37	0.61
0.46	0.68
0.41	0.64
0.32	0.57
0.25	0.50
0.51	0.71
0.49	0.70

0.47	0.69
0.33	0.58
0.26	0.51
0.57	0.76
0.59	0.77
0.33	0.58
0.52	0.72
0.33	0.57
0.37	0.61
0.36	0.60
0.32	0.57
0.39	0.63
0.38	0.62
0.38	0.62
0.44	0.67
0.30	0.54
0.55	0.74
0.34	0.58
0.30	0.55
0.50	0.71
0.56	0.75
0.49	0.70
0.38	0.61
0.42	0.65
0.42	0.64
0.30	0.54
0.35	0.59
0.46	0.68
0.34	0.58
0.23	0.48
0.50	0.71
0.26	0.51

0.38	0.62
0.53	0.73
0.39	0.62
0.58	0.76
0.30	0.54

ANEXO 2

BASE DE DATOS DEL PROYECTO “DESARROLLO DE UN SISTEMA DE BIOFILTRACIÓN UNIFAMILIAR PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES APLICADO A LA PROTECCIÓN DE QUEBRADAS SUTAR-Q, PIJ 17- 11”

No. Reactor	trh (hora)	Carga Hidráulica Promedio [m3/m2.día]	DQO [%]
1	5,5	2,44	47,06
2	6,45	2,44	81,97
3	10,63	1,55	43,26
4			48,39
5			45,73
6	8,74	1,55	58,63
7			84,63
8			35,67
9			73,43
10			33,4
11	15,15	1,06	40,42
12	15,81	1,06	49,72
1	6,6		
2	3,42		
3	11,88		
6	11,86		
11	19,7		
12	15,81		
1	6,88	2	42,04
2	2,84	5,07	71,24
3	13,46	1,3	37,61
4			32,52
5			24,12
6	8,3	1,39	60,62
7			31,86
8			11,06
9			18,36
10			8,41
11	12,31	1,06	38,05
12	20,56	0,94	30,31
1	5,69		
2	6,91		
3	13,46		
6	7,22		
11	16,41		
12	13,71		
1	5,16		
2	7,16		

3	8,41		
6	5,93		
11	10,37		
12	13,71		
1	6,35		
2	7,74		
3	13,46		
6	9,77		
11	21,89		
12	12,85		
1	6,35		
2	6,67		
3	12,62		
6	7,38		
11	16,41		
12	14,69		
1	4,65	2,42	12,47
2	6,91	2,23	45,53
3	9,61	1,48	22,66
4			44,91
5			28,69
6	7,22	1,85	44,49
7			59,67
8	-		17,88
9			31,19
10			15,38
11	10,94	1,14	-0,83
12	13,71	1,22	37,01
1	12,83		
2	146,44		
3	25,01		
6	586,39		
11	111,83		
12	48,95		
1	19,71		
2	398,68		
3	34,06		
6	236,1		
11	73,9		
12	55,18		
1	330,42	0,59	6,48

2	325,26	0,07	-14,96
3	2314,6	0,38	22,69
4			22,19
5			9,23
6	1495,49	0,03	6,48
7			6,23
8			63,59
9			-8,73
10			-33,17
11	359,98	0,14	-67,08
12	12,9	0,65	35,16
1	57,74		
2	270,64		
3	156,93		
6	147,01		
11	391,9		
12	16,58		
1	52,2		
2	208,61		
3	95,47		
6	289,06		
11	626,94		
12	27,01		
1	59,59		
2	128,97		
3	447,69		
6	22,32		
11	984,88		
12	48,37		
1	262,46		
2	452,46		
3	662,88		
6	22,9		
11	2933,89		
12	158,97		
1	158,47		
2	371,43		
3	1491,02		
6	24,9		
11	1181,85		
12	296,05		

1	30,01	0,22	19,1
2	231,45	0,07	19,1
3		0,06	67,64
4			57,29
5			43,77
6	24,72	0,4	56,5
7			33,95
8			38,73
9			16,71
10			36,07
11	2443,95	0,02	27,32
12	983,9	0,36	44,3
1	31,35		
2	305,66		
3	7089,23		
6	26,23		
11	1510,78		
12	1054,66		
1	60,85		
2	437,43		
3	305,89		
6	31,44		
11	473,68		
12	527,92		
1	462,7		
2	520,79		
3	481,05		
6	64,32		
11	744,91		
12	26,48		
1	452,46		
2	148,17		
3	175,98		
6	114,13		
11	875,94		
12	29,07		
2	232,98		
6	1288,6		
11	319,97		
12	13,79		
1	218,58		

