



FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA DE CIVIL Y GERENCIA
DE CONSTRUCCIONES

**Ajuste de un Modelo Matemático para determinar el
comportamiento de las lagunas de tratamiento de aguas
residuales de Ucubamba**

Trabajo de graduación previo a la obtención del título de:

**INGENIERO CIVIL CON MENCIÓN EN GERENCIA DE
CONSTRUCCIONES**

AUTORES:

GARZÓN ANDRADE ANA LAURA
ORTIZ BERNAL GALO FABIÁN

DIRECTOR:

LARRIVA VÁSQUEZ JOSUÉ BERNARDO MST.

CUENCA, ECUADOR

2017

DEDICATORIA

Dedico de manera especial a mis padres Galo Ortiz y Guicela Bernal, quienes han sido el principal cimiento para la construcción de mi vida profesional, pues me han apoyado incondicionalmente y han sentado en mí la responsabilidad y los deseos de superación.

A mi esposa Anita Garzón quien me ha ofrecido su apoyo, amor y comprensión en todo momento.

Galo Ortiz Bernal

Dedico este trabajo a mis padres Jorge Garzón y Rocío Andrade, quienes han sido el principal cimiento para la construcción de mi vida profesional, pues me han apoyado incondicionalmente a lo largo de la vida.

A mi esposo Galo Ortiz quien ha estado en todo momento ofreciéndome su apoyo, amor y comprensión incondicional.

Ana Laura Garzón Andrade

AGRADECIMIENTOS

Queremos expresar nuestro agradecimiento

A nuestro director de Tesis Ing. Josué Bernardo Larriva Vásquez, M.Sc, por su generosidad al brindarnos la oportunidad de recurrir a su capacidad y experiencia en un marco de confianza, afecto y amistad, fundamentales para la finalización de este trabajo.

Nuestro agradecimiento también a la Universidad del Azuay por habernos abierto las puertas de su seno científico para poder estudiar nuestra carrera, así como también a los diferentes docentes que brindaron sus conocimientos y su apoyo para seguir adelante día a día.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
ÍNDICE DE CONTENIDOS	iv
ÍNDICE DE TABLAS	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	vii
ÍNDICE DE ANEXOS	x
RESUMEN	xi
ABSTRACT	xii
INTRODUCCIÓN	1
Objetivo General.....	3
Objetivos Específicos:	3
Metodología	3
Marco teórico.....	4
CAPITULO 1	8
Modelos matemáticos para el diseño de agua residual	8
1.1. Modelos y Criterios de Diseño.....	9
1.1.1 Lagunas Facultativas.....	11
1.1.2 Laguna de Maduración.....	21
1.2. Pruebas de tratabilidad.....	27
1.3. Diseño de las Lagunas de Estabilización	28
1.4. Nomenclatura.....	28
1.5. Herramientas utilizadas para los cálculos	32
1.5.1 MATLAB.....	32
CAPITULO 2	38
Ajustes de los modelos matemáticos más aplicables a nuestro caso de estudio	38
2.1. Antecedentes e información de la planta	38
2.1.1. Temperatura Ambiente	38
2.1.2. Temperatura del Agua.....	40
2.1.3. Caudal	42
2.1.4. Dimensiones.....	44
2.2. Análisis y comparación de los ajustes matemáticos aplicados	46
2.2.1. Método de Mezcla Completa	46
2.2.2. Método de Polprasert y Bhattarai.....	61

2.2.3. Método de Sáenz.....	76
2.2.4. Método de Yáñez	93
CAPITULO 3	110
Análisis y comparación de los resultados obtenidos en nuestra zona con otros casos de estudio reportados en la bibliografía y proyecciones futuras.....	110
3.1 Resultados Obtenidos con datos reales	110
3.2 Proyecciones de los resultados obtenidos	112
3.2.1 Proyección a 5 años.....	122
3.2.2 Proyección a 10 años.....	124
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	126
CONCLUSIONES	126
RECOMENDACIONES	128
BIBLIOGRAFÍA	129
ANEXOS	130

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1. Pruebas de Tratabilidad	27
Tabla 2-1. Altura, Volumen	44
Tabla 2-2. Valor "k" y % de Error; DBO.....	46
Tabla 2-3. Valor "k" y % de Error; Coliformes	47
Tabla 2-4. Valores DBO y Coliformes	56
Tabla 2-5. Valor "k" y % de Error; DBO.....	61
Tabla 2-6. Valor "k" y % de Error; Coliformes	62
Tabla 2-7. Valores DBO y Coliformes	71
Tabla 2-8. Valor "k" y % de Error; DBO.....	76
Tabla 2-9. Valor "k" y % de Error; Coliformes	77
Tabla 2-10. Valores DBO y Coliformes	86
Tabla 2-11. Valor "k" y % de Error; DBO.....	93
Tabla 2-12. Valor "k" y % de Error; Coliformes	94
Tabla 2-13. Valores DBO y Coliformes.....	103
Tabla 3-1. Valores de K experimental	110
Tabla 3-2. Valores de K Teórico.....	110
Tabla 3-3. Comparación de valores de K Teórico y K experimental.....	111
Tabla 3-4. Proyección 5 años, Datos reales y calculados	122
Tabla 3-5. Proyección 5 años, Comparación datos reales y obtenidos	123
Tabla 3-6. Proyección 10 años, Datos reales y calculados	124
Tabla 3-7. Proyección 10 años, Comparación datos reales y obtenidos	125

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2-1. Temperatura Ambiente año 2013	38
Figura 2-2. Temperatura Ambiente año 2014	38
Figura 2-3. Temperatura Ambiente año 2015	39
Figura 2-4. Temperatura Ambiente año 2016	39
Figura 2-5. Temperatura del Agua Facultativa 1	40
Figura 2-6. Temperatura del Agua Facultativa 2	40
Figura 2-7. Temperatura del Agua Maduración 1	41
Figura 2-8. Temperatura del Agua Maduración 2	41
Figura 2-9. Caudal 2013	42
Figura 2-10. Caudal 2014	42
Figura 2-11. Caudal 2015	43
Figura 2-12. Caudal 2016	43
Figura 2-13. Dispersión de datos Facultativa 1; Mezcla Completa DBO	48
Figura 2-14. Dispersión de datos Facultativa 2; Mezcla Completa DBO	48
Figura 2-15. Dispersión de datos Facultativa 1; Mezcla Completa Coliformes	50
Figura 2-16. Dispersión de datos Facultativa 2; Mezcla Completa Coliformes	50
Figura 2-17. Dispersión de datos Facultativa 1; Mezcla Completa DBO	52
Figura 2-18. Dispersión de datos Facultativa 2; Mezcla Completa DBO	52
Figura 2-19. Dispersión de datos Facultativa 1; Mezcla Completa Coliformes	54
Figura 2-20. Dispersión de datos Facultativa 2; Mezcla Completa Coliformes	54
Figura 2-21. Dispersión de datos Facultativa 1; Mezcla Completa DBO	57
Figura 2-22. Tendencia lineal media, calculada Facultativa 1; Mezcla Completa DBO	57
Figura 2-23. Dispersión de datos Facultativa 2; Mezcla Completa DBO	58
Figura 2-24. Tendencia lineal media, calculada Facultativa 2; Mezcla Completa DBO	58
Figura 2-25. Dispersión de datos Facultativa 1; Mezcla Completa Coliformes	59
Figura 2-26. Tendencia lineal media, calculada Facultativa 1; Mezcla Completa Coliformes	59
Figura 2-27. Dispersión de datos Facultativa 2; Mezcla Completa Coliformes	60
Figura 2-28. Tendencia lineal media, calculada Facultativa 2; Mezcla Completa Coliformes	60
Figura 2-29. Dispersión de datos Facultativa 1; Polprasert y Bhattarai DBO	63
Figura 2-30. Dispersión de datos Facultativa 2; Polprasert y Bhattarai DBO	63
Figura 2-31. Dispersión de datos Facultativa 1; Polprasert y Bhattarai Coliformes	65
Figura 2-32. Dispersión de datos Facultativa 2; Polprasert y Bhattarai Coliformes	65
Figura 2-33. Dispersión de datos Facultativa 1; Polprasert y Bhattarai DBO	67
Figura 2-34. Dispersión de datos Facultativa 2; Polprasert y Bhattarai DBO	67
Figura 2-35. Dispersión de datos Facultativa 1; Polprasert y Bhattarai Coliformes	69
Figura 2-36. Dispersión de datos Facultativa 2; Polprasert y Bhattarai Coliformes	69
Figura 2-37. Dispersión de datos Facultativa 1; Polprasert y Bhattarai DBO	72
Figura 2-38. Tendencia lineal media, calculada Facultativa 1; Polprasert y Bhattarai DBO	72
Figura 2-39. Dispersión de datos Facultativa 2; Polprasert y Bhattarai DBO	73
Figura 2-40. Tendencia lineal media, calculada Facultativa 2; Polprasert y Bhattarai DBO	73
Figura 2-41. Dispersión de datos Facultativa 1; Polprasert y Bhattarai Coliformes	74

Figura 2-42. Tendencia lineal media, calculada Facultativa 1; Polprasert y Bhattarai Coliformes.....	74
Figura 2-43. Dispersión de datos Facultativa 2; Polprasert y Bhattarai Coliformes.....	75
Figura 2-44. Tendencia lineal media, calculada Facultativa 2; Polprasert y Bhattarai Coliformes.....	75
Figura 2-45. Dispersión de datos Facultativa 1; Sáenz DBO.....	78
Figura 2-46. Dispersión de datos Facultativa 2; Sáenz DBO.....	78
Figura 2-47. Dispersión de datos Facultativa 1; Sáenz Coliformes.....	80
Figura 2-48. Dispersión de datos Facultativa 1; Sáenz Coliformes.....	80
Figura 2-49. Dispersión de datos, R^2 , Facultativa 1; Sáenz DBO.....	82
Figura 2-50. Dispersión de datos, R^2 , Facultativa 2; Sáenz DBO.....	82
Figura 2-51. Dispersión de datos, R^2 , Facultativa 1; Sáenz Coliformes.....	84
Figura 2-52. Dispersión de datos, R^2 , Facultativa 2; Sáenz Coliformes.....	84
Figura 2-53. Dispersión de datos Facultativa 1; Sáenz DBO.....	87
Figura 2-54. Tendencia lineal media, calculada Facultativa 1; Sáenz DBO.....	87
Figura 2-55. Dispersión de datos Facultativa 2; Sáenz DBO.....	88
Figura 2-56. Tendencia lineal media, calculada Facultativa 2; Sáenz DBO.....	88
Figura 2-57. Dispersión de datos Facultativa 1; Sáenz Coliformes.....	90
Figura 2-58. Tendencia lineal media, calculada Facultativa 1; Sáenz Coliformes.....	90
Figura 2-59. Dispersión de datos Facultativa 2; Sáenz Coliformes.....	91
Figura 2-60. Tendencia lineal media, calculada Facultativa 2; Sáenz Coliformes.....	91
Figura 2-61. Dispersión de datos Facultativa 1; Yáñez DBO.....	95
Figura 2-62. Dispersión de datos Facultativa 2; Yáñez DBO.....	95
Figura 2-63. Dispersión de datos Facultativa 1; Yáñez Coliformes.....	97
Figura 2-64. Dispersión de datos Facultativa 2; Yáñez Coliformes.....	97
Figura 2-65. Dispersión de datos Facultativa 1; Yáñez DBO.....	99
Figura 2-66. Dispersión de datos Facultativa 2; Yáñez DBO.....	99
Figura 2-67. Dispersión de datos Facultativa 1; Yáñez Coliformes.....	101
Figura 2-68. Dispersión de datos Facultativa 2; Yáñez Coliformes.....	101
Figura 2-69. Dispersión de datos Facultativa 1; Yáñez DBO.....	104
Figura 2-70. Tendencia lineal media, calculada Facultativa 1; Yáñez DBO.....	104
Figura 2-71. Dispersión de datos Facultativa 2; Yáñez DBO.....	105
Figura 2-72. Tendencia lineal media, calculada Facultativa 2; Yáñez DBO.....	105
Figura 2-73. Dispersión de datos Facultativa 1; Yáñez Coliformes.....	107
Figura 2-74. Tendencia lineal media, calculada Facultativa 1; Yáñez Coliformes.....	107
Figura 2-75. Dispersión de datos Facultativa 2; Yáñez Coliformes.....	108
Figura 2-76. Tendencia lineal media, calculada Facultativa 2; Yáñez Coliformes.....	108
Figura 3-1. Ecuación de la tendencia lineal media obtenida Facultativa 1. Datos reales DBO.....	112
Figura 3-2. Ecuación de la tendencia lineal media obtenida Facultativa 2. Datos reales DBO.....	112
Figura 3-3. Ecuación de la tendencia lineal media obtenida Facultativa 1. Datos reales Coliformes.....	113
Figura 3-4. Ecuación de la tendencia lineal media obtenida Facultativa 2. Datos reales Coliformes.....	113
Figura 3-5. Ecuación de la tendencia lineal media obtenida Facultativa 1. Mezcla Completa DBO.....	114

Figura 3-6. Ecuación de la tendencia lineal media obtenida Facultativa 2. Mezcla Completa DBO	114
Figura 3-7. Ecuación de la tendencia lineal media obtenida Facultativa 1. Mezcla Completa Coliformes.....	115
Figura 3-8. Ecuación de la tendencia lineal media obtenida Facultativa 2. Mezcla Completa Coliformes.....	115
Figura 3-9. Ecuación de la tendencia lineal media obtenida Facultativa 1. Polprasert y Bhattarai DBO	116
Figura 3-10. Ecuación de la tendencia lineal media obtenida Facultativa 2. Polprasert y Bhattarai DBO	116
Figura 3-11. Ecuación de la tendencia lineal media obtenida Facultativa 1. Polprasert y Bhattarai Coliformes	117
Figura 3-12. Ecuación de la tendencia lineal media obtenida Facultativa 1. Polprasert y Bhattarai Coliformes	117
Figura 3-13. Ecuación de la tendencia lineal media obtenida Facultativa 1. Sáenz DBO .	118
Figura 3-14. Ecuación de la tendencia lineal media obtenida Facultativa 2. Sáenz DBO .	118
Figura 3-15. Ecuación de la tendencia lineal media obtenida Facultativa 1. Sáenz Coliformes.....	119
Figura 3-16. Ecuación de la tendencia lineal media obtenida Facultativa 2. Sáenz Coliformes.....	119
Figura 3-17. Ecuación de la tendencia lineal media obtenida Facultativa 1. Yáñez DBO	120
Figura 3-18. Ecuación de la tendencia lineal media obtenida Facultativa 2. Yáñez DBO	120
Figura 3-19. Ecuación de la tendencia lineal media obtenida Facultativa 1. Yáñez Coliformes.....	121
Figura 3-20. Ecuación de la tendencia lineal media obtenida Facultativa 2. Yáñez Coliformes.....	121

ÍNDICE DE ANEXOS

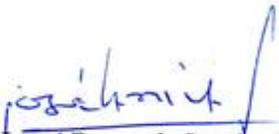
Anexo 1: Lenguaje de programación del software MATLAB.....	130
Anexo 2: Registros históricos de las temperaturas medias de la ciudad de Cuenca.	130
Anexo 3: Registro histórico de las temperaturas medias del agua de las lagunas Facultativas y de Maduración.	130
Anexo 4: Registro histórico de los caudales de las lagunas Facultativas y de Maduración.	130
Anexo 5: Procesamiento de los valores de “k” y porcentajes de error.	130
Anexo 6: Procesamiento de la dispersión lineal de las lagunas Facultativas.....	130
Anexo 7: Procesamiento ajustado de la dispersión lineal de las lagunas Facultativas.....	130
Anexo 8: Procesamiento de la dispersión y diferencia absoluta de las lagunas Facultativas.	130
Anexo 9: Procesamiento de la dispersión de los datos con los valores de “k” obtenidos....	130
Anexo 10: Procesamiento de la tendencia de los datos obtenidos y calculados.	130

**AJUSTE DE UN MODELO MATEMÁTICO PARA DETERMINAR EL
COMPORTAMIENTO DE LAS LAGUNAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES DE UCUBAMBA**

RESUMEN

El trabajo de investigación evalúa qué modelo matemático de cuatro analizados tiene mejor ajuste a los datos recopilados de los últimos 4 años, de la planta de tratamiento de aguas residuales de Ucubamba de la ciudad de Cuenca, para la depuración de materias orgánicas y patógenas. Mediante la aplicación de un análisis estadístico y la simulación de modelos matemáticos, se obtuvieron las constantes de decaimiento de los dos parámetros, para los modelos estudiados, determinándose las ecuaciones de ajuste a partir de las cuales se puede, como se muestra en el trabajo de titulación, realizar proyecciones de los resultados para los próximos años.

Palabras Clave: Modelo Matemático, Ucubamba, Cuenca, Depuración, Constantes de Decaimiento, Proyecciones.


Josué Bernardo Larriva Vásquez
Director de trabajo de titulación


José Fernando Vázquez Calero
Director de Escuela


Ana Laura Garzón Andrade


Galo Fabián Ortiz Bernal

Autores

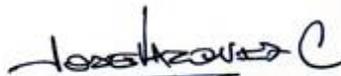
**ADJUSTMENT OF A MATHEMATICAL MODEL TO DETERMINE THE
BEHAVIOR OF UCUBAMBA WASTEWATER TREATMENT POND
SYSTEM**

ABSTRACT

This research work evaluated which of the four analyzed mathematical models better adjusted to the data collected during the last 4 years at the *Ucubamba* wastewater treatment plant built for the purification of organic and pathogenic materials in the city of Cuenca. The decay constants of the two parameters for the studied models were obtained through the application of a statistical analysis and the simulation of mathematical models. Hence, this graduation work determined the adjustment equations from which projections of the results for the coming years can be done.

Keywords: mathematical model, *Ucubamba*, Cuenca, purification, decay constants, projections.


For
Josué Bernardo Larriva Vásquez
Thesis Director

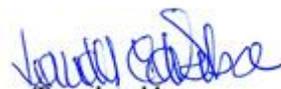

José Fernando Vázquez Calero
School Director


Ana Laura Garzón Andrade


Galo Fabián Ortiz Bernal

Authors


UNIVERSIDAD DEL
AZUAY
Dpto. Idiomas


Translated by
Lic. Lourdes Crespo

Ana Laura Garzón Andrade

Galo Fabián Ortiz Bernal

Trabajo de Titulación

Mst. Josué Bernardo Larriva Vázquez

Abril, 2017

AJUSTE DE UN MODELO MATEMÁTICO PARA DETERMINAR EL COMPORTAMIENTO DE LAS LAGUNAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE UCUBAMBA

INTRODUCCIÓN

Uno de los grandes desafíos hídricos que enfrentamos a nivel global es dotar de los servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento a la población, debido, por un lado, al crecimiento demográfico acelerado y por otro, a las dificultades técnicas, cada vez mayores, que conlleva hacerlo. Contar con estos servicios en el hogar es un factor determinante en la calidad de vida y desarrollo integral de las familias. El tratamiento de las aguas residuales domésticas o industriales en las Lagunas de estabilización constituye una alternativa viable donde existan terrenos disponibles de bajo costo y éste método de tratamiento sea más económico que otros métodos alternos, tales como lodos activados, digestión aerobia, bio-discos, filtros biológicos, digestión anaerobia o el reactor de flujo ascendente.

El tratamiento de aguas residuales en la ciudad de Cuenca se lo realiza en la planta de tratamiento de Ucubamba, dispone de 6 lagunas de remoción las mismas que serán analizadas para determinar su funcionamiento y modelo matemático que se apegue más a las condiciones reales.