6	344,1		
11	140,84		
12	474,19		
1	397,25		
6	1905,55		
11	2938,87		
12	326,32		
1	281,61		
2	302,88		
3	19,89		
6	1183,71		
11	21,55		
12	94,59		
1	6,54		
2	19,44		
3	30,01		
6	27,4		
11	51,59		
12	31,03		
1	22,83		
2	204,54		
3	584,93		
6	320,67		
11	1141,27		
12	11911,98		
1		0,47	52,63
2		0,16	57,26
3	13,54	0,44	52,45
4			60,62
5			54,54
6	1062,61	0,1	64,16
7			66,79
8			59,44
9			50,27
10			45,37
11		0,2	53,9
12		0,13	57,08
1	265,96		
2	8		
3	230,53		
6	80,25		

11	4080,2		
12	1863,17		
1	9,06		
2	165,3		
3	720,31		
6	92,55		
1	6,87		
2	12,89		
3	9,59		
6	35946,22		
11	426,45		
12	110,81		
1	374,83		
2	332,74		
3	10,69		
6	326,37		
11	410,66		
12	340,84		
2	6,69		
3	5,72		
12	163,1		
1	6,9	0,91	62,3
2	1663,69	0,95	57,8
3	59,04	1,08	50,72
4			66,67
5			67,02
6	3,78	0,66	38,91
7			52,93
8			63,66
9			59,08
10			64,45
11	23,56	0,13	59,51
12	132,41	0,07	55,79
1	2498,76		
2	1112,74		
3	1095,64		
6	770,18		
11	2575		
12	3695,51		
1	10,51		
2	11,35		

3	5,51		
6	7,64		
11	604,06		
12	2364,3		
1	4,85		
2	9,48		
3	6,45		
6	5,79		
11	433,35		
12	15,29		
1	11,62		
2	44,07		
3	12,55		
6	5,6		
11	489,57		
12	72,06		
1	15,54		
2	49,66		
3	27,15		
6	11,72		
12	116,12		
1	4,14	1,55	53,4
2	40,84	0,69	31,96
3	16,05	1,42	53,2
4			42,68
5			47,88
6	12,13	1,47	38,35
7			37,53
8			25,77
9			25,98
10			55,26
11	21,26	0,14	31,96
12	15,02	0,43	44,12
1	63,1		
2	42,47		
3	15,65		
6	13,59		
11	44,52		
12	16,55		
1	60,91		
2	52,23		

3	44,7		
6	131,28		
11	48,67		
12	50,35		
2	21,87		
3	262,11		
6	14,62		
11	26,86		
12	18,78		
2	16,56		
3	76,35		
6	12,97		
11	22,26		
12	18,57		
2	14,16		
3	40,07		
6	13,31		
11	23,28		
12	17,82		
1	8,45	0,34	50,61
2	25,87	0,68	66,01
3	758,04	0,36	
4			64,49
5			77,01
6	102,69	0,7	61,53
7			69,65
8			63,58
9			52,81
10			62,52
11	1317,27	0,45	61,76
12	1099,92	0,68	63,51
1	11,56		
2	31,6		
3	296,81		
6	42,22		
11	7,9		
12	182,98		
1	209,94		
2	13,28		
3	30,51		
6	92,23		

11	262,88		
12	74,08		
1	362,92		
2	9,89		
3	7,37		
6	6,9		
11	142,87		
12	113,87		
1	802,17		
2	470,03		
3	981,15		
6	11,66		
11	390,19		
12	1682,61		
1	5,5		
2	6,91		
3	10,91		
6	9,67		
11	93,9		
12	12,85		
1	17,28	0,75	
2	13,5	1,13	
3	169,06	0,74	
6	104,27	0,85	
11	4,12	1,05	
12	43,04	0,36	
1	3,57		
2	25,1		
3	96,04		
6	52,65		
11	2555,3		
12	97,79		
1	3,13		
2	29,3		
3	54,7		
6	43,83		
11	206,75		
12	91,35		
1	5,66		
2	102,16		
3	311,34		

6	117,98		
12	278,09		
1	173,13		
2	24,96		
3	148,84		
6	764,94		
11	167,17		
12	81,6		
1	6,87	2,5	54,5
2	8,94	0,74	62,31
3	7	0,6	67,87
4			55,48
5			58,93
6	313,95	0,15	60,44
7			69,52
8			61,49
10			62,01
11	10,24	0,35	56,91
12	6,63	0,63	66,29
1	53,84		
2	22,82		
3	22,39		
6	15,2		
11	1040,18		
12	44,73		
1	98,24		
2	11,04		
3	200,45		
6	52,35		
11	13,49		
12	51,49		
1	4,59		
2	16,45		
3	435,76		
6	25,41		
11	71,21		
12	396,38		
1	6,58		
2	28,57		
3	15,53		
6	245,23		

11	415,62		
12	221,42		
1	24,7		
2	366,66		
3	8,57		
12	319,4		
1	9,63	1,22	
2	3,85	1,29	
3	929,84	0,64	
6	18,16	0,41	
11	95,49	0,27	
12	11,96	0,38	
1	27,51		
2	22,32		
3	7,77		
6	41,51		
11	183,52		
12	17,13		
1	7,74		
2	7,28		
3	10,32		
6	31,15		
11	15,69		
12	21,22		
1	8,62		
2	6,4		
3	15,41		
6	25,15		
11	19,25		
12	22,04		
1	241,01		
2	23,54		
3	17,69		
6	8,08		
11	131,52		
12	140,7		
1	5,71	1,24	24,58
2	6,54	1,68	21,95
3	10,22	1,46	23,64
4			22,89
5			29,08

6	12,29	0,81	25,52
7			33,02
8			30,77
9			25,52
10			22,14
11	92,1	0,45	39,4
12	22,41	0,68	34,15
1	6,68		
2	19,58		
3	425,08		
6	6,55		
11	41,92		
12	71,98		
1	18,85		
2	88,34		
3	1106,46		
6	6,15		
11	221,19		
12	208,64		
1	7,7		
2	59,52		
3	2353,91		
6	5,53		
11	15,31		
12	7,99		
1		1,12	
2	199,68	0,33	37,61
3	22,92	0,19	37,1
5			30,69
6		1,68	
7			41,15
8			45,87
9			43,34
10			45,87
11	72,68	0,43	32,72
12	6,6	1,24	48,74
1	4,97		
2	133,97		
3	27,96		
6	15,33		
11	136,41		

12	9,49		
1	884,08		
2	66,6		
3	1622		
6	6,86		
11	142,41		
12	825,02		
2	46,72		
3	247,94		
6	5,54		
11	128,57		
1	459,52		
2	32,91		
3	45,46		
6	5,78		
11	60,31		
1	1641,34		
2	134,64		
3	281,06		
6	87,21		
11	91,4		
1	3,93	1,03	
2	606,74	0,22	
3	174,15	0,2	
6	23,29	1,4	
11	56,63	0,18	
12	24,9	0,41	
1	4,18		
2	28,15		
3	33,57		
6	7,43		
11	38,21		
12	18,41		
1	5,72		
2	56,33		
1	5,64		
12	6,55		
3	15,59	0,39	
6	10,42	0,78	
11	18,25	0,32	
12	13,61	1,17	

3	10,31		
6	6,34		
11	7,34		
12	11,1		
3	42,88		
6	31,54		
11	40,51		
12	7,67		
3	15,03		
6	11,28		
11	13,99		
12	8,82		
3	8,27		
6	11,71		
11	14,52		
12	5,9		
3	382,21		
6	12,09		
11	14,8		
12	25,03		
6	12,07		
11	14,56		
12	18,71		
3	7	1,07	
6	5,58	1,37	
11	6,48	1,36	
12	13,52	1,61	
3	13,33		
6	10,17		
11	37,46		
12	14,33		
3	22,19		
6	11,99		
11	14,21		
12	14,25		
3	32,51		
6	8,74		
11	31,71		
12	26,48		
3	25,24		
6	19,77		

11	24,4		
12	55,47		
3	32,44		
6	26,42		
11	35,36		
12	142,22		
3	15,79		
6	11,9		
11	15,4		
12	265,21		
3	7,55	0,98	69,84
6	6,2	1,22	70,03
11	7,68	0,9	64,03
12	9,82	0,74	69,36
3	21,9		
6	17,38		
11	21,36		
12	7,34		
3	15,79		
6	12,11		
11	16,55		
3	13,28		
6	10,82		
11	14,9		
12	23,86		
3	14,36		
6	11,32		
11	14,13		
12	14,01		
3	15,01		
6	11,22		
11	19,53		
12	20,25		
3	11,22		
6	8,85		
11	15,78		
12	21,64		
3	10,83	1,18	
6	8,9	1,23	
11	10,76	1,04	
12	5,9	1,23	

3	9,66		
11	9,09		
12	9,99		
3	9,9	1,4	48,89
6	12,7	1,11	49,78
11	9,48	1,29	54,22
12	8,91	1,41	42,81
3	17,76		
6	7,82		
11	7,67		
12	9,38		
3	22,71		
6	29,06		
11	22,16		
12	14,72		
3	9,01		
11	9,19		
3	11,96		
6	13,75		
11	10,02		
12	26,15		
3	109,54		
11	27,58		
3	13,1		
6	15,01		
11	12,87		
12	6,74		
3	15,14		
6	14,23		
11	14,07		
12	15,42		
3	13,57		
6	11,79		
11	12,49		
12	13,82		
3	13,56		
6	11,96		
11	12,34		
12	13,67		
3	14,55		
6	12,71		