En la actualidad no existe un modelo representativo que refleje la realidad de la remoción de contaminantes de las lagunas facultativas y de maduración, debido que al pasar el tiempo las condiciones de diseño que fueron establecidas para la construcción de las mismas han sufrido cambios por el aumento de la población provocando alteraciones en las condiciones del agua. La inexistencia de un adecuado modelo matemático que refleje y realice un seguimiento del funcionamiento de las lagunas es un factor importante, pues al no tenerlo no podemos determinar posibles cambios futuros. Esto se puede lograr mediante el procesamiento de datos obtenidos diariamente en cada laguna y emplearlos para el beneficio de la planta.

Estas circunstancias hace necesario tener extremo cuidado en que el método seleccionado corresponda a condiciones meteorológicas semejantes, de otra manera, existe el riesgo de diseñar y construir sistemas de lagunas que no se ajustan a las necesidades de tratamiento de una localidad específica. Los modelos existentes permiten estimar la eficiencia de la laguna en la remoción de DBO, DQO, Coliformes, calcular área, volumen, período de retención y estimar la DBO y NMP en el efluente.

También vendrán innovaciones para atender a la solución de problemas específicos de uso del efluente de lagunas, con el propósito de hacer un mejor uso de los recursos y establecer las bases del desarrollo sostenible.

Objetivo General

Determinar un modelo matemático que permita reflejar el comportamiento de las lagunas de tratamiento de aguas residuales de Ucubamba.

Objetivos Específicos:

- Investigar diferentes tipos de modelos matemáticos utilizados hoy en día aplicable en nuestro medio para el diseño de las lagunas de tratamiento de aguas residuales.
- Realizar un ajuste con los diferentes modelos matemáticos empleados hoy en día junto con los datos de los diferentes parámetros obtenidos de las lagunas de tratamiento.
- Analizar el comportamiento de la planta con los resultados obtenidos al aplicar los modelos matemáticos investigados y compararlos con los datos obtenidos en la bibliografía
- Determinar aquel modelo matemático que se ajuste de mejor manera a nuestra planta.

Metodología

Para la recopilación de información acerca de los diferentes métodos será necesario realizar una investigación profunda la cual se realizara mediante la utilización de distintas fuentes, tanto informáticas con el uso del internet hasta físicas mediante bibliotecas de la universidad y de la ciudad.

También se realizara una investigación experimental con dichos modelos mediante la utilización de herramientas informáticas y de un software para de esta manera poder obtener parámetros de diseño que se puedan aplicar en nuestra zona.

Finalmente se realizara una investigación experimental-comparativa referente al modelo matemático usado con un sistema de tratamiento que haya sido diseñado con el mismo modelo mediante la utilización de herramientas informáticas, software y gráficos estadísticos, así de esta manera realizar una investigación experimental mediante la utilización de herramientas informáticas y estadísticas para poder determinar qué modelo matemático es aquel que se acerque a nuestra realidad.

Marco teórico

Aguas Residuales

La generación de aguas residuales es una consecuencia inevitable de las actividades humanas. Estas actividades modifican las características de las aguas de partida, contaminándolas e invalidando su posterior aplicación para otros usos. Cada agua residual es única en sus características aunque en función del tamaño de la población, del sistema de alcantarillado empleado, del grado de industrialización y de la incidencia de la pluviometría, pueden establecerse unos rangos de variación habituales, tanto para los caudales como para las características fisicoquímicas de estos vertidos.

Tipos de contaminantes del agua

El tipo de contaminantes presentes en el agua varían entre productos químicos, basura y otras partículas extrañas. Además de ser contaminada de las formas usuales conocidas, el agua puede ser térmicamente afectada y esta forma de contaminación puede traer consecuencias químicas desastrosas tales como la reducción de oxígeno disuelto. (HO, 2002)

Las normas que regulan los tratamientos secundarios están basadas en las tasas de eliminación de la materia orgánica, sólidos en suspensión y patógenos presentes en el agua residual. Gran parte de la normatividad, incluye el control de la eliminación de nutrientes y de los contaminantes prioritarios.

Cuando se pretende reutilizar el agua residual, las exigencias incluyen también la eliminación de compuestos orgánicos refractarios, metales pesados y algunas veces sólidos inorgánicos disueltos. (Agua C. N., Manual de sistemas de tratamiento de aguas residuales utilizados, 2013)

Características de los tratamientos de las aguas residuales

El conocimiento de los caudales y características de las aguas residuales generadas en las aglomeraciones urbanas es básico para el correcto diseño de los sistemas de recogida, tratamiento y evacuación de las mismas. Las estaciones depuradoras de aguas residuales, deben concebirse para poder hacer frente a las variaciones diarias de caudal y carga que experimentan estas aguas.

Uno de los factores indispensables para tener una adecuada protección de las fuentes de suministro de agua es contar con tecnologías y estudios que provean un tratamiento efectivo y adecuado al agua residual. Para la realidad de nuestro país es necesario tomar en cuenta los recursos económicos y humanos, los cuales se traducen en implantar sistemas eficientes, poco mecanizados y de bajo costo de inversión y operación. Una opción óptima en cuanto a los factores señalados son las lagunas de maduración las mismas que se han empleado para tratar aguas residuales desde hace 3,000 años. Las lagunas son depósitos construidos mediante la excavación y compactación de la tierra donde el agua residual se almacena para su tratamiento por medio de la actividad bacteriana con acciones simbióticas de las algas y otros organismos. (Agua S. A., 2008)

Tratamiento de aguas residuales mediante lagunas

Las lagunas constituyen un tratamiento alternativo interesante ya que permiten un manejo sencillo del agua residual, la recirculación de nutrientes y la eliminación de patógenos presentes.

A pesar de su aparente simplicidad, las lagunas de estabilización son reactores bioquímicos complejos que requieren un adecuado diseño " y más que el tipo de modelo matemático que se emplee para su diseño, es necesario tomar en cuenta las condiciones ambientales que determinan su forma de operación. (Agua C. N., Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento, 2007)

Tipos de tratamientos de aguas residuales

La remoción de todos estos componentes depende de varios procesos y tratamientos. El objetivo de un tratamiento preliminar es retirar del agua residual aquellos sólidos suspendidos que por su naturaleza presentan interferencias en etapas posteriores del proceso.

En la etapa de tratamiento primario las partículas mayores se eliminan haciendo que el agua fluya a través de pozos donde van a ir depositándose lentamente en forma de lodos. Por otro lado, otra capa menos densa que el agua, formada por ceras, aceites, grasas y espumas se retira de forma mecánica. A través de este tratamiento se elimina un 30% de la demanda bioquímica de oxígeno.

El agua resultante tiene aún un valor de DBO muy elevado, y es muy nociva para los peces si se vierte directamente en esta etapa. Es por ello que es necesario una etapa de tratamiento secundario, donde la mayor parte de la materia orgánica disuelta y suspendida en el agua se oxida biológicamente (formándose CO_2 y H_2O , y algo de NO_3 – debido a la nitrificación) de forma rápida por medio de ciertas bacterias aeróbicas que se mantienen en un sistema bien aireado para facilitar la oxidación. En esta etapa el valor de DBO desciende a menos de 100 mg/L, que supone, aproximadamente, un 10% del agua original no tratada, de forma que, diluida ya en el medio natural podría ser factible la sostenibilidad de la vida acuática. (Rubens Sette Ramalho, Domingo Jiménez Beltrán, & Federico de Lora, 2003)

El tratamiento terciario o avanzado Tiene como objetivo complementar los procesos anteriormente indicados para lograr efluentes más puros, con menor carga contaminante y que pueda ser utilizado para diferentes usos como recarga de acuíferos, recreación, agua industrial, etc. (Ríos, 2006)

CAPITULO 1

Modelos matemáticos para el diseño de agua residual

Existe una gran variedad de metodologías de diseño para sistemas de tratamiento de aguas residuales, de los cuales se debe seleccionar aquel que sea el más adecuado para cada situación en específico.

Para el diseño de estos sistemas, existen diversos criterios que deben ser considerados, entre los cuales se pueden mencionar el costo, la operación y el mantenimiento. Además, el diseño debe estar apegado a la normatividad correspondiente de forma general, un sistema de tratamiento adecuado es aquél que produce la calidad del agua requerida para un determinado reúso y/o descarga a un cuerpo receptor preestablecido, al menor costo posible.

Tradicionalmente se ha distinguido cuatro tipos de lagunas: aerobias, anaerobias, facultativas y de maduración. Una laguna es un reactor diseñado y construido mediante excavación del suelo y construcción de diques para formar vasos capaces de retener el agua residual un período determinado de tiempo para obtener un efluente de una calidad establecida de acuerdo a las normas ambientales.

Laguna Aireada: Es aquella en la cual hay oxígeno disuelto en toda la masa de agua, tienen poca profundidad, hasta donde penetra la luz solar, profundidad máxima de 0,50 m. Las lagunas aireadas se pueden implementar cuando se requieren condiciones predominantemente aerobias, o cuando se necesita aumentar el tiempo de residencia como consecuencia de incremento del caudal, o de la carga orgánica del afluente, y el terreno no permite dicha ampliación. (Agua C. N., 2008)

Laguna Anaerobia: Es profunda, de 2,50 a 5,00 m. Recibe una carga orgánica de 100 a 400 g DBO/m³.d. La depuración se realiza en ausencia de oxígeno libre (condiciones anoxicas) y/o combinado (anaerobia).

Laguna Facultativa: Tiene una profundidad de 1,50 a 2,20 m, la capa profunda es anaerobia y la capa superficial es aerobia, en zonas cálidas acepta cargas superficiales entre 250 y 600 kg/DBOha.d. es el tipo de laguna de estabilización más comúnmente usado. En algunos casos puede haber aeración artificial en parte de ellas. (Agua C. N., 2007)

Laguna de Maduración: Recibe el efluente de otros sistemas de tratamiento o de lagunas facultativas, se utiliza para destruir organismos patógenos, su profundidad máxima es de 1,50 m. (Flores, Un nuevo enfoque en el estado del arte en el diseño de Lagunas de Estabilizacion, 2005)

1.1. Modelos y Criterios de Diseño

El diseño de lagunas de estabilización se ha llevado a cabo tradicionalmente mediante procedimientos simplificados, basados por lo general en la eliminación de una sola variable (materia orgánica como DBO₅ es la variable de diseño por excelencia). Existe una gran variedad de métodos de diseño, lo que constituye un reflejo de las múltiples condiciones en las que éstos han sido deducidos (distintos tipos de alimentación, situación geográfica, condiciones climáticas, etc.).

Los parámetros en los que se basan normalmente los cálculos son uno o varios de los siguientes:

- Carga volumétrica (g DBO₅/m³ día).
- Carga superficial (kg DBO₅/ha día).
- Tiempo de retención hidráulica (días).

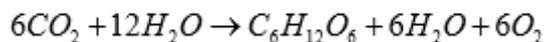
(Rubens Sette Ramalho, Domingo Jiménez Beltrán, & Federico de Lora, 2003)

En la actualidad se presentan y se discuten diferentes modelos de acuerdo a las condiciones meteorológicas, aquí se presentan los modelos más importantes para el diseño de lagunas de estabilización en función de la remoción de materia orgánica, medida como DBO y la extinción de coniformes medidos como NMP/100 ml.

Remoción de DBO

En las lagunas anaerobias la remoción de DBO se asegura (como en los tanques de sépticos) por la sedimentación de sólidos sedimentables y la subsecuente digestión anaerobia en la capa de lodos resultante: éste es particularmente intenso a temperaturas por encima de los 15 °C cuando la superficie lagunar burbujea liberando el biogás la producción del metano se incrementa siete veces más en 5 °C de aumento de temperatura. (Flores, UN NUEVO ENFOQUE EN EL ESTADO DEL ARTE EN EL DISEÑO DE ESTABILIZACIÓN, 2005)

La reacción que ocurre normalmente es la siguiente:



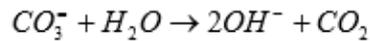
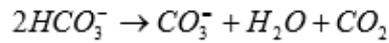
Se puede observar que existe una relación entre algas y bacterias.

Remoción de patógenos

Bacterias: Las bacterias fecales son removidas en las lagunas anaerobias y facultativas pero especialmente en las lagunas de maduración cuyo tamaño determina la cantidad de coniformes fecales en el efluente final. Los principales mecanismos de remoción de bacterias fecales dependen de los siguientes factores:

- Tiempo
- Temperatura
- Alto pH (>9)
- Alta intensidad de luz

Ocurren en las lagunas por la velocidad de fotosíntesis de las algas que consumen CO₂ rápidamente que es aprovechado por la respiración de bacterias; como resultado de este proceso los iones carbonato y bicarbonato se disocian:



1.1.1 Lagunas Facultativas

El diseño de lagunas facultativas se basa en la eliminación de demanda biológica de oxígeno (DBO); sin embargo, la mayoría de los sólidos en suspensión se eliminarán en la célula primaria de un sistema de estanque facultativo. La retroalimentación de lodos, fermentación de compuestos orgánicos en el agua en un sistema de lagunas es significativo y tiene un efecto sobre el rendimiento. Durante la primavera y el otoño, el vuelco térmico de los contenidos del estanque puede dar lugar a cantidades significativas de sólidos bentónicos que se volvieron a suspender. La tasa de acumulación de lodos se ve afectada por la temperatura del líquido, y se añade un volumen adicional para la acumulación de lodos en climas fríos. Aunque suspenderán los sólidos totales (SST) tienen una profunda influencia en el rendimiento de los sistemas de lagunas, la mayoría de las ecuaciones de diseño simplifican la incorporación de la influencia de los SAT mediante el uso de una constante de velocidad de reacción global. Varios modelos empíricos y racionales para el diseño de estos estanques se han desarrollado.

Estos estanques son de dos tipos: lagunas facultativas primarias que reciben aguas residuales crudas (después de cribado y desarenado) y lagunas facultativas secundarias que reciben asentaron las aguas residuales de la etapa primaria (por lo general las lagunas anaerobias de efluentes).

Lagunas facultativas están diseñados para la eliminación de DBO5 en función de su "carga orgánica superficial" El término se refiere a la cantidad de materia orgánica, expresada en kilogramos de DBO5 por día, aplica a cada hectárea de superficie del estanque, por lo que las unidades totales son kilogramos de DBO5 por hectárea de superficie del estanque facultativo área por día - es decir, kg DBO5 / ha d se utiliza una carga orgánica relativamente bajo de la superficie (por lo general en el rango de 80 a 400 kg DBO5 / ha d, dependiendo de la temperatura de diseño) para permitir. Para el desarrollo de una población de algas activo. La profundidad de los estanques facultativos está en el intervalo 1 a 2 m, con 1,5 m siendo el más común.

El mantenimiento de una población de algas saludable es muy importante como las algas generan el oxígeno necesario por las bacterias para eliminar el DBO5. Las algas dan lagunas facultativas un color verde oscuro. Estanques de vez en cuando pueden aparecer de color rojo o rosa, debido a la presencia de bacterias fotosintéticas anaeróbicas púrpura oxidantes de sulfuro (Mara y Pearson, 1986). Este cambio en la ecología laguna facultativa se produce debido a una ligera sobrecarga DBO5, por lo que los cambios de color en lagunas facultativas son un buen indicador cualitativo de la función estanque.

La concentración de algas en un estanque facultativo que funcione bien depende de la carga y temperatura. Por lo general, en el rango de 500 a 1000 μ g clorofila-a por litro (concentraciones de algas se expresa mejor en términos de la concentración de su director pigmento fotosintético).

La actividad fotosintética de los resultados de algas en una variación diurna de oxígeno disuelto concentración y el pH (DO). La concentración de DO puede elevarse a más de 20 mg / l (es decir, condiciones altamente sobresaturadas) y el pH a más de 9,4 (estos son ambos factores importantes en la eliminación de bacterias y virus fecales.

Eliminación de DBO5 en estanques facultativos Primaria es de aproximadamente 70 por ciento sobre una base sin filtrar y más de 90 por ciento sobre una base de filtrado (filtrado de la muestra antes del análisis DBO5 excluye la DBO5 debido a las algas en la muestra; este "DBO5 de algas" es muy diferente en la naturaleza de la DBO5 de aguas residuales ordinario o "DBO5 no algal"). Algunos reguladores contienen los requerimientos de DBO5 del efluente para los PSA en términos de DBO5 filtrada - por ejemplo, se requieren en los efluentes Unión Europea WSP para lograr ≤ 25 mg filtrados (Crites, Middlebrooks, & Reed, 2006).

Diseño de Lagunas Facultativas

Se han propuesto numerosos métodos de diseño de lagunas facultativas, que pueden clasificarse en las categorías siguientes:

Modelos Matemáticos

Aunque en realidad son una subcategoría de los métodos racionales, estos métodos de diseño presentan características muy diferentes en cuanto a las hipótesis utilizadas para describir la depuración en lagunas.

Fundamentalmente, en ellos se considera que las lagunas son sistemas dinámicos, con cinéticas complejas y regímenes no ideales de flujo. Estos métodos se basan en la modelización matemática de las interacciones físico-químicas y biológicas responsables de la depuración en lagunas. Su complejidad es mucho mayor, ya que describen en forma dinámica la relación simbiótica existente entre bacterias y fitoplancton, para lo que es necesario llevar a cabo un balance de materia de las distintas especies químicas y biológicas presentes en el sistema.

A continuación se describen brevemente los métodos empíricos y racionales más utilizados hasta la fecha para el diseño de lagunas facultativas.

Métodos empíricos

Estos métodos consisten en relaciones matemáticas sencillas deducidas de las observaciones experimentales realizadas en un determinado estanque de estabilización, o en un grupo de ellos que trabajan en condiciones muy similares, tanto respecto a la climatología como a la alimentación. Puesto que en estas circunstancias se puede hacer abstracción de todas las variables iguales, el método empírico utiliza como variables de diseño sólo un grupo reducido de los factores que afectan a la depuración en lagunas, especialmente caudal, tiempo de residencia y carga aplicada. El parámetro fundamental de diseño lo constituye la reducción en una de las medidas de la carga orgánica, normalmente demanda bioquímica de oxígeno (DBO5).

Entre los métodos empíricos, la utilización de un intervalo admisible de carga superficial es el criterio de diseño que los proyectistas utilizan con más frecuencia.

Como ocurría en las lagunas anaerobias, existe una gran diversidad de intervalos recomendados por distintos autores, como consecuencia de la variedad de situaciones en los que éstos se han deducido. La Organización Mundial de la Salud (W. H. O., 1987) recomienda para climas templados un intervalo de 200-400 kg DBO5/ha día.

Otros métodos empíricos consisten en ecuaciones deducidas a partir de los datos recogidos en varias lagunas que operan en condiciones similares.

Entre estos métodos, los más conocidos son los siguientes:

- Ecuación de Arceivala (W. H. O., 1987)

Esta ecuación relaciona la carga superficial admisible con la latitud de la laguna. Se dedujo a partir de datos recogidos en India, y en principio, por tanto, es aplicable al diseño en este país, y en un intervalo de latitud entre 8° N-36° N:

$$L \text{ (Kg DBO5/ha día)} = 375 - 6,25 \text{ (latitud)}$$

En esta ecuación, la latitud viene a representar las variaciones en temperatura en las distintas zonas. Desde este punto de vista, esta ecuación y la de Mcoarry-Pescod que veremos a continuación son conceptualmente análogas.