11	18,56		
12	13,99		
3	14,29	1,03	
6	11,19	0,91	
11	11,61	1,11	
12	13,85	1,2	
3	17,22		
6	16,05		
11	14,28		
12	15,69		
3	10,96	1,18	50,95
6	10,37	1,09	43,94
11	9,96	1,24	43,8
12	11,05	1,22	40,44
3	12,84		
6	12,88		
11	12,53		
12	13,62		
3	18,31		
6	18,18		
12	18,46		
3	12,2		
6	10,53		
11	12,19		
12	11,6		
3	13,63		
6	4067,82		
11	14,79		
12	13,26		
3	9,21	1,28	
6	8,66	0,97	
11	9,45	1,16	
12	9,38	1,32	
3	12,65		
6	10,82		
11	12,31		
12	12,52		
3	11,83	1,32	52,56
6	10,97	1,02	50,77
11	11,83	1,15	52,08
12	12,6	1,33	52,44

3	12,98		
6	12,28		
11	14,18		
12	13,22		
3	10,72		
6	9,83		
11	11,88		
12	10,03		
3	16,25		
11	18,12		
12	16,35		
3	6,88		
6	822,62		
11	6,6		
12	6,69		
3	8,84	1,54	
6	11,28	0,88	
11	8,63	1,48	
12	8,85	1,58	
3	9,86		
6	14,49		
11	7,59		
12	10,04		
3	7,5	1,39	66,78
6	9,2	0,66	62,19
11	7,37	1,4	64,55
12	7,48	1,43	62,78
3	11,03		
6	14,03		
11	11,02		
12	11,08		
3	11,8		
6	17,21		
11	12,25		
12	11,99		
3	12,27		
6	16,4		
11	12,45		
12	11,81		
3	7,01		
11	7,46		

12	6,95		
3	10		
6	14,08		
11	10,86		
12	9,75		
3	10,41	1,17	73,84
6	17,89	0,59	58,31
11	9,7	1,1	62,53
12	10,09	1,21	72,28
3	10,66		
6	18,29		
11	10,13		
12	10,52		
3	10,38		
6	18,25		
11	10		
12	10,47		
3	10,16		
6	17,61		
11	9,75		
12	10,18		
3	13,46		
6	26,9		
11	13,31		
12	14,65		
3	13,01		
6	13,25		
11	11,48		
12	12,1		
3	11,94		
6	20,81		
11	11,55		
12	11,6		
3	9,17	1,23	42,96
6	14,79	0,63	35,92
11	9,34	1,26	47,89
12	9,52	1,26	38,03
3	15,41		
6	30,09		
12	17,54		
3	7,09		

6	7,37		
12	7,17		
3	10,61		
6	13,94		
12	11,04		
3	11,32		
6	15,54		
12	11,26		
3	12,81		
6	16,36		
11	12,13		
12	14,72		
3	19,56		
6	40,21		
12	19,91		
3	9,4	1,22	41,13
6	14,19	0,76	34,15
11	8,74	1,58	44,91
12	9,57	1,18	34,72
INF		0	
3	11,05	1,53	
6	29,68	0,89	
11	9,39		
12	10,31	1,53	
INF		0	
3	9,36	1,45	
6	7,53	0,89	
11	8,53		
12	20,78	1,31	
INF		0	
3	8,82	1,49	
6	9,16	0,96	
11	9,35		
12		1,09	
INF		0	
3	9,25	1,54	
6	7,11	1,11	
11	8,07	1,49	
12	16,84	1,02	
INF		0	
3	8,77	1,62	

6	6,92	1,27	
11	7,8	1,6	
12	46,16	0,91	
INF		0	
3	9,41	1,75	
6	7,77	1,47	
11	8,69	1,86	
12	36,03	0,86	
INF		0	
3	8,46	1,78	66,5893
6	6,84	1,62	58,4687
11	7,44	1,91	61,0209
12	19,36	0,73	60,3248
INF		0	
3	16,33	1,71	
6	9,3	1,76	
11	10,47	1,88	
12	22,11	0,61	
INF		0	
3	27,38	1,55	
6	9,65	1,7	
11	11,65	1,81	
12	22,01	0,6	
INF		0	
3		1,28	
6	9,03	1,71	
11	10,36	1,79	
12		0,6	
INF		0	
3	22,07	1,13	
6	10,13	1,62	
11	11,2	1,71	
12	22,3	0,57	
INF		0	
3	9,51	1,11	
6	6,31	1,65	
11	7,39	1,72	
12	11,27	0,73	
INF		0	
3	10,55	1,08	
6	6,63	1,69	

11	7,23	1,78	
12	11,17	0,87	
INF		0	
3	6,1	1,19	47,54
6	4,44	1,85	70,44
11	4,95	1,93	68,84
12	7,93	1,05	76,43
INF		0	
3		1,05	
6	13,92	1,78	
11	14,65	1,87	
12	32,82	1,02	
INF		0	
3	26,19	1,05	
6	16,51	1,69	
11	15,19	1,82	
12	23,69	1,01	
INF		0	
3	10,59	1,27	
6	8,27	1,71	
11	8,9	1,86	
12	14,49	1,17	
INF		0	
3	15,24	1,32	
6	10,64	1,71	
11	7,7	1,95	
12	12,49	1,26	
INF		0	
3	10,73	1,29	
6	5,67	1,74	
11	6,42	2	
12	9,22	1,31	
INF		0	
3	9,25	1,32	
6	5,39	1,81	
11	6,39	2,04	
12	9,1	1,36	
INF		0	
3	12,43	1,13	66,99
6	5,72	1,71	65,07
11	6,4	1,94	61,23

12	9,06	1,32	68,71
INF		0	
3	979,26	1,13	
6	8,39	1,8	
11	9,19	2,03	
12	14,96	1,4	
INF		0	
3	8,43	1,32	
6	6,25	1,99	
11	16,44	2,02	
12	12,01	1,5	
INF		0	
3	7,95	1,39	
6	4,87	2,16	
11	16,73	1,9	
12	7,9	1,64	
INF		0	
3	7,61	1,55	
6	6,12	2,29	
11		1,6	
12	6,93	1,79	
INF			
3	6,97	1,67	
6	5,45	2,3	
11	73,13	1,27	
12	7,1	1,87	
INF			
3	7,41	1,73	
6	5,71	2,28	
11	15,62	1,06	
12	6,93	1,95	
INF		0	
3	8,35	1,82	35,04
6	6,43	2,25	34,27
11	17,38	0,84	25,32
12	7,65	2	41,43
INF		0	
3	6,91	2,16	
6	5,39	2,37	
11	6,31	0,95	
12	12,38	2,04	

INF		0	
3	10,91	2,1	
6	10,53	2,25	
11	4,79	1,29	
12	14,28	2	
INF		0	
3	6,77	2,15	
6	5,49	2,2	
11	15,35	1,3	
12	6,28	2,08	
INF		0	
3	6,48	2,2	
6	5,61	2,23	
11	13,63	1,47	
12	6	2,14	
INF		0	
3	7,34	2,18	
6	5,73	2,21	
11	14,46	1,6	
12	6,78	2,15	
INF		0	
3	7,6	2,18	
6	5,57	2,22	
11	19,04	1,57	
12	8,77	2,08	
INF		0	
3	6,66	2,25	34,45
6	5,37	2,28	53,71
11	10,65	1,65	69,11
12	6,21	2,15	60,6
INF		0	
3	7,52	2,22	
6	6,8	2,21	
11	19,57	1,41	
12	8,06	2,26	
INF		0	
3	6,31	2,38	
6	4,91	2,42	
11	10,43	1,15	
12	5,86	2,5	
INF		0	

3		2,03	
6		2,07	
11		1	
12		2,11	
INF		0	
3	9,59	1,91	
6	7,78	1,97	
11	29,77	0,91	
12	10,18	1,95	
INF		0	
3	6,1	1,98	
6	4,92	2,03	
11	9,18	1	
12	5,93	2	
INF		0	
3	6,21	2,05	
6	4,68	2,09	
11	9,09	1,13	
12	5,81	2,14	
INF		0	
3	6,85	2,04	
6	5,23	2,1	
11	9,95	1,15	
12	6,64	2,12	
INF		0	
3	6,34	2,1	
6	4,93	2,21	
11	8,12	1,31	
12	6,27	2,2	
INF		0	
3	6,63	2,08	
6	5,18	2,19	
11	9,56	1,33	
12	6,28	2,17	
INF		0	
3	7,1	2,41	
6	5,59	2,53	
11	14,5	1,49	
12	6,96	2,52	
INF		0	
3	6,57	2,52	63,11

6	5,17	2,66	66,25
11	8,51	1,68	62,97
12	6,19	2,67	58,58
INF		0	
3	11,29	2,34	
6	9,51	2,47	
11	10,38	1,65	
12	18,06	2,4	
INF		0	
3	6,44	2,33	
6	5,09	2,44	
11	8,38	1,67	
12	6,29	2,37	
INF		0	
3	6,79	2,33	64,37
6	5,4	2,42	76,94
11	8,23	1,72	69,94
12	6,63	2,37	61,11
INF		0	
3	10,1	2,2	
6	6,92	2,31	
11	9,85	1,67	
12	8,45	2,27	
INF		0	
3	10,1	2,07	
6	6,92	2,22	
11	9,85	1,67	
12	8,45	2,17	
INF		0	
3		1,74	
6		1,87	
11		1,51	
12		1,83	
INF		0	
3		1,39	
6		1,5	
11		1,24	
12		1,44	
INF		0	
3		1,18	
6		1,3	