- Método de McGarry y Pescod (1970)

El análisis de datos operativos de lagunas facultativas situadas en zonas geográficas muy diversas muestra que la carga superficial máxima que puede aplicarse a una laguna antes de que ésta entre en anaerobiosis se relaciona con la temperatura media mensual del aire en la forma siguiente:

$$L_{\max} = 11,2 (1,054)^T$$

Puesto que la carga admisible máxima aumenta con la temperatura, en el diseño se utiliza la aproximación más conservativa, para la cual se toma la temperatura media del mes más frío. Sin embargo, la carga máxima admisible calculada de esta forma daría lugar a una laguna que estaría en el límite de lo tolerable al menos durante un mes al año. Para evitar anaerobiosis es necesario introducir un factor de seguridad (Mara, 1976), con lo que la ecuación anterior quedaría:

$$L_{\max} = 7,5 (1,054)^T$$

En estudios subsiguientes se ha puesto de manifiesto que esta ecuación no resulta adecuada para el diseño de lagunas que reciben poca carga (14,1-27,2 kg/Ha. día) (Finney y Middlebrooks, 1982). Sin embargo, para cargas superficiales unas diez veces superiores en climas cálidos se considera que este método produce resultados adecuados.

- Método de Larsen

El área necesaria para conseguir una reducción prefijada en materia orgánica en una laguna de estabilización facultativa se calcula mediante la expresión siguiente:

$$MOT = (2,468RED + 2,468TTC + 23,9/TEMPR + 150,0/DRY) 106$$

Donde las distintas variables se definen en la forma siguiente:

$$MOT = \text{Área (radiación solar)}^{1/3} / \text{Caudal influente (DBO5 inil.)}^{1/3}$$

$$RED = (DBO5 \text{ infl} - DBO5 \text{ efl}) / DBO5 \text{ infl}$$

$$TTC = \text{Velocidad viento (DBNO5 infl)}^{1/3} / (\text{radiación solar})^{1/3}$$

$$TEMPR = \text{Temperatura agua} / \text{Temperatura aire}$$

DRY = humedad relativa

El cálculo del área necesaria se hace aplicando esta ecuación en las condiciones más desfavorables: intensidad de la radiación solar y temperatura media en invierno, carga orgánica máxima, etc.

- Método de Gloyna

Este método se desarrolló a partir de numerosos experimentos en lagunas y ensayos de laboratorio. Este autor recomienda utilizar como variable de diseño la demanda bioquímica de oxígeno a tiempo infinito o la demanda química de oxígeno, justificando esta elección en los elevados tiempos de retención en las lagunas facultativas. Sin embargo, la DBO5 se puede utilizar en el caso de efluentes pre tratados, como sería el caso cuando se cuenta con una primera etapa en lagunas anaerobias. Para aguas residuales urbanas no tratadas, la demanda bioquímica a tiempo infinito varía entre $1,1 \cdot DBO5$ y $1,7 \cdot DBO5$.

La ecuación de diseño propuesta es la siguiente:

$$V = 3,5 \cdot 10^{-5} Q Lu THETA (35-T) f f'$$

Dónde:

V = volumen de la laguna, m³;

Q = caudal de agua residual, l/día;

Lu = demanda bioquímica de oxígeno tiempo infinito o demanda química de oxígeno, mg/l;

THETA = coeficiente de temperatura, adimensional;

T = temperatura del agua, ° C

f = factor de toxicidad para las algas;

f' = factor de corrección por compuestos químicos reductores.

En cuanto a la profundidad de la laguna, se determina una vez calculado el volumen necesario en base al tipo de agua residual, contenido en sólidos sedimentables, temperatura y condiciones climáticas.

La OMS recomienda el uso de los métodos de Gloyna o de McOarry-Pescod, en función de la carga orgánica a depurar y de la localización geográfica de las lagunas, cuando no se dispone de datos específicos fiables (W. H. O., 1987).

Métodos racionales

Este grupo de métodos debe su nombre al hecho de que se ha intentado ofrecer en ellos una explicación en términos cinéticos de lo que ocurre en los estanques de estabilización. Normalmente se basan también en la reducción experimentada por una sola variable indicativa de la carga orgánica, y se fundamentan en hipótesis restrictivas, que facilitan en gran medida los cálculos, a costa de pérdida de rigor en la caracterización de los estanques.

Entre estas hipótesis se encuentran las siguientes:

- La composición de la alimentación se considera constante a lo largo del año.
- El régimen hidráulico corresponde a un modelo ideal de flujo.
- No se producen sedimentaciones parciales de la materia orgánica hacia el fango del fondo, es decir, no se define el sistema detrítico.

Las pérdidas por infiltración en el terreno y evaporización se consideran despreciables, o se compensan por los aportes por precipitación.

- Las lagunas funcionan en régimen estacionario.
- La cinética de la depuración es de primer orden, con una constante de velocidad que se define normalmente como función exponencial de la temperatura.

Los métodos más utilizados en esta categoría son los siguientes:

- Marais (1970) y Eckenfelder (1972)

Proponen la expresión siguiente, basada en la hipótesis de mezcla completa, estado estacionario y cinética de depuración de primer orden:

$$C / C_0 = 1 / (k (V/Q_0) + Q_e/Q_0)$$

Dónde:

C = DBO5 del efluente, mg/l;

C_o = DRO5 del influente, mg/l;

k = constante cinética de primer orden, día⁻¹;

V = volumen de la laguna,

Q_o = caudal de alimentación, m³ día⁻¹;

Q_e = caudal de salida, m³ día⁻¹.

La forma más frecuente de la ecuación anterior es:

$$C/C_o = 1 / (kT + 1)$$

Donde se han hecho las simplificaciones siguientes:

$V/Q_o = T$, tiempo de residencia hidráulica, y

$Q_e = Q_o$, los caudales de entrada y salida son iguales.

En otros casos (Thirumurthi, 1974) la ecuación de diseño se basa en las hipótesis de régimen estacionario, flujo, pistón y cinética de primer orden. La expresión correspondiente sería:

$$C/C_o = e^{-kT}$$

Cuando se adopta el modelo de tanques en mezcla completa en serie para describir el flujo en las lagunas, junto a las hipótesis de régimen estacionario y cinética de primer orden, la expresión de diseño es (Uhlmann, 1979):

$$C/C_o = 1 / (kT/n)^n$$

Uhlmann (1979) y Thirumurthi (1974) sugieren el método basado en considerar el estanque como sujeto a flujo de dispersión, en régimen estacionario y cinética de primer orden, al que consideran más preciso al considerar un régimen de flujo no ideal en las lagunas:

$$C/C_o = 4ae^{1/2d} / ((1+a)^{a/2d} - (1-a)^2 e^{-a/2d})$$

Dónde:

k = constante cinética, día⁻¹;

$a = (1 + kd)^{1/2}$;

$d = D/ULt = 1 / Pe$, coeficiente de dispersión adimensional;

U = velocidad media del fluido, m/h;

Lt = longitud del trayecto hidráulico, m;

Pe = número de Peclet, adimensional;

La evaluación de cualquiera de estas expresiones pasa por la definición de la constante de velocidad. Normalmente, ésta se considera función únicamente de la temperatura.

Para definir esta dependencia se utiliza una modificación de la ecuación de Arrhenius, válida para pequeños intervalos de temperatura, como los que se producirían en lagunas de estabilización (en España, entre 5- 30° C, aproximadamente):

$$k = k_0 \text{ THETA } (T-T_0)$$

Dónde:

k_0 = valor de la constante de velocidad a la temperatura de referencia T_0 , día⁻¹

T = temperatura, ° C;

En otras ocasiones, el efecto de factores como toxicidad, intensidad luminosa o características hidráulicas se engloba dentro de la constante de velocidad (Thirumurthi, 1974). Los factores ambientales se incluyen así dentro del método de diseño mediante la definición de un ambiente standard, que consiste en:

- Temperatura de 20° C en la laguna.
- Carga orgánica de 672 kg de DBO5/ha día.
- Radiación solar mínima de 100 cal/cm³ día.
- Ausencia de carga orgánica debida a la regeneración desde el fango acumulado en el fondo.

La constante de velocidad en este caso se define en la forma siguiente:

$$k = k_{20} C_{Te} C_{o} C_{Tox}$$

Dónde:

C_{Te} = factor de corrección por temperatura, definido conforme a la ecuación de Arrhenius modificada (ecuación 5).

C_o = factor de corrección por carga orgánica aplicada, calculado en la forma:

$$C_o = 1 - 0,083/k_{20} \log (672/L)$$

L = carga orgánica, kg/ha día.

C_{Tox} = factor de corrección por presencia de compuestos tóxicos, cuyo valor es la unidad en ausencia de efluentes industriales.

Como puede observarse, ninguno de los métodos descritos se basa en un análisis detallado de los procesos físicos y bioquímicos responsables de la depuración. Por otra parte, las hipótesis en las que se basan sólo se cumplen en casos especiales o no se cumplen en absoluto, como ocurre con la hipótesis de funcionamiento en estado estacionario.

Por tanto, estos métodos pueden ser adecuados para un análisis preliminar de los estanques de estabilización o para dar una idea aproximada de sus dimensiones durante el diseño. Normalmente, la aplicación de cualquiera de estos métodos da lugar a lagunas sobredimensionadas.

De esta forma se evitan problemas de sobrecarga, aparición de olores y anaerobiosis. Cuando se quiere optimizar el diseño para evitar una excesiva ocupación de terreno es necesario utilizar métodos más complejos, es decir, los modelos matemáticos citados anteriormente, y de los que no nos ocuparemos en este manual.

1.1.2 Laguna de Maduración

Las lagunas de maduración tienen como objetivo primordial la eliminación de bacterias patógenas. Estas lagunas operan siempre al menos como lagunas secundarias, es decir, como mínimo el agua residual ha pasado otro tratamiento antes de ser introducida en ellas. La secuencia más habitual es la de laguna anaerobia seguida de laguna facultativa y por último de laguna de maduración, si bien hay distintas variaciones sobre este esquema general, y muy a menudo se instala más de una laguna de maduración. A veces se construyen lagunas de maduración como etapa final del tratamiento de otros sistemas de depuración, como fangos activados, con lo que sustituyen a la cloración, que suele ser el método más común de desinfección en estos sistemas. Además de su efecto desinfectante, las lagunas de maduración cumplen otros objetivos, como son la nitrificación del nitrógeno amoniacal, cierta eliminación de nutrientes, clarificación del efluente y consecución de un efluente bien oxigenado.

Diseño de Lagunas de Maduración

El diseño se basa en los modelos cinéticos para la eliminación de estas bacterias, representadas, por lo general, por medio de los coliformes fecales.

La mayoría de los modelos de simulación de calidad de aguas superficiales utilizan una cinética de primer orden para representar la desaparición de coliformes del medio acuático.

La ecuación que se recomienda más a menudo para el diseño de lagunas de maduración se basa en suponer una cinética de eliminación de patógenos de primer orden, así como un régimen de flujo en mezcla completa en la laguna.

En estas condiciones, la ecuación de diseño es la siguiente:

$$N_e = N_i / (1 + kbt^*)$$

Dónde:

N_e = número de coliformes fecales/100 ml en el efluente;

N_i = número de coliformes fecales/100 ml en el influente;

K_b = constante de velocidad para la eliminación de coliformes, día⁻¹;

t^* = tiempo de retención, días.

Si se desea construir varias lagunas de maduración en serie, la ecuación de diseño sería:

$$N_e = N_i / (1 + k_b t^*_1) (1 + k_b t^*_2) \dots (1 + k_b t^*_n)$$

Dónde:

t^*_n = es el tiempo de retención en la laguna n.

La constante de velocidad k_b depende de la temperatura. Esta dependencia suele describirse en la forma siguiente:

$$k_b = k_{20} \theta^{(T-20)}$$

Dónde:

k_{20} = constante de velocidad a 20° C, día⁻¹;

θ = coeficiente de temperatura, adimensional.

La presencia de coliformes está afectada por la intensidad luminosa. Con objeto de incluir este factor en el balance, Chamberlin y Mitchelí (1978) introdujeron la siguiente definición de la velocidad específica de desaparición de coliformes:

$$k = k_1 I_0 e^{-\beta z}$$

Dónde:

k_1 = constante de proporcionalidad específica para cada microorganismo, cm²/cal;

I_0 = energía luminosa a nivel de la superficie de la laguna, cal/cm². hr;

z = profundidad, m.

Dado que según esta ecuación, la velocidad específica se anula en la oscuridad, se ha desarrollado otra ecuación alternativa (Lantrip, 1983), que combina componentes dependientes e independientes de la intensidad luminosa. Esta ecuación expresa la velocidad específica en función de la temperatura, salinidad e intensidad luminosa:

$$k = ((0,8 + 0,006 (\%AM))/24) \cdot 1,07(T-20) + k_1$$

Dónde:

%AM = salinidad, expresada como tanto por ciento de agua de mar;

T = temperatura, C.

Normalmente, no se consideran en el diseño la intensidad luminosa o la salinidad, y se adopta un valor constante para k_b , que depende únicamente del microorganismo que se considere. Los valores utilizados habitualmente son:

$k_b = 2 \text{ d}^{-1}$ para *Escherichia Coli*.

$k_b = 0,8 \text{ d}^{-1}$ para *Salmonella Typ*.

La Organización Mundial de la Salud (W. H. O., 1987) recomienda un tiempo de retención mínimo de 5 días si se cuenta con una sola laguna de maduración, y 3 días por laguna cuando hay dos o más operando en serie.

Las más recomendadas son de flujo disperso y mezcla completa. El modelo de flujo disperso se basa en balance de masa alrededor de un reactor con flujo laminar tipo pistón.

En el cual existen dos mecanismos de transporte: la convectiva en la dirección del flujo y la dispersión molecular axial.

Los modelos más importantes son:

Modelo de mezcla completa

Se supone mezcla completa para el sub-modelo hidráulico o cual produce distorsiones cuando se diseñan lagunas en serie.

Una sola laguna:

$$Ne = \frac{Ni}{1 + KT \theta}$$

Lagunas en serie:

$$Ne = \frac{Ni}{(1 + KT \theta a)(1 + KT \theta f)(1 + KT \theta m)^n}$$

Constante de decaimiento bacteriano (Marais, 1974):

$$KT = 2.6 \times 1.19^{T-20}$$

Modelo de flujo disperso

El modelo de dispersión considera un reactor con flujo laminar tipo pistón, en el cual el mecanismo de transporte está afectado por la dispersión convectiva en la dirección del flujo y en el otro sentido por la difusión molecular axial.

$$\frac{Ne}{Ni} = \frac{4a \cdot e^{(1/2d)}}{[(1+a)^2]e^{a/2d} - [(1+a)^2]e^{-a/2d}}$$

$$a = \sqrt{1 + 4Kb \theta d}$$

- Constante de decaimiento bacteriano (Gameson, 1974)

$$Kb = 1.1 \times 1.07^{T-20}$$

- Ecuaciones para dispersión

La comparación de los valores de dispersión es difícil debido a la diferencia entre el uso de trazadores, el diseño físico de la laguna, posición de los dispositivos de entrada y salida, etc. En la actualidad existen diversas ecuaciones.

- **Fisher (1967).**

$$d = \frac{0.304(\theta \cdot \mu \cdot W)^{0.5}(W + 2Z)^{1.5}}{(LZ)^{1.5}}$$

- **Liu (1977).**

$$d = \frac{0.168(\theta \cdot \mu \cdot W)^{0.5}(W + 2Z)^{2.35}}{(LZ)^{1.25}}$$

- **Polprasert y Bhattarai (1985).**

$$d = \frac{0.187(\theta v(W + 2Z))^{0.489}(W)^{1.511}}{(LZ)^{1.25}}$$

- **Yáñez (1988).**

$$d = \frac{\frac{L}{\bar{W}}}{-0.26118 + 0.25392\left(\frac{L}{\bar{W}}\right) + 1.01368(L/\bar{W})^2}$$

- **Saénez (1992).**

$$d = \frac{1.158[\theta(W + 2Z)]^{0.489}W^{1.511}}{(Tagua + 42.5)^{0.734}(LZ)^{1.489}}$$

- **Agunwamba (1992).**

$$d = 0.10201 \left(\left(\frac{U}{U} \right)^{-0.81963} \right) X \left(\frac{Z}{L} \right) \left(\frac{Z}{W} \right)^{-\left(0.9807 + 1.8435 \frac{Z}{W} \right)}$$

- **Cubillos (2000).**

$$CSr = 20.54 + 0.586 CSa$$

1.2. Pruebas de tratabilidad

La concentración de los desechos domésticos consisten principalmente de heces y orina, siendo el 99,9% agua y el 0,1% sólidos. El 70% de estos sólidos son sustancias orgánicas (proteínas, carbohidratos y grasas) y cerca del 30% son sustancias inorgánicas (principalmente arenas, sales y metales).

Tabla 1-1. Pruebas de Tratabilidad

Parámetros	Concentración		
	Fuerte (mg/l)	Media (mg/l)	Débil (mg/l)
Sólidos totales	1200	720	350
Disueltos totales	850	500	250
Fijos	525	300	145
Volátiles	325	200	105
Suspendidos totales	350	220	100
Fijos	75	55	20
Volátiles	275	165	80
Sólidos sedimentables	20	10	5
DBO5	400	220	110
COT	290	160	80
DQO	1000	500	250
Nitrógeno total	85	40	20
Orgánico	35	15	8
Amoniacal libre	50	25	12
Nitritos	0	0	0
Nitratos	0	0	0
Fósforo total	15	8	4
Orgánico	5	3	1
Inorgánico	10	5	3
Alcalinidad	200	100	50
Grasas	150	100	50

Fuente: Metcalf y Hedi, 1991.

La finalidad de los estudios de tratabilidad biológica es determinar en forma experimental el comportamiento de la biomasa que llevará el trabajo a cabo el trabajo de descomposición de la materia orgánica, frente a diferentes condiciones climáticas y de alimentación.

Los resultados más importantes de estos estudios son:

- Las constantes cinéticas de biodegradación y mortalidad de bacterias
- Cantidad de biomasa producida
- Las condiciones ambientales

Existen tres tipos básicos de afluentes que pueden ocasionar problemas a un sistema de tratamiento lagunar (Arthur, 1983).

- a) Afluentes que contienen alta proporción de fenoles derivados de los hidrocarburos.
- b) Afluentes con un balance de nutrientes que difieren ampliamente del contenido de nutrientes.
- c) Afluentes con un alto contenido orgánico que pueden requerir pretratamiento en algún tipo de reactor.

1.3. Diseño de las Lagunas de Estabilización

Antes de empezar a diseñar, se debe tener los siguientes datos:

- Superficie suficiente
- Nivel del terreno por debajo del nivel del colector final, para evitar bombeo
- Terreno impermeable o moderadamente permeable y que no esté sujeto a inundaciones
- Cuando menos a 1000 m del área habitacional

1.4. Nomenclatura

1. Período de diseño, n
2. Tasa de crecimiento, i promedio
3. Población actual, P_o
4. Población futura, P_f
5. Caudal medio, Q_m

6. Dotación de agua potable, Q
7. Aportación de aguas residuales, Qar
8. Temperatura del mes más frío, T
9. Temperatura del agua, $Tagua$
10. Evaporación neta del mes más cálido, e
11. DBO5 afluente
12. DBO5 efluente

Lagunas Facultativas

1. Carga superficial, λ_s
2. Área superficial, A_f
3. Tiempo de residencia hidráulica, θ_f
4. Ancho, W
5. Largo, L Procedimiento para flujo disperso
6. Carga superficial máxima, $\lambda_{m\acute{a}x}$
7. Carga superficial aplicada, λ_{sa}
8. Tiempo de residencia hidráulica, θ_f
9. Eficiencia remanente de coliformes fecales en el efluente, η
10. Factor de dispersión hidráulica, d
11. Coliformes fecales en el efluente
12. Carga superficial removida, λ_{sr}
13. DBO5 soluble en el efluente

Lagunas de Maduración

Procedimiento para mezcla completa

1. Constante de decaimiento de coliformes, K_T
2. Coliformes fecales en el efluente, N_e
3. Carga superficial, λ_{sm1}
4. Área superficial, A_{m1}

Procedimiento para flujo disperso

5. Eficiencia remanente de coliformes fecales en el efluente, η
6. Factor de dispersión hidráulica, d
7. Constante de decaimiento de coliformes fecales a 20°C, K_b
8. Coliformes fecales en el efluente
9. Tiempo de residencia hidráulica
10. Área superficial, A_m
11. Ancho, W
12. Largo, L

Datos Básicos

Vida útil de la instalación: Se recomienda vida útil de 10 años, este valor tomará como período de diseño.