11		1,02	
12		1,31	
INF		0	
3		0,81	
6		0,92	
11		0,74	
12		0,93	
INF		0	
3	8,77	0,73	
6	7,04	0,83	
11	9,85	0,7	
12	8,77	0,84	
INF		0	
3	6,75	0,85	
6	5,03	0,94	
11	6,42	0,82	
12	6,75	0,91	
INF		0	
3	5,93	1,01	
6	4,8	1,06	
11	5,74	0,99	
12	6,16	1,02	
INF		0	
3	16	1,16	
6	12,26	1,22	
11	16	1,13	
12	15,91	1,17	
INF		0	
3	6,18	1,54	
6	5,04	1,6	
11	7,42	1,44	
12	6,32	1,54	
INF		0	
3	8,77	1,81	
6	7,04	1,88	
11	9,85	1,67	
12	8,77	1,82	
INF		0	
3	8,19	2,09	
6	6,69	2,17	
11	8,33	1,95	

12	8,51	2,1	
INF		0	
3	6,02	2,22	67,89
6	4,73	2,3	49,74
11	5,9	2,1	55,06
12	6,02	2,22	63,26
INF		0	
3	9,2	2,12	
6	7,36	2,18	
11	7,7	2,05	
12	7,1	2,21	
INF		0	
3	6,03	2,12	
6	4,98	2,16	
11		1,65	
12	6,67	2,18	
INF		0	
3	8,03	2,26	
6	6,84	2,29	
11	8,64	1,77	
12	7,81	2,33	
INF		0	
3	7,29	2,21	
6	6,09	2,22	
11	7,49	1,77	
12	9,28	2,21	
INF		0	
3	6,2	2,32	
6	4,87	2,35	
11	5,65	1,94	
12	12,63	2,13	
INF		0	
3	5,83	2,43	
6	4,72	2,47	
11	5,89	2,05	
12	58,22	1,89	
INF		0	
3	4,88	2,52	60,64
6	3,99	2,54	73,56
11		1,66	60,49
12		1,49	53,95

INF		0	
3	7,5	2,58	
6	4,74	2,69	
11	5,21	1,81	
12	6,42	1,53	
INF		0	
3	14,35	2,36	
6	10,86	2,48	
11	11,11	2,01	
12	12,45	1,36	
INF		0	
3	6,88	2,4	
6	5,96	2,52	
11	6,58	2,1	
12	6,42	1,43	
INF		0	
3	6,27	2,46	
6	4,73	2,61	
11	5,54	2,2	
12	5,76	1,58	
INF		0	
3	6,02	2,47	
6	5,27	2,58	
11	5,53	2,21	
12	5,56	1,82	
INF		0	
3	5,96	2,46	
6	4,95	2,56	
11	5,52	2,24	
12	5,6	2,21	
INF		0	
3	6,12	2,36	
6	5,09	2,46	
11	5,71	2,64	
12	24,24	2,31	
INF		0	
3	5,57	2,47	
6	3,96	2,54	
11	4,89	2,67	
12	6,74	2,29	
INF		0	

3	7,12	2,64	
6	4,99	2,74	
11	6	2,84	
12	6,32	2,48	
INF		0	
3	7,06	2,63	
6	5	2,81	
11	5,59	2,91	
12	6,19	2,49	
INF		0	
3		2,25	
6	5,65	2,74	
11	4,74	2,98	
12	6,52	2,44	
INF		0	
3	7,57	2,17	
6	4,77	2,78	
11	5,79	2,96	
12	6,32	2,39	
INF		0	
3	6,12	2,16	
6	4,52	2,82	
11	5,38	2,97	
12	5,59	2,39	
INF		0	
3	5,5	2,21	61,68
6	5,47	2,79	5,67
11	5,83	2,96	60,54
12	5,71	2,71	35,37
INF		0	
3	14,59	1,95	
6	10,26	2,49	
11	13,13	2,67	
12	12,33	2,55	
INF		0	
3	6,66	1,97	
6	4,36	2,55	
11	5,58	2,7	
12	5,43	2,61	
INF		0	
3	7,92	1,93	

6	5,14	2,54	
11	6,7	2,63	
12	6,38	2,6	
INF		0	
3	19,8	2,05	
6	9,31	2,4	
11	15,41	2,29	
12	11,75	2,44	
INF		0	
3	8,67	2,01	
6	5,06	2,38	
11	7,92	2,19	
12	6,19	2,45	
INF		0	
3	8,85	1,89	
6	5,02	2,34	
11	9,15	2,01	
12	6,37	2,4	
INF		0	
3	8,64	1,74	61,87
6	5,11	2,36	62,13
11	9,51	1,86	56,09
12	6,29	2,36	58,64
INF		0	
3	7,39	1,9	
6	4,55	2,6	
11	8,19	1,96	
12	5,58	2,59	
INF		0	
3	7,1	1,87	
6	4,39	2,59	
11	8,58	1,82	
12	17,8	2,29	
INF		0	
3	6,25	1,95	
6	10,13	2,41	
11	5,58	1,89	
12	4,4	2,45	
INF		0	
3	39,69	1,89	
6	32,64	2,26	

11	75,38	1,77	
12	7,68	2,56	
INF		0	
3	6,69	1,97	
6	4,18	2,34	
11	7,67	1,78	
12	4,89	2,66	
INF		0	
3	9,21	1,96	
6	5,45	2,31	
11	12,5	1,71	
12	6,37	2,66	
INF		0	
3	8,85	1,96	55,72
6	5,41	2,29	46,78
11	13,52	1,64	54,26
12	6,39	2,66	-
INF		0	
3	7,3	1,96	
6	4,79	2,27	
11	9,45	1,6	
12	5,62	2,66	
INF		0	
3	7,54	1,94	
6	4,39	2,27	
11	10,01	1,56	
12	5,56	2,95	
INF		0	
3	5,55	1,99	
6	3,22	2,68	
11	8,13	1,44	
12	3,88	3,02	
INF		0	
3		1,93	
6	8,21	2,85	
11		1,41	
12	9,85	2,96	
INF		0	
3	6,53	1,94	
6	4,51	2,82	
11	10,16	1,33	

12	5,93	2,87	
INF		0	
3	7,99	1,98	
6	4,61	2,88	
11	12,28	1,34	
12	5,38	2,94	
INF		0	
3	12,2	1,9	70,49
6	13,14	2,67	61,41
11	15,03	1,32	66,17
12	5,46	3	67,88
INF		0	
3	27,05	1,67	
6	4,95	2,66	
11	20,49	1,19	
12	5,45	3,02	
INF		0	
3	14	1,52	
6	4,26	2,67	
11	14,41	1,12	
12	4,94	3,07	
INF		0	
3		1,1	
6	4,57	2,5	
11	16,93	0,97	
12	5,38	2,9	
INF		0	
3		1,1	
6	4,48	2,69	
11	23	1,07	
12	5,36	3,1	
INF		0	
3	145,07	0,76	
6	4,59	2,69	
11	20,22	0,96	
12	5,28	3,15	
INF		0	
3	6,28	0,84	
6	5,42	2,62	
11	15,27	0,92	
12	5,33	3,16	

INF		0	
3	5,88	1,04	
6	5,03	2,86	
11	16,04	0,91	
12	5,48	3,15	
INF		0	
3	9,25	1,21	
6	7,98	2,71	
11	27,42	0,88	
12	8,02	3,01	
INF		0	
3		1,04	
6		2,26	
11		0,73	
12		2,53	
INF		0	
3		1,04	
6		1,84	
11		0,59	
12		2,08	
INF		0	
3		1,04	
6		1,4	
11		0,49	
12		1,64	
INF		0	
3		1,03	
6		0,98	
11		0,38	
12		1,18	
INF		0	
3		0,65	
6		0,63	
11		0,23	
12		0,73	
INF		0	
3	5,93	0,65	
6	4,69	0,65	
11	23,64	0,18	
12	5,92	0,7	
INF		0	

3	5,34	0,84	
6	5,82	0,74	
11	30,53	0,17	
12	5,48	0,84	
INF		0	
3	80,5	0,87	
6	6,17	1,06	
11		0,17	
12	5,77	1,26	
INF		0	
3		0,87	
6		1,06	
11		0,17	
12		1,26	
INF		0	
3	30,57	0,94	
6	10,35	1,24	
11		0,17	
12	9,48	1,51	
INF		0	
3		0,94	
6		1,24	
11		0,17	
12		1,51	
INF		0	
3		0,94	
6		1,24	
11		0,17	
12		1,51	
INF		0	
3		0,55	
6		0,83	
11		0,08	
12		1,1	
INF		0	
3	10,97	0,32	
6		0,5	
11		0	
12	4,48	1,2	
INF		0	
3	56,87	0,33	

6	35,07	0,24	
11		0	
12	5,19	1,25	
INF		0	
3		0,33	
6		0,24	
11		0	
12	4,26	1,81	
INF		0	
3		0,26	
6		0,06	
11		0	
12		1,56	
INF		0	
3	14,5	0,42	
6	13,11	0,2	
11	14,4	0,16	
12	3,01	2,35	
INF		0	
3	24,4	0,51	
6	3,84	0,71	
11	18,12	0,29	
12	329,39	2,36	
INF		0	
3	6,98	0,85	
6	3,5	1,26	
11		0,29	
12	14,88	2,52	
INF		0	
3	7,15	0,97	
6	5,73	1,6	
11	7,27	0,6	
12	7,79	2,29	
INF		0	
3	4,8	1,41	
6	3,86	2,04	
11	6,07	0,98	
12	4,75	2,34	
INF		0	
3	8,66	1,69	
6	7,13	2,31	