Proyección de la población servida: Se calcula en base a los datos censales. Se emplea el método geométrico.

Cálculo de la tasa de crecimiento promedio: Se calcula de acuerdo a los censos vigentes.

Gasto de diseño: El gasto medio diario debe medirse si existen colectores de aguas residuales. Se debe estimar con sumo cuidado, normalmente por experiencia se considera el 80% de la dotación de agua.

Gasto medio:

$$Q_{med} = A_{av} \cdot P_f$$

Gasto máximo:

$$Q_{máx} = Q_{med} \left(1 + \frac{14}{4 + \sqrt{p}} \right)$$

Gasto mínimo:

$$Q_{min} = \frac{Q_{med}}{2}$$

Demanda Bioquímica de Oxígeno:

Lo más adecuado es obtener el valor de la DBO promedio agua residual a tratar de las muestras compuestas de 24 horas, tomadas cada 3 horas durante una semana.

$$DBO = \frac{P_{eq} \cdot P_f}{Q_{med}}$$

Donde:

DBO= Demanda bioquímica de oxígeno.

Peq= Carga de materia orgánica promedio arrojada por un habitante diariamente para la población equivalente. El valor que se toma, es de 54 g/hab.d

Pf= Población futura para un período de 20 años.

Qmed= Gasto medio de diseño.

Coliformes fecales:

El promedio de 4 muestras simples tomadas con un intervalo de 6 horas durante un período de 24 horas.

1.5. Herramientas utilizadas para los cálculos

1.5.1 MATLAB

Conceptos Generales

MatLab es una abreviatura de la frase *Matrix Laboratory*. Es un entorno informático de análisis numérico y representación gráfica de fácil manejo basado en la manipulación de matrices. Originalmente fue escrito para la enseñanza de álgebra lineal, aunque actualmente es, al mismo tiempo, un entorno y un lenguaje de programación. También permite crear funciones propias y programas especiales (denominados archivos-M) en código MatLab, que se pueden agrupar en las llamadas *Toolboxes*, siendo esto un amplio abanico de programas de apoyo especializados que extienden significativamente el número de funciones incorporadas en el programa principal: colección especializada de archivos-M para trabajar en distintos tipos de problemas, por ejemplo de optimización, de estadística, de ecuaciones diferenciales parciales, etc.

Estos *Toolboxes* cubren en la actualidad prácticamente casi todas las áreas principales en el mundo de la ingeniería y la simulación, destacando entre ellos el 'toolbox' de proceso de imágenes, señal, control robusto, estadística, análisis financiero, matemáticas simbólicas, redes neurales, lógica difusa, identificación de sistemas, simulación de sistemas dinámicos, etc.

Por lo tanto, la filosofía detrás de la computación por medio de este sistema es considerar a los objetos (tanto matemáticos como gráficos) como matrices, de forma que podamos usar el álgebra matricial y otras propiedades para ahorrar tiempo de cómputo.

En otras aplicaciones resulta bastante más lento que el código equivalente desarrollado en C/C++ o Fortran. Sin embargo, es una herramienta muy útil y de alto nivel para desarrollar aplicaciones técnicas, fácil de utilizar y que puede ayudar a aumentar significativamente la productividad de los programadores respecto a otros entornos de desarrollo.

MATLAB goza en la actualidad de un alto nivel de implantación en escuelas y centros universitarios, así como en departamentos de investigación y desarrollo de muchas compañías industriales nacionales e internacionales. En entornos universitarios, por ejemplo, MATLAB se ha convertido en una herramienta básica, tanto para los profesionales e investigadores de centros docentes, como una importante herramienta para la impartición de cursos universitarios, tales como sistemas e ingeniería de control, álgebra lineal, proceso digital de imagen, señal, etc. En el mundo industrial, MATLAB está siendo utilizado como herramienta de investigación para la resolución de complejos problemas planteados en la realización y aplicación de modelos matemáticos en ingeniería. Los usos más característicos de la herramienta los encontramos en áreas de computación y cálculo numérico tradicional, prototipaje algorítmico, teoría de control automático, estadística, análisis de series temporales para el proceso digital de señal. Incluye una gran cantidad de funciones predefinidas, que ayudan a realizar cálculos de todo tipo así como para visualización de datos y resultados.

Se puede considerar, por otro lado, que MatLab es una calculadora totalmente equipada aunque, en realidad, es mucho más versátil que cualquier calculadora para hacer cálculos matemáticos. Se trata de una plataforma para el desarrollo de aplicaciones y para la resolución de problemas en múltiples áreas de aplicación.

Entre sus utilidades, se encuentra:

- Cálculo matricial y Algebra lineal.
- Polinomios e interpolación.
- Regresión y ajuste de funciones.
- Ecuaciones diferenciales ordinarias.
- Integración.
- Funciones y gráficos en dos y tres dimensiones.

El elemento básico de MatLab es una matriz rectangular de elementos reales o complejos. MatLab incluso considera los escalares como matrices. Además todas las variables utilizadas en la línea de comandos son almacenadas por MatLab. En caso de dudas se puede utilizar siempre el comando '*help*'. (Zuñiga, 2013)

Ingreso de Datos

Después de ejecutar el programa MatLab desde el sistema operativo empleado, por ejemplo haciendo doble *click* sobre el icono de MatLab en ambientes Windows, aparece el indicador de comandos el cual está listo para recibir instrucciones en lenguaje MatLab. Este indicador es de la siguiente forma: >>

Al iniciar el uso de MatLab están disponibles dos comandos de ayuda y demostración. Para ejecutarlos se escribe el comando en la línea de comandos después del símbolo >> y se presiona la tecla *Enter*.

Permite obtener una ayuda sobre los diferentes comandos de *MatLab* se usa >>*help*.

Para una demostración de las diferentes aplicaciones de MatLab se usa el comando >>demo.

Para cerrar o finalizar el uso de MatLab se usa el comando >>*quit*.

Ya que el objeto básico de MATLAB son las matrices, es necesario conocer la forma de introducir datos que corresponden a los elementos de éstas. Las matrices pueden ser reales, complejas, de caracteres, etc. En general las matrices de 1x1 se interpretan como escalares y las de un sólo renglón o columna como vectores.

Las matrices se pueden definir de alguna de las siguientes formas (no son las únicas):

- Por medio de una lista explícita de elementos
- De archivos externos (“cargándolas” con el comando “load” por ejemplo)
- Generadas a través de un proceso o rutina.

Uso de comandos

La primera forma de interactuar con MatLab es a través de la línea de comandos. Puede ejecutarse un comando si este está escrito después del símbolo `>>` y se presiona la tecla *Enter*. MATLAB trabaja esencialmente con matrices numéricas rectangulares.

La manera más fácil de insertar matrices pequeñas es enumerando los elementos de ésta de tal manera que:

- Los elementos estén separados por blancos ó comas.
- Los elementos estén cerrados entre corchetes, [].
- Muestre el final de cada fila con ; (punto y coma).

Operadores Matemáticos

MATLAB puede operar las matrices por medio de operadores y por medio de funciones.

Los operadores matriciales de MATLAB son los siguientes:

+ = Adición o suma

- = Sustracción o resta

* = Multiplicación

^ = Potenciación

\ = división-izquierda

/ = división-derecha

.* = Producto elemento a elemento

./ y .\ = División elemento a elemento

Estos operadores se aplican también a las variables o valores escalares, aunque con algunas diferencias. Todos estos operadores son coherentes con las correspondientes operaciones matriciales: no se puede por ejemplo sumar matrices que no sean del mismo tamaño. Si los operadores no se usan de modo correcto se obtiene un mensaje de error.

Un caso muy particular en MATLAB es el operador división derecha e izquierda ya que puede ser usado para resolver las siguientes ecuaciones:

$x = A \backslash b$ es la solución de $A * x = b$ (donde b es un vector columna)

$x = b / A$ es la solución de $x * A = b$ (donde b es un vector renglón)

Velocidad y Precisión

Los algoritmos utilizados en la MATLAB han sido desarrollados por un grupo de renombrados expertos en programación algorítmica de funciones de tipo matemático (álgebra lineal y cálculo numérico). Las funciones de álgebra lineal han sido obtenidas de las librerías mundialmente reconocidas *LINPACK* y *EISPACK*. La MATLAB *C Math Library* contiene más de 300 funciones numéricas, lógicas y de utilidad. Todas estas funciones le permitirán operar en datos de tipo escalar, vectorial o matricial con la misma facilidad sintáctica.

Saliendo y Guardando el Espacio de Trabajo

Para salir de MATLAB se escribe *quit* ó *exit*. Al terminar una sesión de MATLAB, las variables en el espacio de trabajo se borran. Si deseas guardar tu espacio de trabajo escribes *save*, este comando guarda todas las variables en un archivo llamado *matlab.mat*. Se puede utilizar *save* y *load* con otros nombres de archivos, o para guardar solo variables seleccionadas.

Notas:

- Los símbolos A y a son diferentes para MatLab: se distingue entre mayúsculas y minúsculas.
- Se pueden escribir comentarios después del signo de tanto por ciento (%).
- Si no sabes el tema exacto o el comando que buscas, escribe "*lookfor keyword*" (ej, "*lookfor regression*")
- Podemos colocar órdenes múltiples en una línea si se separan por comas o puntos y comas. Las comas le dicen a MatLab que visualice los resultados.

- Los puntos y comas suprimen la impresión. Para separar una línea en varias se ponen puntos suspensivos: ...
- MatLab sólo opera en radianes.
- Para ver las diferentes funciones elementales y trigonométricas teclear *help elfun*.
- La siguiente orden borra de memoria todas las variables *clear*.
- En MatLab existen dos modalidades para guardar resultados. La primera es mediante la instrucción, *diary ('fichero1')*. Esta orden, poniéndola al principio de la sesión, guarda en el fichero de texto fichero1 todo lo que se haya realizado en una sesión de MatLab.
- El comando *plot* dibuja los puntos (xi; yi) uniéndolos por líneas continuas.
- El comando *grid on* imprime una malla en el gráfico.
- La condición del *if* puede ser una condición matricial, del tipo $A==B$, donde A y B son matrices del mismo tamaño. Para que se considere que la condición se cumple, es necesario que sean iguales dos a dos todos los elementos de las matrices A y B. Basta que haya dos elementos diferentes para que las matrices no sean iguales, y por tanto las sentencias del *if* no se ejecuten.
- Usa la tecla flecha-arriba para recordar comandos sin tener que re-escribirlos (flecha-abajo te lleva a los comandos siguientes que hayas escrito a partir del desplegado). (Zuñiga, 2013)

El lenguaje de programación utilizado se encuentra adjunto en el Anexo 1.

CAPITULO 2

Ajustes de los modelos matemáticos más aplicables a nuestro caso de estudio

2.1. Antecedentes e información de la planta

Para la aplicación de los modelos matemáticos investigados y utilizados en el presente documento fue necesaria la investigación de diferentes parámetros:

2.1.1. Temperatura Ambiente

La temperatura ambiente de la ciudad de Cuenca de los diferentes años (2013-2016), la misma que se obtuvo de un sitio web llamado "TU TIEMPO". (Tiempo, 2017)

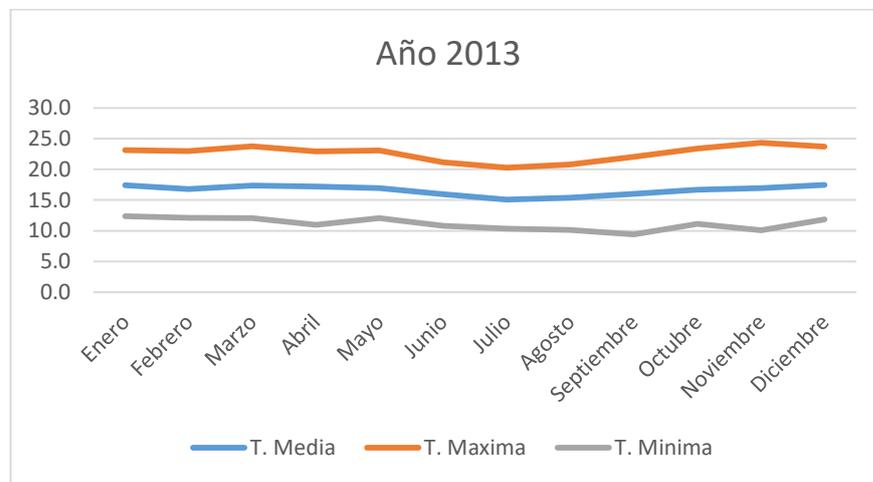


Figura 2-1. Temperatura Ambiente año 2013

Fuente: Elaboración Propia

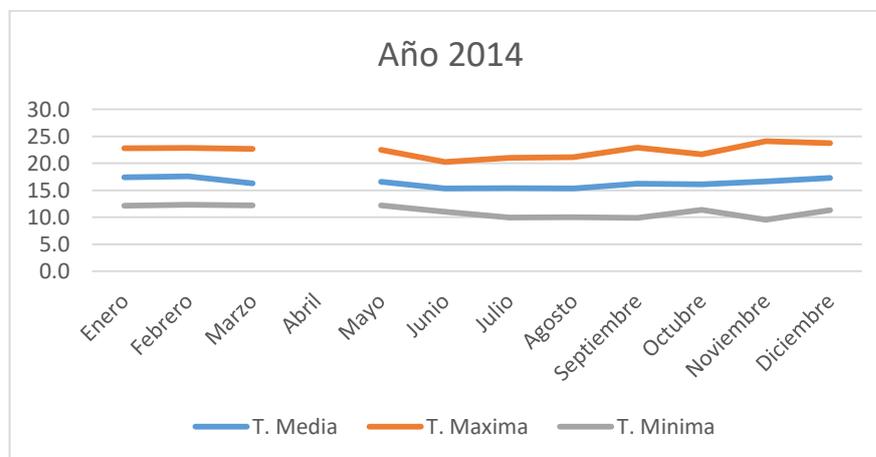


Figura 2-2. Temperatura Ambiente año 2014

Fuente: Elaboración Propia

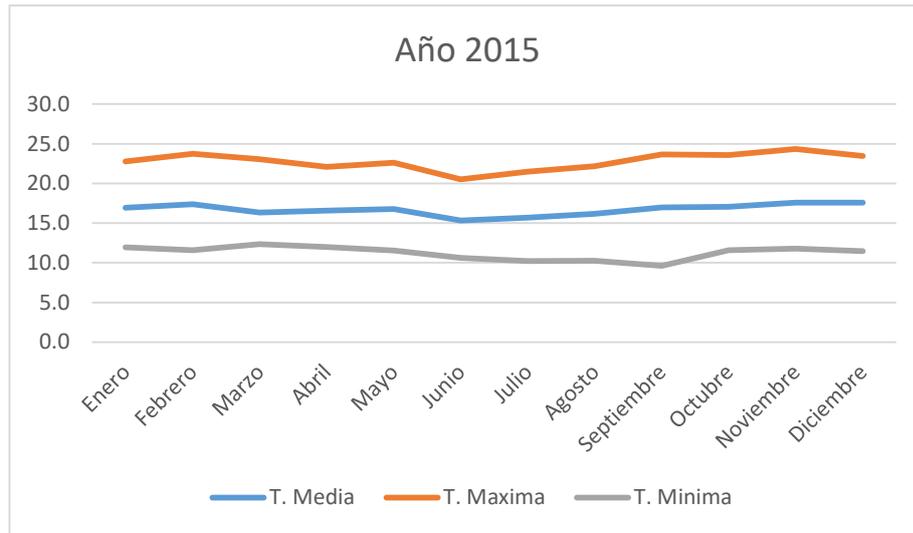


Figura 2-3. Temperatura Ambiente año 2015

Fuente: Elaboración Propia

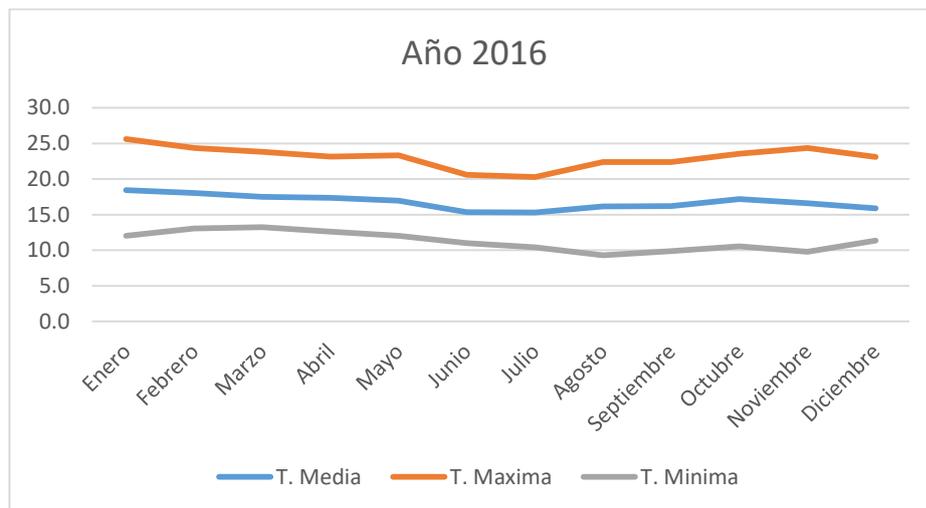


Figura 2-4. Temperatura Ambiente año 2016

Fuente: Elaboración Propia

Las temperaturas obtenidas de los diferentes años corresponden al promedio mensual de la ciudad de Cuenca, observando que dichas temperaturas tienen cierta tendencia a una temperatura de 17 C, siendo esta la utilizada para los cálculos necesarios.

Dichos resultados han sido obtenidos del procesamiento de la información que se encuentra adjunta en el Anexo 2.

2.1.2. Temperatura del Agua

Para la temperatura del Agua de cada laguna se consideró la del año 2016, la misma que se obtuvo de una batimetría realizada por la empresa ETAPA. (Orellana, 2016)

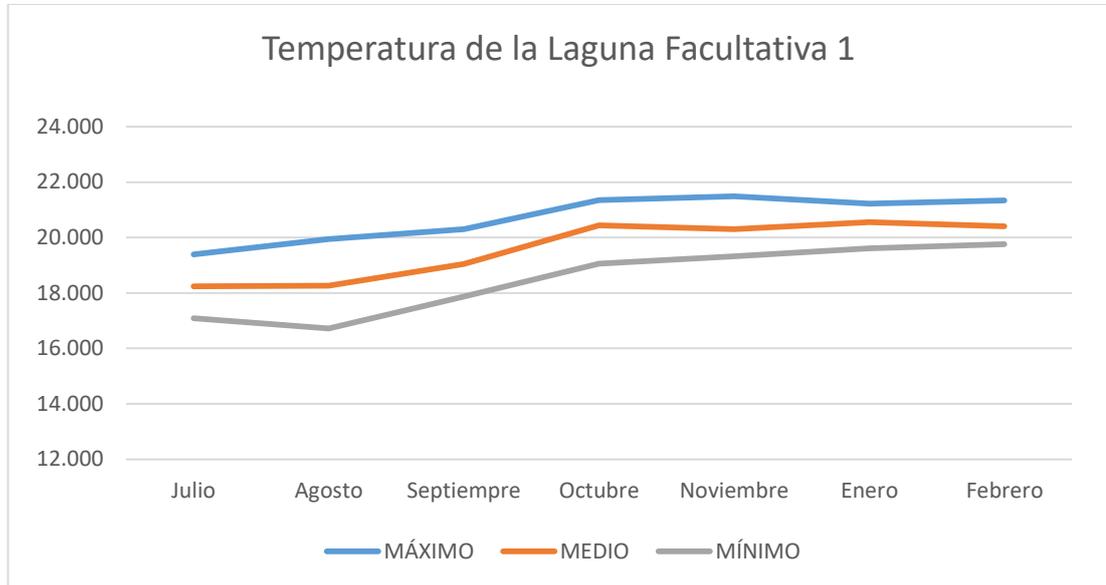


Figura 2-5. Temperatura del Agua Facultativa 1

Fuente: Elaboración Propia

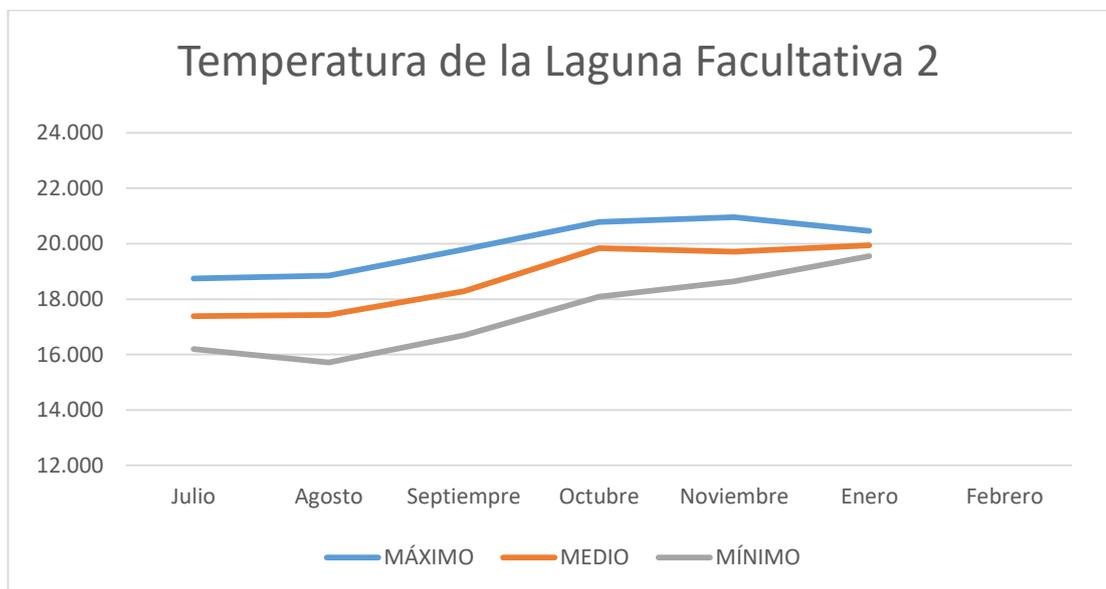


Figura 2-6. Temperatura del Agua Facultativa 2

Fuente: Elaboración Propia

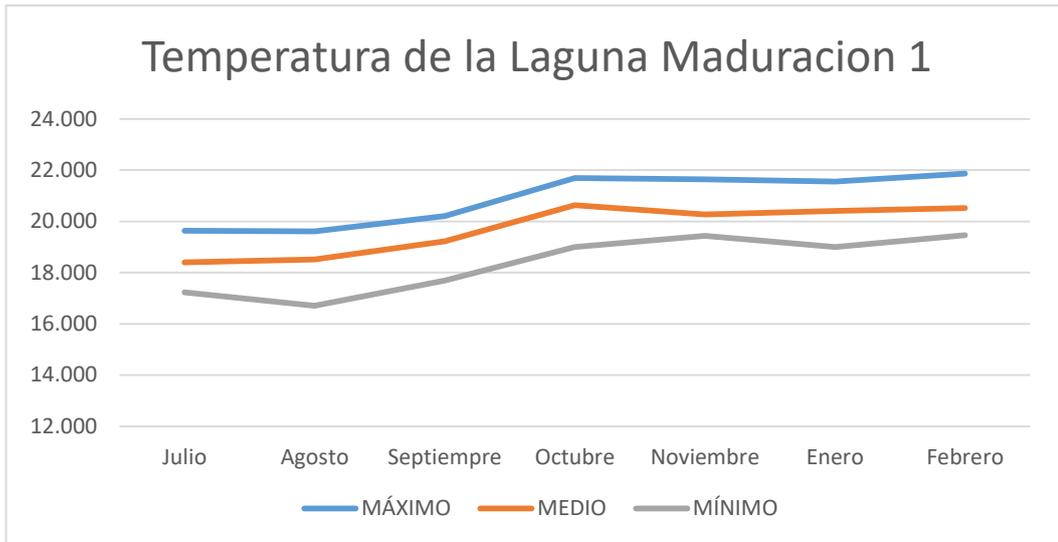


Figura 2-7. Temperatura del Agua Maduración 1

Fuente: Elaboración Propia

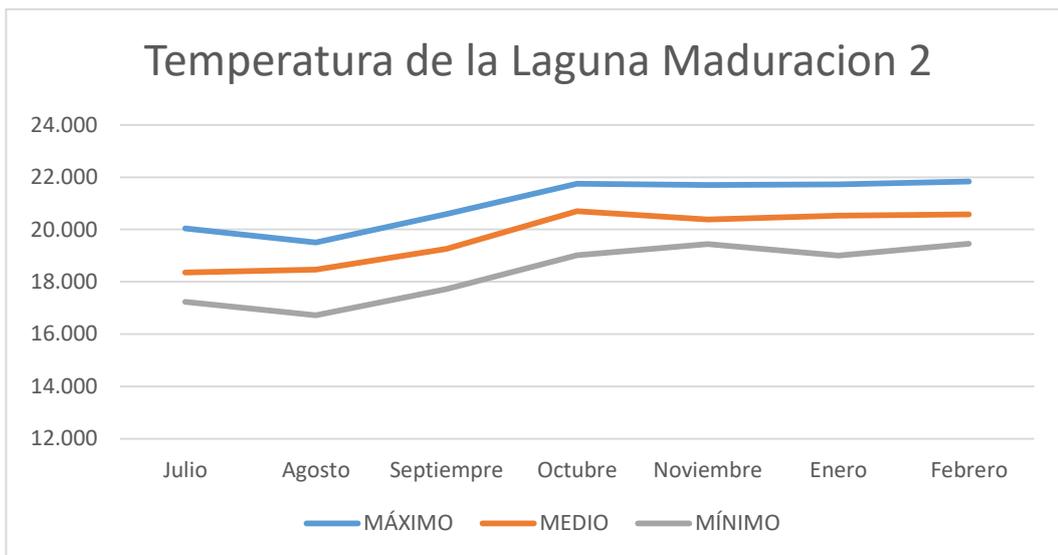


Figura 2-8. Temperatura del Agua Maduración 2

Fuente: Elaboración Propia

Las temperaturas del agua de las diferentes lagunas corresponden al promedio mensual del año 2016, observando que dichas temperaturas tienen cierta tendencia a una temperatura de 19.75 C, siendo esta la utilizada para los cálculos necesarios.

Dichos resultados han sido obtenidos del procesamiento de la información que se encuentra adjunta en el Anexo 3.

2.1.3. Caudal

Los caudales necesarios para el cálculo fueron proporcionados por la planta de tratamiento de Ucubamba. Estos datos fueron proporcionados por la planta de tratamiento de aguas residuales de Ucubamba.

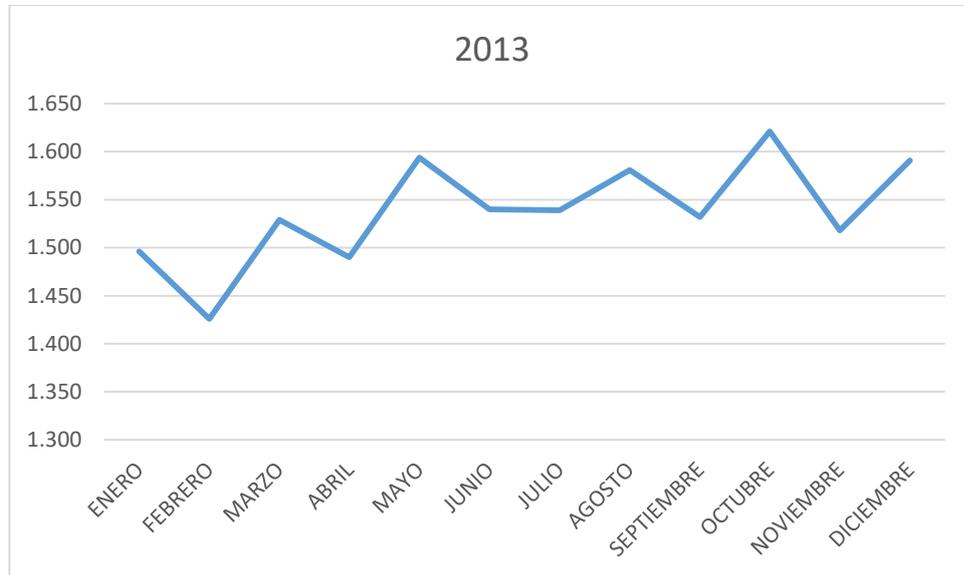


Figura 2-9. Caudal 2013

Fuente: Elaboración Propia

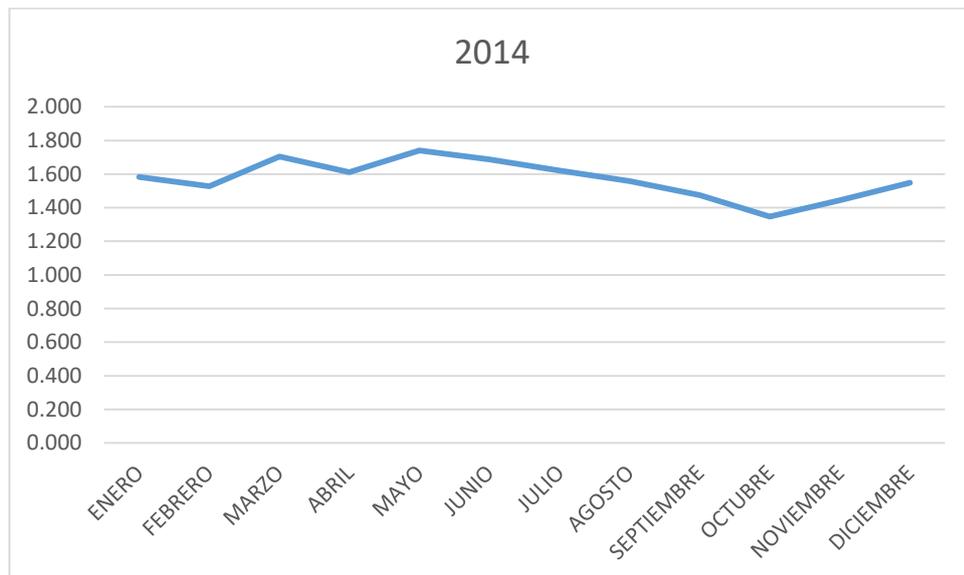


Figura 2-10. Caudal 2014

Fuente: Elaboración Propia

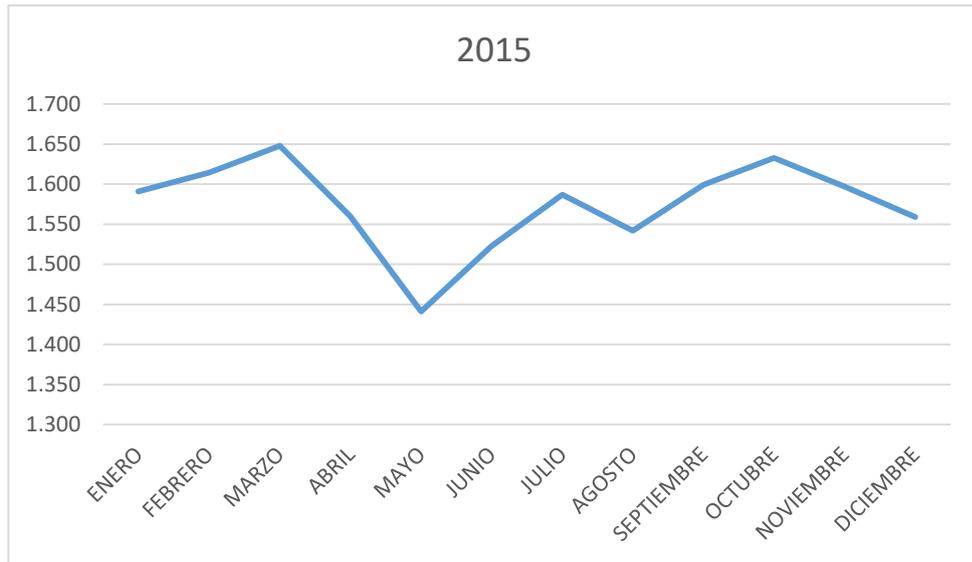


Figura 2-11. Caudal 2015

Fuente: Elaboración Propia

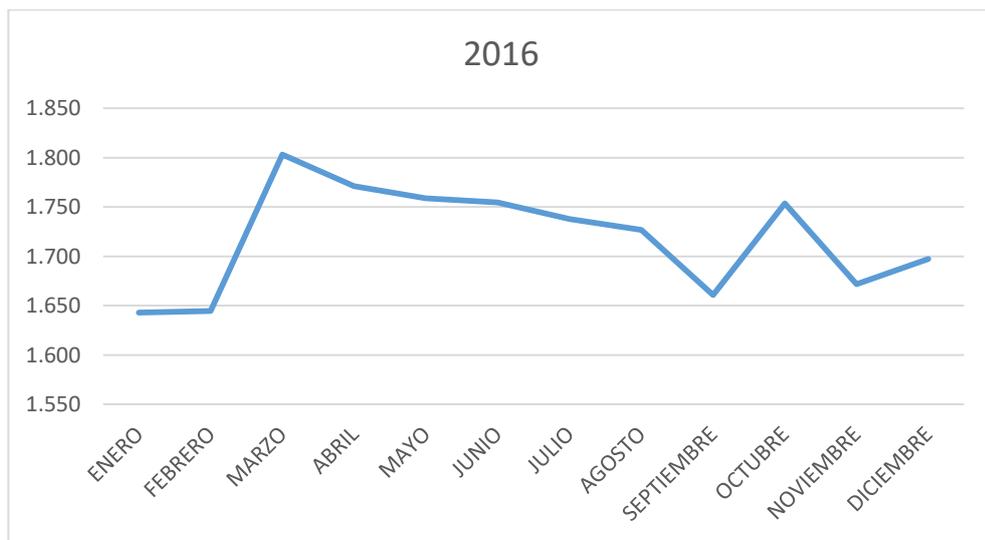


Figura 2-12. Caudal 2016

Fuente: Elaboración Propia

Los Caudales utilizados para el análisis son los correspondientes al promedio mensual de los diferentes años (2013-2016), siendo utilizados todos los caudales para una mejor precisión.

Dichos resultados han sido obtenidos del procesamiento de la información que se encuentra adjunta en el Anexo 4.

2.1.4. Dimensiones

El dimensionamiento de cada una de las lagunas es fundamental para la aplicación de los diferentes métodos investigados, dichas dimensiones fueron proporcionadas por la planta de tratamiento de aguas residuales de Ucubamba.

Tabla 2-2. Altura, Volumen

UNIDAD	ALTURA ^m	VOLUMEN ^{m³}
LAGUNA AERADA 1	4,14	124320
LAGUNA AERADA 2	4,09	122700
LAGUNA FACULTATIVA 1	1,84	213200
LAGUNA FACULTATIVA 2	1,88	218920
LAGUNA DE MADURACIÓN 1	1,84	121380
LAGUNA DE MADURACIÓN 2	1,71	95848
TOTAL		896148

Fuente: (Orellana, 2016)

Lagunas Facultativas y de Maduración

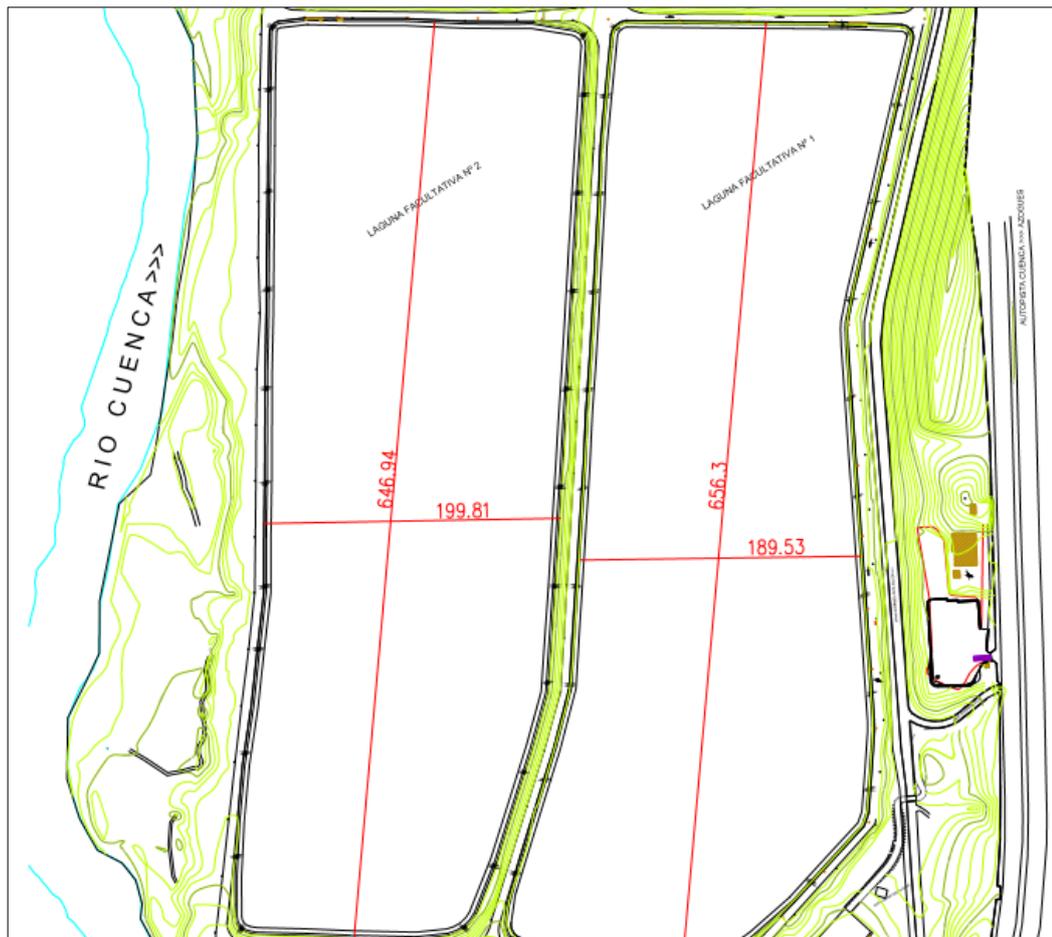


Imagen 1. Lagunas Facultativas 1 y 2

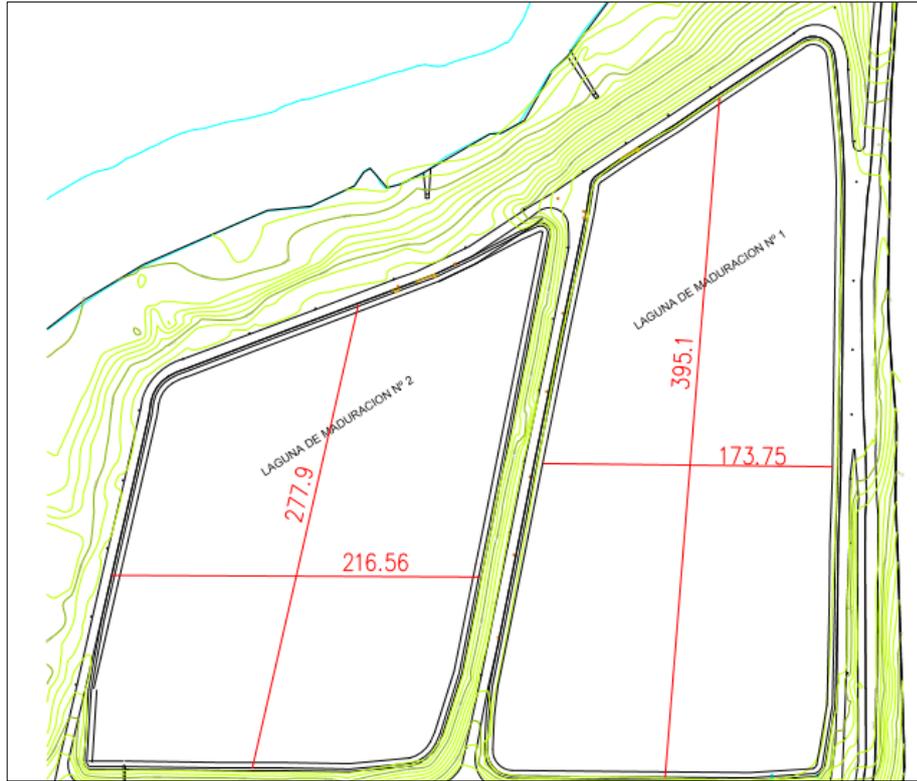


Imagen 2. Lagunas de Maduración 1 y 2

2.2. Análisis y comparación de los ajustes matemáticos aplicados

2.2.1. Método de Mezcla Completa

En la tabla 2-2 nos indica los valores de DBO obtenidos después de aplicar el método de Mezcla Completa, a los datos que han sido recopilados de la base de datos de la planta de tratamiento de Ucubamba desde el año 2013 al 2016, en el cual nos indica el valor medio de la constante “k” necesaria, para que mediante su aplicación en dicha ecuación, nos proporcione el valor más cercano a los valores reales obtenidos en el laboratorio, así como también su desviación estándar. Además se obtuvo el porcentaje de error existente al aplicar dicha ecuación sin ningún tipo de modificación comparada con respecto a los datos reales.