11	11,88	1,17	
12	9,56	2,03	
INF		0	
3	4,99	2,16	
6	2,78	3,01	
11	7,05	1,5	
12	4,29	2,58	
INF		0	
3	38,24	2,06	
6	6,71	3,15	
11	140,84	1,35	
12	7,82	2,09	
INF		0	
3	150,58	1,97	
6	4,36	3,09	
11	38,5	1,29	
12	7,11	2,42	
INF		0	
3	9,64	1,88	45,48
6	4,28	2,99	42,14
11	8,38	1,56	44,29
12	4,91	2,75	38,33
INF		0	0
3	8,09	1,84	
6	5,97	2,97	
11	62,43	1,28	
12	5,67	2,87	
INF		0	
3		1,35	
6		2,47	
11		0,9	
12		2,36	
INF		0	
3		1,08	
6		2,2	
11		0,71	
12		2,11	
INF		0	
3		0,61	
6		1,51	
11		0,39	

12		1,55	
INF		0	
3		0,55	
6		1,22	
11		0,37	
12		1,25	
INF		0	
3		0,53	
6		0,78	
11		0,31	
12		0,91	
INF		0	
3		0,29	
6		0,32	
11		0,04	
12		0,42	
INF		0	
3	8,37	0,28	
6		0	
11	9,23	0,25	
12	5,14	0,47	
INF		0	
3	7,17	0,61	
6		0	
11	7,56	0,55	
12	5,8	0,88	
INF		0	
3	7,12	0,94	
6		0	
11	7,63	0,85	
12	5,71	1,3	
INF		0	
3	11,56	1,14	
6		0	
11	11,1	1,06	
12	6,08	1,69	
INF		0	
3	11,59	1,34	
6	6,18	0,31	
11	7,71	1,36	
12	4,02	2,29	

INF			
3	7,87	1,64	
6	5,76	0,65	
11	7,52	1,66	
12	14,02	2,46	
INF			
3	8,26	1,93	66,01
6	5,89	0,98	70,38
11	7,11	1,98	73,95
12	4,56	2,98	74,67
INF		0	
3	8,26	1,93	
6	5,64	1,32	
11	6,47	2,09	
12	6,62	2,88	
INF		0	
3	4,91	2,08	
6	4,32	1,77	
11	4,37	2,31	
12	20,42	2,58	
INF		0	
3	4,99	2,22	
6	4,36	2,21	
11	4,49	2,52	
12	15,9	2,31	
INF		0	
3	7,18	2,35	
6	5,54	2,56	
11	5,55	2,73	
12	3,75	2,56	
INF		0	
3	4,69	2,65	
6		2,25	
11	5,01	2,89	
12		1,96	
INF		0	
3	5,12	2,81	
6	3,82	2,42	
11	4,76	3,06	
12	21,29	1,9	
INF		0	

3	5,63	2,94	
6	4,3	2,54	
11	5,4	3,17	
12	4,05	1,97	
INF		0	
3	5,9	3,05	
6	4,12	2,67	
11	5,4	3,24	
12	4,08	2,2	
INF		0	
3	5,69	2,99	
6	4,23	2,67	
11	3,77	3,32	
12	3,18	2,83	
INF		0	
3	11,25	2,73	
6	7,33	2,49	
11	7,89	3,1	
12	5,28	3,14	
INF		0	
3	8,42	2,68	
6	5,51	2,5	
11	5,92	3,08	
12	4,36	3,05	
INF		0	
3	4,33	2,72	
6	3,79	3,01	
11	4,04	3,19	
12	3	3,84	
INF		0	
3	4,32	2,8	
6	4,12	2,97	
11	4,26	3,24	
12	4,59	4,25	
INF		0	
3	4,2	2,95	
6	4,03	3	
11	4,18	3,36	
12	6,2	4,05	
INF		0	
3	5,06	3,01	

6	4,12	3	
11	4,92	3,41	
12	3,26	4,19	
INF		0	
3	4,7	3,1	
6	4,7	2,95	
11	5,27	3,23	
12	3,06	4,22	
INF		0	
3	6,19	3,27	
6	6,77	2,98	
11	8,34	3,22	
12	4,97	4,25	
INF		0	
3	6,62	3,34	
6	5,57	2,97	
11	7,33	3,14	
12	4,21	4,27	
INF		0	
3	6,08	3,19	
6	4,88	2,86	
11	7,53	2,88	
12	3,28	4,2	
INF		0	
3	5,16	3,1	
6	4,69	2,8	
11	6,72	2,68	
12	4,01	4,28	
INF		0	
3		2,54	
6		2,32	
11		2,13	
12		3,89	
INF		0	
3		2,08	
6		1,85	
11		1,67	
12		3,16	
INF		0	
3		1,58	
6		1,44	

11		1,23	
12		2,38	
INF		0	
3		1,2	
6		1,16	
11		0,96	
12		1,89	
INF		0	
3		0,84	
6		0,81	
11		0,65	
12		1,33	
INF		0	
3		0,46	
6		0,41	
11		0,34	
12		0,6	