Tabla 2-3. Valor "k" y % de Error; DBO

DBO (mg/l)						
Año	Parámetros		Facultativa 1	Facultativa 2	Maduración 1	Maduración 2
2013	Valor "k"	Media	0.17786	0.32160	0.19174	-0.06057
		Desviación	0.13641	0.10436	0.15982	0.11053
	Diferencia	% de Error	-75.24%	-68.26%	-66.60%	-73.14%
2014	Valor "k"	Media	1.36784	1.36113	0.18712	0.09793
		Desviación	0.93687	0.94451	0.47882	1.24499
	Diferencia	% de Error	-85.42%	-85.46%	-91.87%	-92.36%
2015	Valor "k"	Media	1.27682	1.11315	0.26769	0.96762
		Desviación	0.88057	0.88026	0.48146	6.15293
	Diferencia	% de Error	-85.92%	-86.81%	-91.43%	-87.61%
2016	Valor "k"	Media	1.46241	1.19399	0.11244	-0.11462
		Desviación	1.08319	0.83089	0.47807	0.35402
	Diferencia	% de Error	-84.90%	-86.37%	-92.28%	-93.52%

Fuente: Elaboración Propia

Se puede observar que en los diferentes años de estudio el porcentaje de error es similar, siendo un valor alrededor del -85% en todas las lagunas, lo que nos indica que al aplicar la ecuación sin ninguna modificación no da como resultado datos más bajos a los obtenidos en el laboratorio, también se puede observar que el valor de la constante “k” y su respectiva desviación estándar varía alrededor de un valor específico, dependiendo principalmente de la laguna que se esté estudiando.

Dichos resultados han sido obtenidos del procesamiento de la información que se encuentra adjunta en el Anexo 5

En la tabla 2-3 nos indica los valores de Coliformes Fecales obtenidos después de aplicar el método de Mezcla Completa, a los datos que han sido recopilados de la base de datos de la planta de tratamiento de Ucubamba desde el año 2013 al 2016, en el cual nos indica el valor medio de la constante “k” necesaria, para que mediante su aplicación en dicha ecuación, nos proporcione el valor más cercano a los valores reales obtenidos en el laboratorio, así como también su desviación estándar. Además se obtuvo el porcentaje de error existente al aplicar dicha ecuación sin ningún tipo de modificación comparada con respecto a los datos reales.

Tabla 2-4. Valor "k" y % de Error; Coliformes

Coliformes Fecales NMP/ 100 ml						
Año	Parámetros		Facultativa 1	Facultativa 2	Maduración 1	Maduración 2
2013	Valor "k"	Media	28.75871	31.10369	4.68218	9.92971
		Desviación	73.25729	58.73565	8.34100	20.36113
	Diferencia	% de Error	64.25%	77.07%	-67.31%	-38.63%
2014	Valor "k"	Media	100.67914	41.83919	2.01429	8.06462
		Desviación	315.21325	122.70611	3.54921	16.02578
	Diferencia	% de Error	457.25%	135.73%	-81.89%	-48.83%
2015	Valor "k"	Media	15.18766	17.08475	5.23415	8.64245
		Desviación	32.22270	35.54593	10.39596	11.42250
	Diferencia	% de Error	-9.90%	0.46%	-64.29%	-45.67%
2016	Valor "k"	Media	44.47268	14.80101	3.62187	13.96456
		Desviación	106.66290	17.04386	9.62560	25.83876
	Diferencia	% de Error	150.12%	-12.02%	-73.10%	-16.59%

Fuente: Elaboración Propia

Se puede observar que en los diferentes años de estudio el porcentaje de error es muy variado, siendo estos positivos y negativos, lo que nos indica que al aplicar la ecuación sin ninguna modificación no da como resultado datos tanto más altos como bajos a los obtenidos en el laboratorio, también se puede observar que el valor de la constante “k” y su respectiva desviación estándar varía alrededor de un valor específico, dependiendo principalmente de la laguna que se esté estudiando.

Dichos resultados han sido obtenidos del procesamiento de la información que se encuentra adjunta en el Anexo 5.

En las figuras 2-13 y 2-14 nos indica los valores de DBO obtenidos después de aplicar el método de Mezcla Completa, a los datos que han sido recopilados de la base de datos de la planta de tratamiento de Ucubamba desde el año 2013 al 2016, en el cual nos indica la relación lineal existente entre los coeficientes del efluente calculado sobre el afluente obtenido (Ne/Ni Calculado) con respecto al efluente obtenido sobre el afluente obtenido (Ne/Ni Obtenido), representado mediante el parámetro R^2 , utilizando un valor de la constante “k”, aquel que me dé como resultado el mayor valor de R^2 .

Facultativa 1

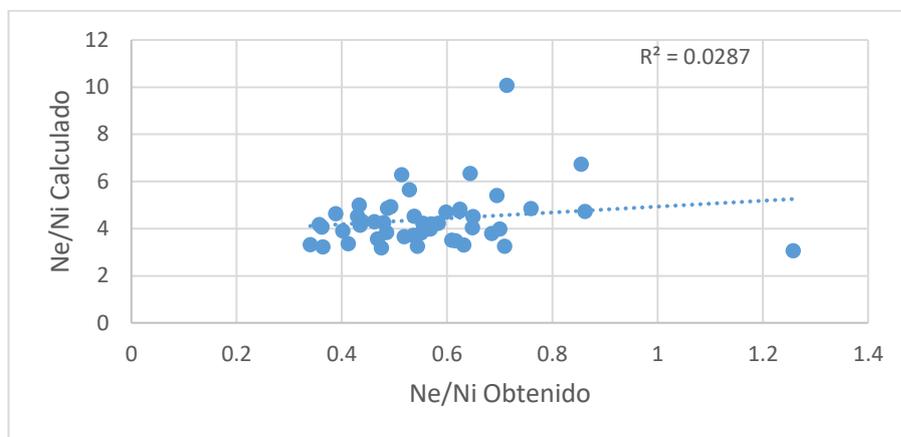


Figura 2-13. Dispersión de datos Facultativa 1; Mezcla Completa DBO

Fuente: Elaboración Propia

Facultativa 2

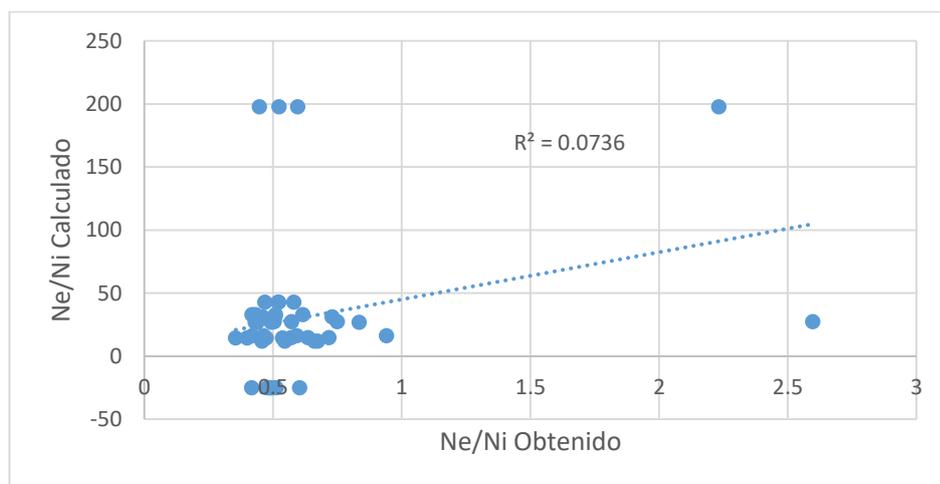


Figura 2-14. Dispersión de datos Facultativa 2; Mezcla Completa DBO

Fuente: Elaboración Propia

Se puede observar que en los diferentes gráficos la regresión lineal realizada nos da valores del parámetro R^2 demasiado bajos, entendiéndose de que dichas relaciones da como resultado que los datos calculados no se acercan a la realidad de los datos obtenidos mediante este proceso matemático.

Dichos resultados han sido obtenidos del procesamiento de la información que se encuentra adjunta en el Anexo 6.

En las figuras 2-15 y 2-16 nos indica los valores de Coliformes Fecales obtenidos después de aplicar el método de Mezcla Completa, a los datos que han sido recopilados de la base de datos de la planta de tratamiento de Ucubamba desde el año 2013 al 2016, en el cual nos indica la relación lineal existente entre los coeficientes del efluente calculado sobre el afluente obtenido (Ne/Ni Calculado) con respecto al efluente obtenido sobre el afluente obtenido (Ne/Ni Obtenido), representado mediante el parámetro R^2 , utilizando un valor de la constante “k”, aquel que me dé como resultado el mayor valor de R^2 .

Facultativa 1

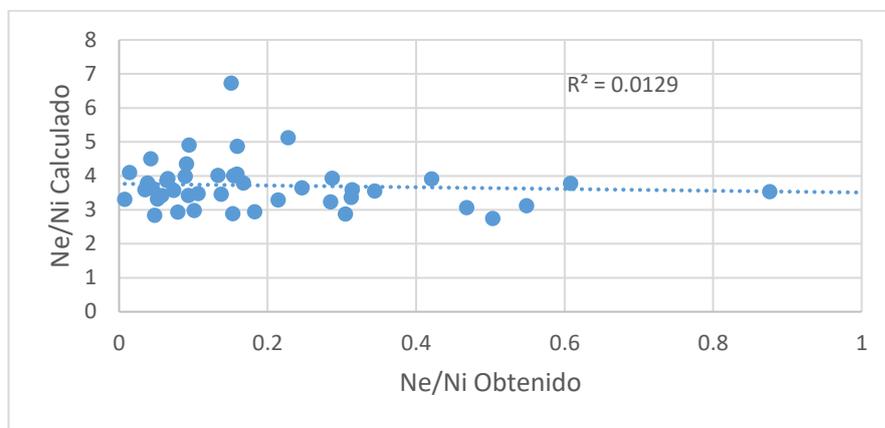


Figura 2-15. Dispersión de datos Facultativa 1; Mezcla Completa Coliformes

Fuente: Elaboración Propia

Facultativa 2

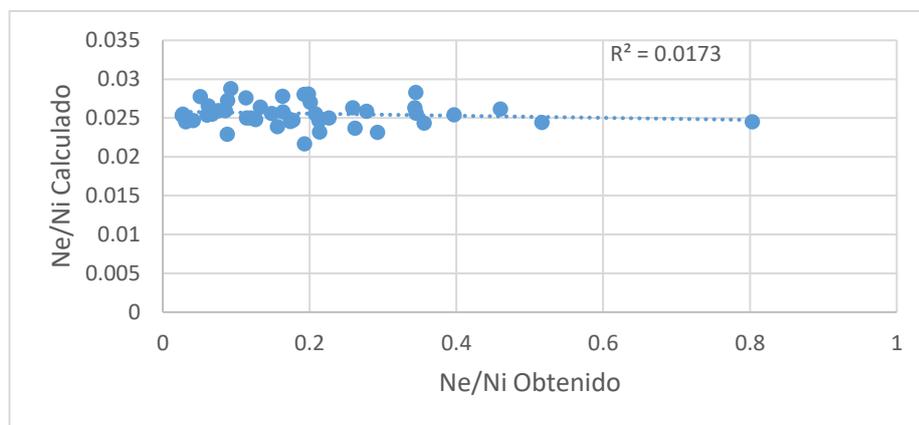


Figura 2-16. Dispersión de datos Facultativa 2; Mezcla Completa Coliformes

Fuente: Elaboración Propia

Se puede observar que en los diferentes gráficos la regresión lineal realizada nos da valores del parámetro R^2 demasiado bajos, entendiéndose de que dichas relaciones da como resultado que los datos calculados no se acercan a la realidad de los datos obtenidos mediante este proceso matemático.

Dichos resultados han sido obtenidos del procesamiento de la información que se encuentra adjunta en el Anexo 6.

En las figuras 2-17 y 2-18 nos indica los valores de DBO obtenidos después de aplicar el método de Mezcla Completa, a los datos que han sido recopilados de la base de datos de la planta de tratamiento de Ucubamba desde el año 2013 al 2016, en el cual nos indica la relación lineal existente entre los coeficientes del efluente calculado sobre el afluente obtenido (Ne/Ni Calculado) con respecto al efluente obtenido sobre el afluente obtenido (Ne/Ni Obtenido), representado mediante el parámetro R^2 , realizando un proceso de eliminación de datos que se encuentren fueran del rango de dos desviaciones estándar con respecto a la media de dichos coeficientes, utilizando un valor de la constante “k”, aquel que me dé como resultado el mayor valor de R^2 .

Facultativa 1

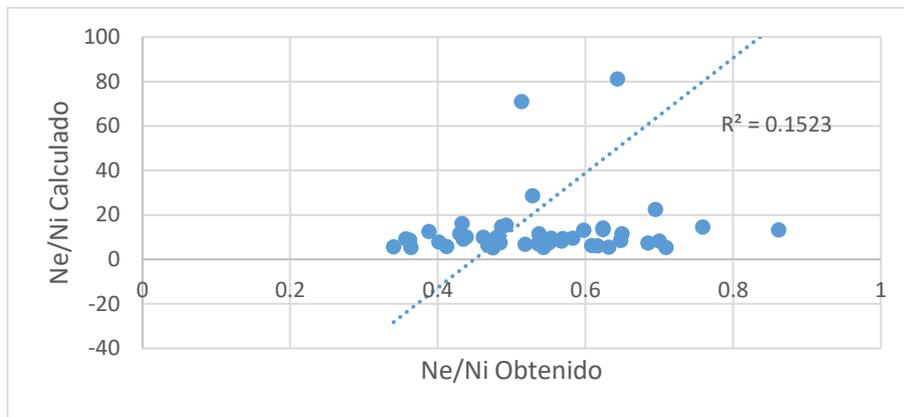


Figura 2-17. Dispersión de datos Facultativa 1; Mezcla Completa DBO

Fuente: Elaboración Propia

Facultativa 2

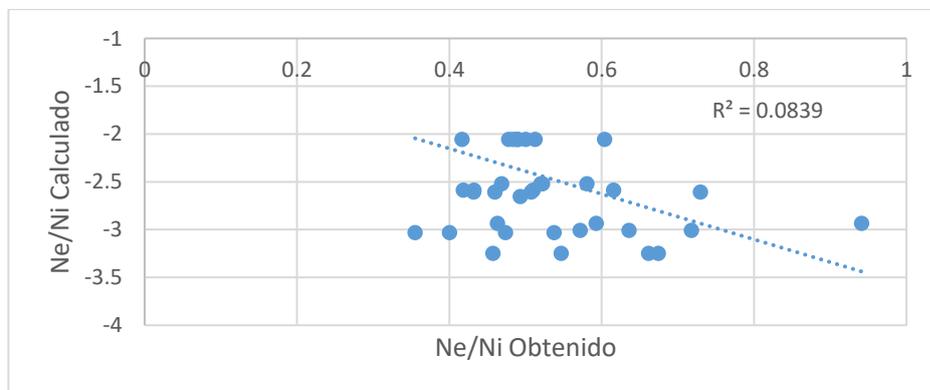


Figura 2-18. Dispersión de datos Facultativa 2; Mezcla Completa DBO

Fuente: Elaboración Propia

Se puede observar que en los diferentes gráficos la regresión lineal realizada nos da valores del parámetro R^2 demasiado bajos, entendiéndose de que dichas relaciones da como resultado que los datos calculados no se acercan a la realidad de los datos obtenidos mediante este proceso matemático.

Dichos resultados han sido obtenidos del procesamiento de la información que se encuentra adjunta en el Anexo 7.

En las figuras 2-19 y 2-20 nos indica los valores de Coliformes Fecales obtenidos después de aplicar el método de Mezcla Completa, a los datos que han sido recopilados de la base de datos de la planta de tratamiento de Ucubamba desde el año 2013 al 2016, en el cual nos indica la relación lineal existente entre los coeficientes del efluente calculado sobre el afluente obtenido (Ne/Ni Calculado) con respecto al efluente obtenido sobre el afluente obtenido (Ne/Ni Obtenido), representado mediante el parámetro R^2 , realizando un proceso de eliminación de datos que se encuentren fueran del rango de dos desviaciones estándar con respecto a la media de dichos coeficientes, utilizando un valor de la constante “k”, aquel que me dé como resultado el mayor valor de R^2 .

Facultativa 1

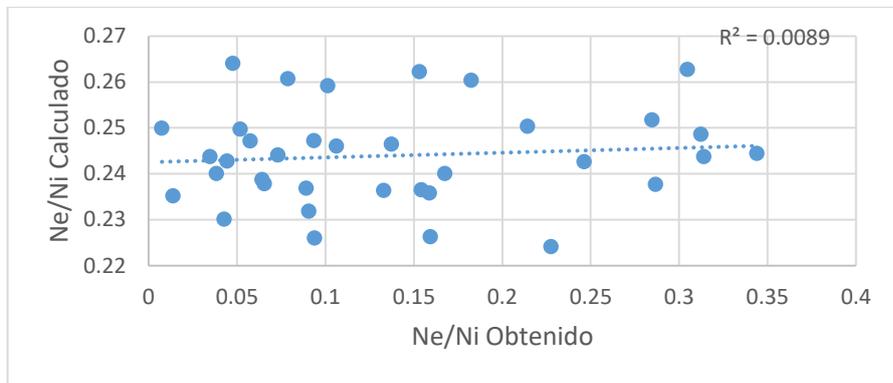


Figura 2-19. Dispersión de datos Facultativa 1; Mezcla Completa Coliformes

Fuente: Elaboración Propia

Facultativa 2

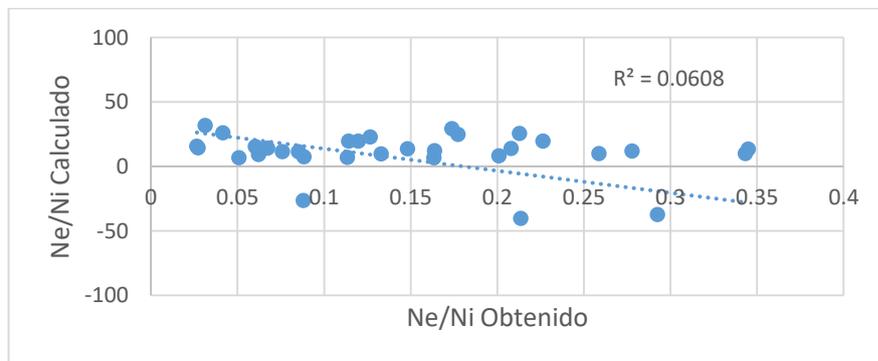


Figura 2-20. Dispersión de datos Facultativa 2; Mezcla Completa Coliformes

Fuente: Elaboración Propia

Se puede observar que en los diferentes gráficos la regresión lineal realizada nos da valores del parámetro R^2 demasiado bajos, entendiéndose de que dichas relaciones da como resultado que los datos calculados no se acercan a la realidad de los datos obtenidos mediante este proceso matemático.

Dichos resultados han sido obtenidos del procesamiento de la información que se encuentra adjunta en el Anexo 7.

En el tabla 2-4 nos indica los valores de DBO y Coliformes Fecales obtenidos después de aplicar el método de Mezcla Completa, a los datos que han sido recopilados de la base de datos de la planta de tratamiento de Ucubamba desde el año 2013 al 2016, en el cual nos indica el valor de la dispersión y la constante “k” cuya aplicación nos da la menor diferencia absoluta de los coeficientes del efluente calculado sobre el afluente obtenido (N_e/N_i Calculado) con respecto al efluente obtenido sobre el afluente obtenido (N_e/N_i Obtenido), realizando un proceso de eliminación de datos que se encuentren fueran del rango de dos desviaciones estándar con respecto a la media de dichos coeficientes.

Tabla 2-5. Valores DBO y Coliformes

PARAMETRO	VALORES	FACULTATIVA 1	FACULTATIVA 2
DBO	K	0.271	0.304
	DIFERENCIA	4.57	3.86
COLIFORMES	K	2.375	2.047
	DIFERENCIA	2.79	2.54

Fuente: Elaboración Propia

Se puede observar que el valor de las constantes “k” aplicadas nos proporciona una diferencia absoluta aceptable, además que con respecto a las lagunas facultativas se obtiene que dichos valores son similares con respecto al parámetro de remoción, debido a la similitud de las mismas, obteniéndose un promedio de diferencia absoluta de 3.44.

Dichos resultados han sido obtenidos del procesamiento de la información que se encuentra adjunta en el Anexo 8.

En las siguientes figuras nos indica los valores de DBO obtenidos después de aplicar el método de Mezcla Completa a los datos que han sido recopilados de la base de datos de la planta de tratamiento de Ucubamba desde el año 2013 al 2016, en el cual nos indica el valor del efluente calculado y el efluente obtenido a lo largo de los 4 años de estudio, utilizando el valor de la constante “k” obtenido en el análisis anterior, además se realizó una tendencia anual media donde se puede apreciar la variación en los diferentes años de estudio.

Facultativa 1 regresión

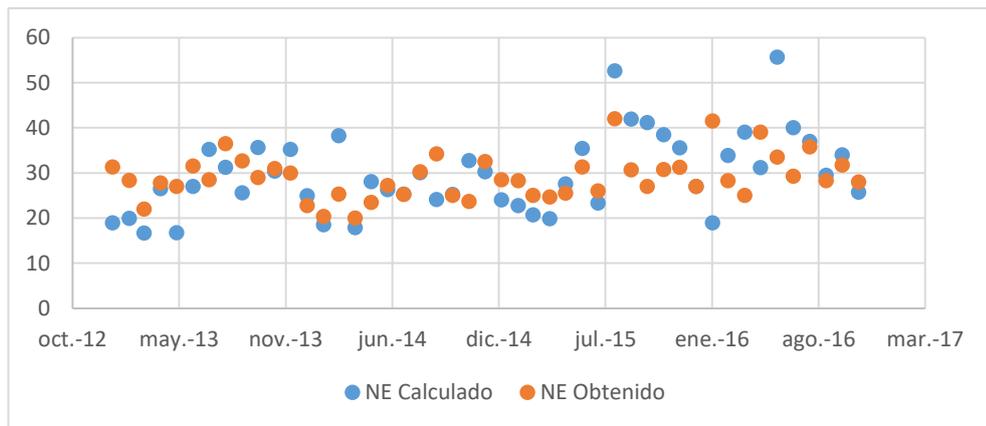


Figura 2-21. Dispersión de datos Facultativa 1; Mezcla Completa DBO

Fuente: Elaboración Propia

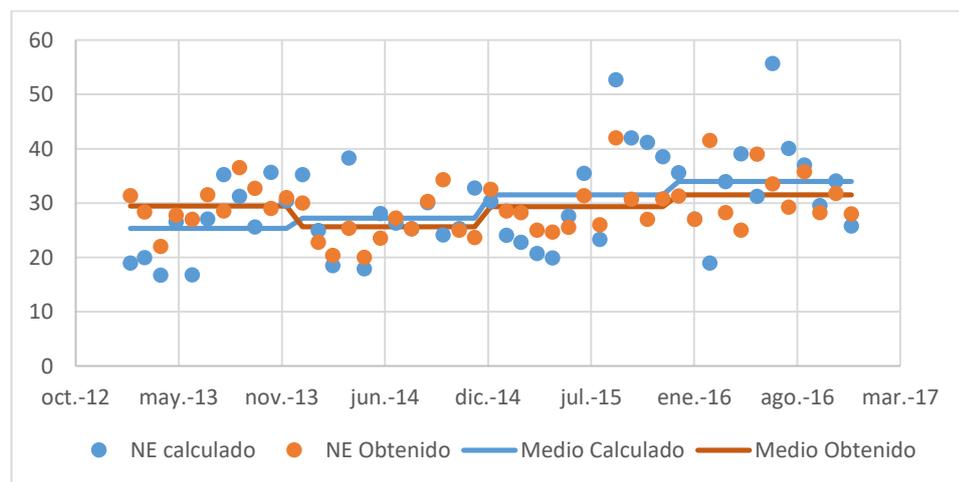


Figura 2-22. Tendencia lineal media, calculada Facultativa 1; Mezcla Completa DBO

Fuente: Elaboración Propia

Facultativa 2

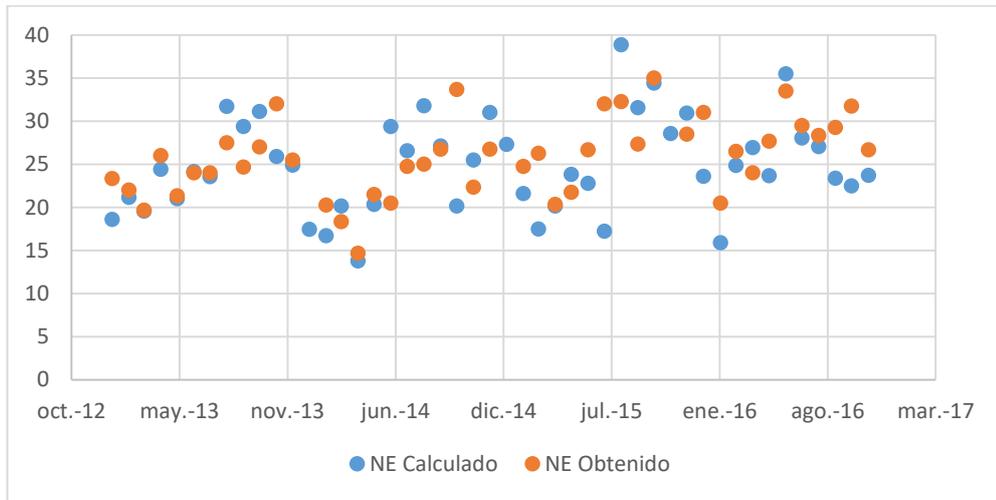


Figura 2-23. Dispersión de datos Facultativa 2; Mezcla Completa DBO

Fuente: Elaboración Propia

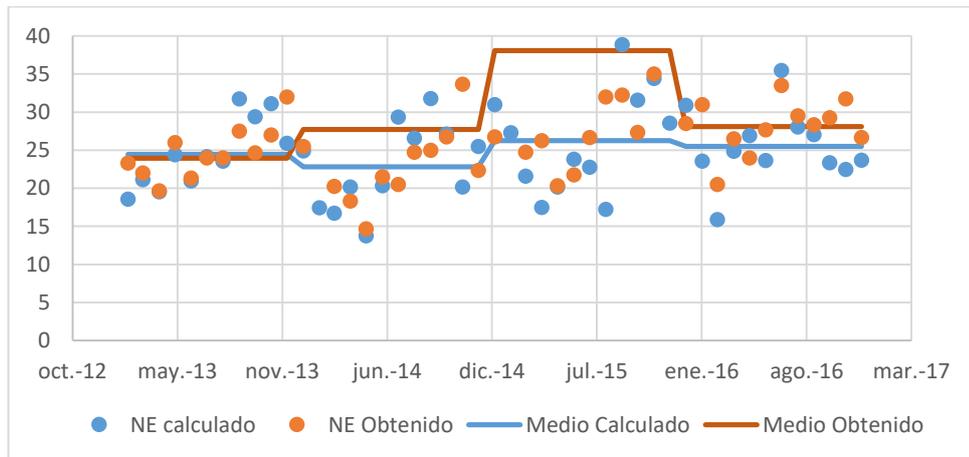


Figura 2-24. Tendencia lineal media, calculada Facultativa 2; Mezcla Completa DBO

Fuente: Elaboración Propia

Se puede observar en los diferentes gráficos como el comportamiento del efluente calculado es similar al comportamiento del efluente obtenido siendo la diferencia entre las mismas mínima.

Dichos resultados han sido obtenidos del procesamiento de la información que se encuentra adjunta en el Anexo 9.

En las siguientes figuras nos indica los valores de Coliformes Fecales obtenidos después de aplicar el método de Mezcla Completa, a los datos que han sido recopilados de la base de datos de la planta de tratamiento de Ucubamba desde el año 2013 al 2016, en el cual nos indica el valor del efluente calculado y el efluente obtenido a lo largo de los 4 años de estudio, utilizando el valor de la constante “k” obtenido en el análisis anterior, además se realizó una tendencia anual media donde se puede apreciar la variación en los diferentes años de estudio.

Facultativa 1

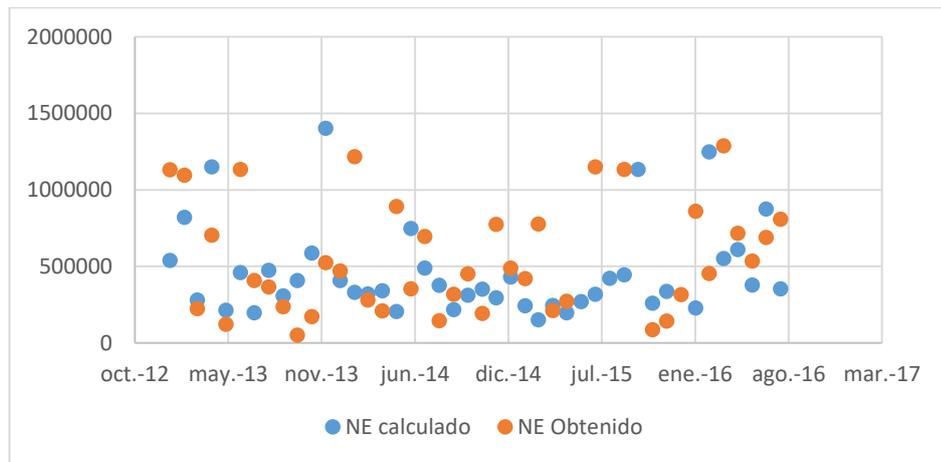


Figura 2-25. Dispersión de datos Facultativa 1; Mezcla Completa Coliformes

Fuente: Elaboración Propia

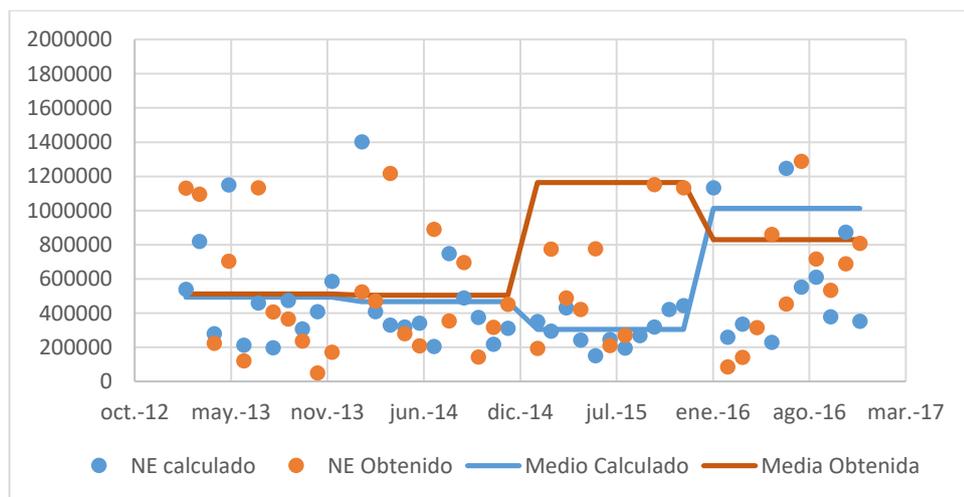


Figura 2-26. Tendencia lineal media, calculada Facultativa 1; Mezcla Completa Coliformes

Fuente: Elaboración Propia

Facultativa 2

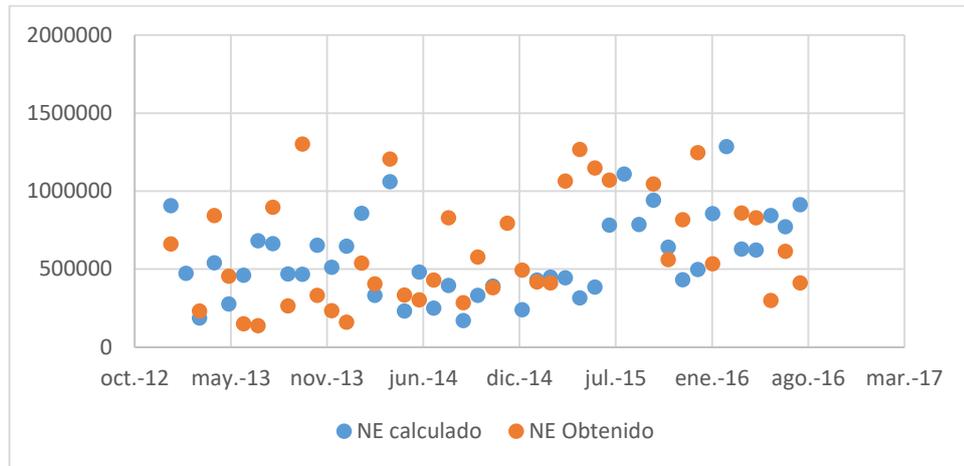


Figura 2-27. Dispersión de datos Facultativa 2; Mezcla Completa Coliformes

Fuente: Elaboración Propia

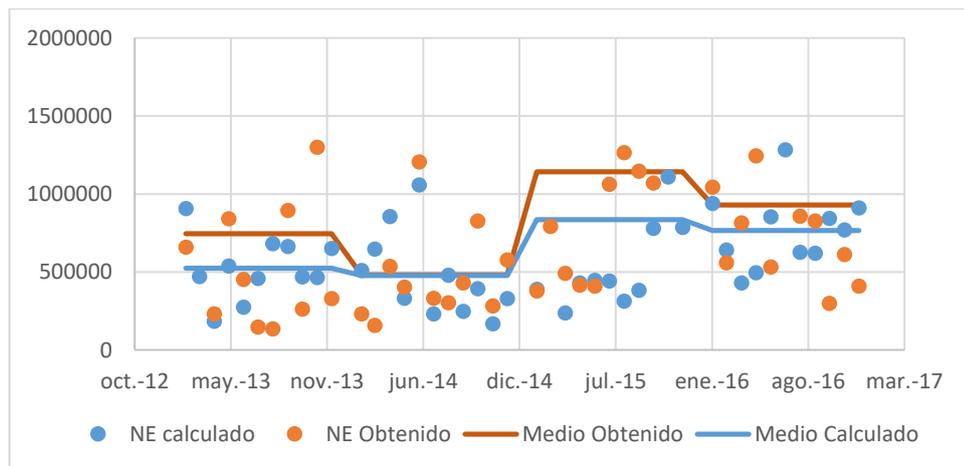


Figura 2-28. Tendencia lineal media, calculada Facultativa 2; Mezcla Completa Coliformes

Fuente: Elaboración Propia

Se puede observar en los diferentes gráficos como el comportamiento del efluente calculado es similar al comportamiento del efluente obtenido siendo la diferencia entre las mismas mínima.

Dichos resultados han sido obtenidos del procesamiento de la información que se encuentra adjunta en el Anexo 9.

2.2.2. Método de Polprasert y Bhattarai

En la tabla 2-5 nos indica los valores de DBO obtenidos después de aplicar el método de Flujo Disperso de Polprasert y Bhattarai, a los datos que han sido recopilados de la base de datos de la planta de tratamiento de Ucubamba desde el año 2013 al 2016, en el cual nos indica el valor medio de la constante “k” necesaria, para que mediante su aplicación en dicha ecuación, nos proporcione el valor más cercano a los valores reales obtenidos en el laboratorio, así como también su desviación estándar. Además se obtuvo el porcentaje de error existente al aplicar dicha ecuación sin ningún tipo de modificación comparada con respecto a los datos reales.

Tabla 2-6. Valor "k" y % de Error; DBO

DBO (mg/l)						
Año	Parámetros		Facultativa 1	Facultativa 2	Maduración 1	Maduración 2
2013	Valor "k"	Media	0.10556	0.18158	0.12458	-0.06292
		Desviación	0.07454	0.04225	0.09934	0.10563
	Diferencia	% de Error	-91.06%	-89.12%	-93.43%	-91.48%
2014	Valor "k"	Media	0.17129	0.17553	0.04070	-0.03690
		Desviación	0.09719	0.08894	0.13951	0.26246
	Diferencia	% de Error	-88.33%	-89.08%	-94.43%	-89.97%
2015	Valor "k"	Media	0.20027	0.15443	0.06822	-0.00153
		Desviación	0.09810	0.08800	0.12601	0.19309
	Diferencia	% de Error	-86.94%	-89.96%	-94.13%	-90.18%
2016	Valor "k"	Media	0.19214	0.17009	0.01977	-0.09200
		Desviación	0.12211	0.10034	0.14321	0.21175
	Diferencia	% de Error	-87.91%	-89.87%	-94.71%	-91.49%

Fuente: Elaboración Propia

Se puede observar que en los diferentes años de estudio el porcentaje de error es similar, siendo un valor alrededor del -90% en todas las lagunas, lo que nos indica que al aplicar la ecuación sin ninguna modificación no da como resultado datos más bajos a los obtenidos en el laboratorio, también se puede observar que el valor de la constante “k” y su respectiva desviación estándar varía alrededor de un valor específico, dependiendo principalmente de la laguna que se esté estudiando.

Dichos resultados han sido obtenidos del procesamiento de la información que se encuentra adjunta en el Anexo 5.

En la tabla 2-6 nos indica los valores de Coliformes Fecales obtenidos después de aplicar el método de Flujo Disperso de Polprasert y Bhattarai, a los datos que han sido recopilados de la base de datos de la planta de tratamiento de Ucubamba desde el año 2013 al 2016, en el cual nos indica el valor medio de la constante “k” necesaria, para que mediante su aplicación en dicha ecuación, nos proporcione el valor más cercano a los valores reales obtenidos en el laboratorio, así como también su desviación estándar. Además se obtuvo el porcentaje de error existente al aplicar dicha ecuación sin ningún tipo de modificación comparada con respecto a los datos reales.

Tabla 2-7. Valor "k" y % de Error; Coliformes

Coliformes Fecales NMP/ 100 ml						
Año	Parámetros		Facultativa 1	Facultativa 2	Maduración 1	Maduración 2
2013	Valor "k"	Media	0.57640	0.57124	0.37832	0.66833
		Desviación	0.30392	0.35691	0.55795	0.89165
	Diferencia	% de Error	31.51%	31.62%	-77.61%	-19.43%
2014	Valor "k"	Media	0.65528	0.60010	0.17073	0.72365
		Desviación	0.47002	0.39934	0.52112	0.73722
	Diferencia	% de Error	346.18%	75.27%	-87.60%	-32.81%
2015	Valor "k"	Media	0.41635	0.60163	0.49047	0.97181
		Desviación	0.35574	0.40036	0.67093	0.58057
	Diferencia	% de Error	-27.86%	55.50%	-48.70%	-28.67%
2016	Valor "k"	Media	0.63246	0.58921	0.35071	1.19579
		Desviación	0.45427	0.29161	0.52737	0.76673
	Diferencia	% de Error	100.26%	-34.60%	-81.58%	9.51%

Fuente: Elaboración Propia

Se puede observar que en los diferentes años de estudio el porcentaje de error es muy variado, siendo estos positivos y negativos, lo que nos indica que al aplicar la ecuación sin ninguna modificación no da como resultado datos tanto más altos como bajos a los obtenidos en el laboratorio, también se puede observar que el valor de la constante “k” y su respectiva desviación estándar varía alrededor de un valor específico, dependiendo principalmente de la laguna que se esté estudiando.

Dichos resultados han sido obtenidos del procesamiento de la información que se encuentra adjunta en el Anexo 5.

En las figuras 2-29 y 2-30 nos indica los valores de DBO obtenidos después de aplicar el método de Flujo Disperso de Polprasert y Bhattarai, a los datos que han sido recopilados de la base de datos de la planta de tratamiento de Ucubamba desde el año 2013 al 2016, en el cual nos indica la relación lineal existente entre los coeficientes del efluente calculado sobre el afluente obtenido (Ne/Ni Calculado) con respecto al efluente obtenido sobre el afluente obtenido (Ne/Ni Obtenido), representado mediante el parámetro R^2 , utilizando un valor de la constante “k”, aquel que me dé como resultado el mayor valor de R^2 .

Facultativa 1

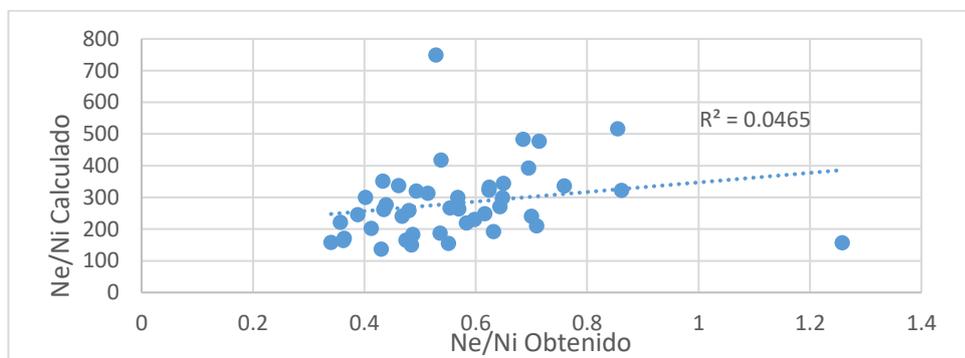


Figura 2-29. Dispersión de datos Facultativa 1; Polprasert y Bhattarai DBO

Fuente: Elaboración Propia

Facultativa 2

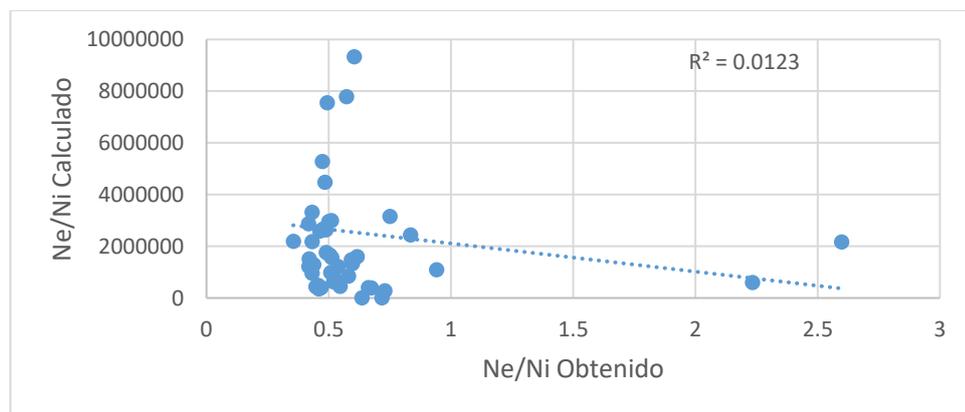


Figura 2-30. Dispersión de datos Facultativa 2; Polprasert y Bhattarai DBO

Fuente: Elaboración Propia

Se puede observar que en los diferentes gráficos la regresión lineal realizada nos da valores del parámetro R^2 demasiado bajos, entendiéndose de que dichas relaciones da como resultado que los datos calculados no se acercan a la realidad de los datos obtenidos mediante este proceso matemático.

Dichos resultados han sido obtenidos del procesamiento de la información que se encuentra adjunta en el Anexo 6.

En las figuras 2-31 y 2-32 nos indica los valores de Coliformes Fecales obtenidos después de aplicar el método de Flujo Disperso de Polprasert y Bhattarai, a los datos que han sido recopilados de la base de datos de la planta de tratamiento de Ucubamba desde el año 2013 al 2016, en el cual nos indica la relación lineal existente entre los coeficientes del efluente calculado sobre el afluente obtenido (Ne/Ni Calculado) con respecto al efluente obtenido sobre el afluente obtenido (Ne/Ni Obtenido), representado mediante el parámetro R^2 , utilizando un valor de la constante “k”, aquel que me dé como resultado el mayor valor de R^2 .

Facultativa 1

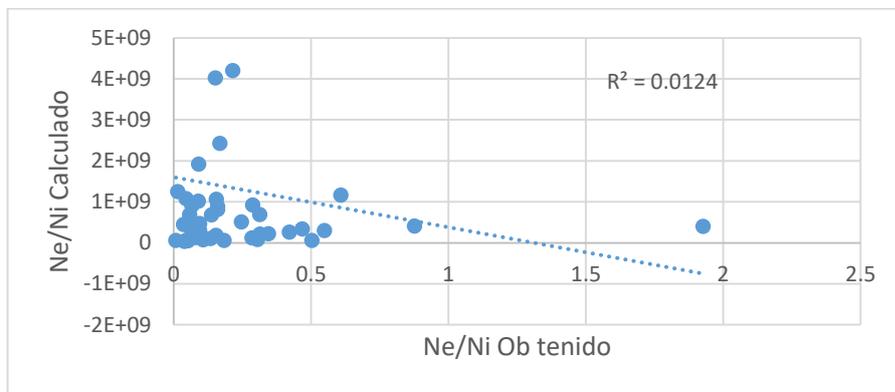


Figura 2-31. Dispersión de datos Facultativa 1; Polprasert y Bhattarai Coliformes

Fuente: Elaboración Propia

Facultativa 2

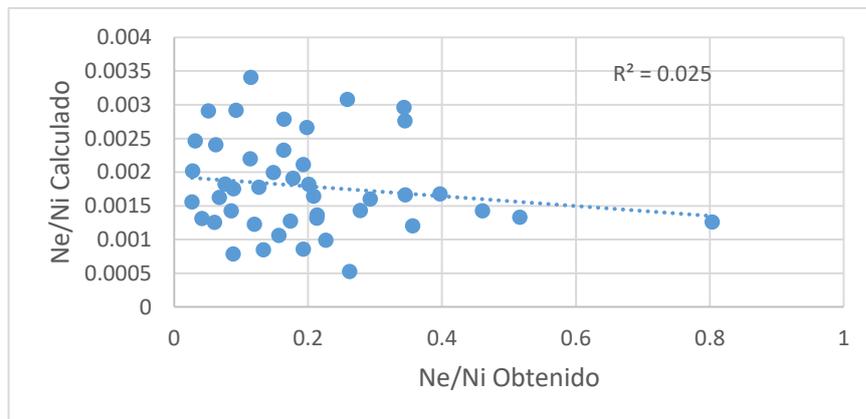


Figura 2-32. Dispersión de datos Facultativa 2; Polprasert y Bhattarai Coliformes

Fuente: Elaboración Propia

Se puede observar que en los diferentes gráficos la regresión lineal realizada nos da valores del parámetro R^2 demasiado bajos, entendiéndose de que dichas relaciones da como resultado que los datos calculados no se acercan a la realidad de los datos obtenidos mediante este proceso matemático.

Dichos resultados han sido obtenidos del procesamiento de la información que se encuentra adjunta en el Anexo 6.

En las figuras 2-33 y 2-34 nos indica los valores de DBO obtenidos después de aplicar el método de Flujo Disperso de Polprasert y Bhattarai, a los datos que han sido recopilados de la base de datos de la planta de tratamiento de Ucubamba desde el año 2013 al 2016, en el cual nos indica la relación lineal existente entre los coeficientes del efluente calculado sobre el afluente obtenido (Ne/Ni Calculado) con respecto al efluente obtenido sobre el afluente obtenido (Ne/Ni Obtenido), representado mediante el parámetro R^2 , realizando un proceso de eliminación de datos que se encuentren fueran del rango de dos desviaciones estándar con respecto a la media de dichos coeficientes, utilizando un valor de la constante “k”, aquel que me dé como resultado el mayor valor de R^2 .

Facultativa 1

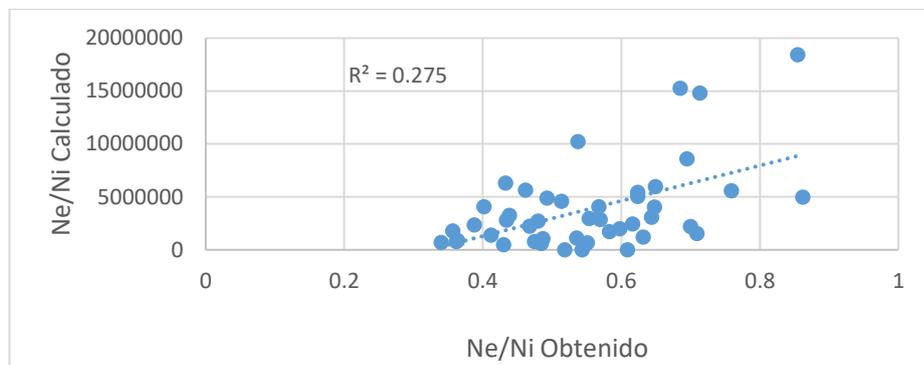


Figura 2-33. Dispersión de datos Facultativa 1; Polprasert y Bhattarai DBO

Fuente: Elaboración Propia

Facultativa 2

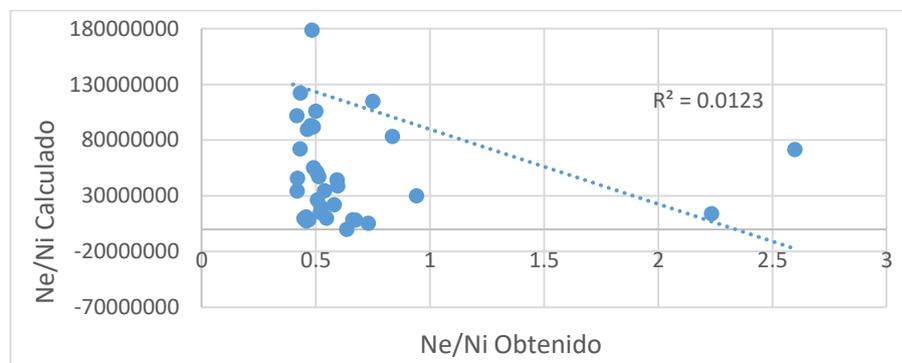


Figura 2-34. Dispersión de datos Facultativa 2; Polprasert y Bhattarai DBO

Fuente: Elaboración Propia

Se puede observar que en los diferentes gráficos la regresión lineal realizada nos da valores del parámetro R^2 demasiado bajos, entendiéndose de que dichas relaciones da como resultado que los datos calculados no se acercan a la realidad de los datos obtenidos mediante este proceso matemático.

Dichos resultados han sido obtenidos del procesamiento de la información que se encuentra adjunta en el Anexo 7.

En las figuras 2-35 y 2-36 nos indica los valores de Coliformes Fecales obtenidos después de aplicar el método de Flujo Disperso de Polprasert y Bhattarai, a los datos que han sido recopilados de la base de datos de la planta de tratamiento de Ucubamba desde el año 2013 al 2016, en el cual nos indica la relación lineal existente entre los coeficientes del efluente calculado sobre el afluente obtenido (N_e/N_i Calculado) con respecto al efluente obtenido sobre el afluente obtenido (N_e/N_i Obtenido), representado mediante el parámetro R^2 , realizando un proceso de eliminación de datos que se encuentren fueran del rango de dos desviaciones estándar con respecto a la media de dichos coeficientes, utilizando un valor de la constante “k”, aquel que me dé como resultado el mayor valor de R^2 .

Facultativa 1

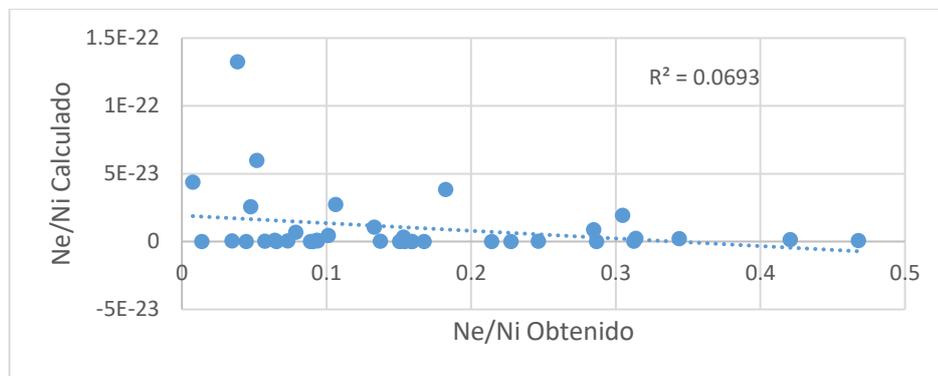


Figura 2-35. Dispersión de datos Facultativa 1; Polprasert y Bhattarai Coliformes

Fuente: Elaboración Propia

Facultativa 2

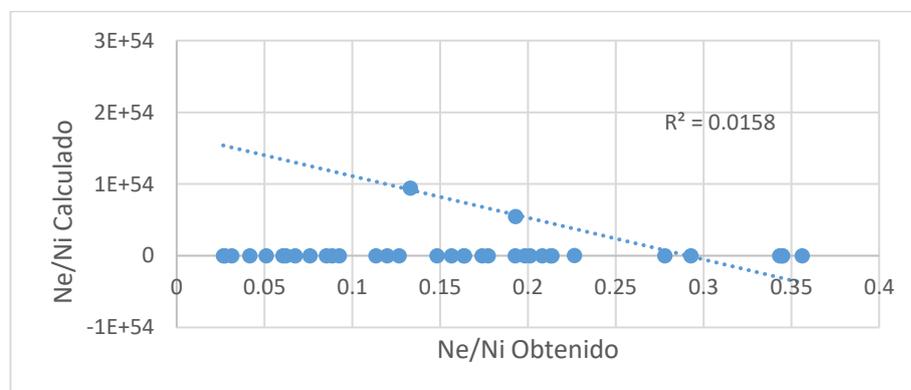


Figura 2-36. Dispersión de datos Facultativa 2; Polprasert y Bhattarai Coliformes

Fuente: Elaboración Propia

Se puede observar que en los diferentes gráficos la regresión lineal realizada nos da valores del parámetro R^2 demasiado bajos, entendiéndose de que dichas relaciones da como resultado que los datos calculados no se acercan a la realidad de los datos obtenidos mediante este proceso matemático.

Dichos resultados han sido obtenidos del procesamiento de la información que se encuentra adjunta en el Anexo 7.

En el tabla 2-7 nos indica los valores de DBO y Coliformes Fecales obtenidos después de aplicar el método de Flujo Disperso de Polprasert y Bhattarai, a los datos que han sido recopilados de la base de datos de la planta de tratamiento de Ucubamba desde el año 2013 al 2016, en el cual nos indica el valor de la dispersión y la constante “k” cuya aplicación nos da la menor diferencia absoluta de los coeficientes del efluente calculado sobre el afluente obtenido (N_e/N_i Calculado) con respecto al efluente obtenido sobre el afluente obtenido (N_e/N_i Obtenido), realizando un proceso de eliminación de datos que se encuentren fueran del rango de dos desviaciones estándar con respecto a la media de dichos coeficientes.

Tabla 2-8. Valores DBO y Coliformes

PARAMETRO	VALORES	FACULTATIVA 1	FACULTATIVA 2
DBO	K	0.208	0.215
	Dispersión	0.00218	0.00250
	DIFERENCIA	5.73	6.75
COLIFORMES	K	0.7	0.611
	Dispersión	0.00224	0.00252
	DIFERENCIA	3.56	2.9

Fuente: Elaboración Propia

Se puede observar que el valor de las constantes “k” aplicadas nos proporciona una diferencia absoluta aceptable, además que con respecto a las lagunas facultativas se obtiene que dichos valores son similares con respecto al parámetro de remoción, debido a la similitud de las mismas, obteniéndose un promedio de diferencia absoluta de 4.735.

Dichos resultados han sido obtenidos del procesamiento de la información que se encuentra adjunta en el Anexo 8.

En las siguientes figuras nos indica los valores de DBO obtenidos después de aplicar el método de Flujo Disperso de Polprasert y Bhattarai, a los datos que han sido recopilados de la base de datos de la planta de tratamiento de Ucubamba desde el año 2013 al 2016, en el cual nos indica el valor del efluente calculado y el efluente obtenido a lo largo de los 4 años de estudio, utilizando el valor de la constante “k” obtenido en el análisis anterior, además se realizó una tendencia anual media donde se puede apreciar la variación en los diferentes años de estudio.

Facultativa 1

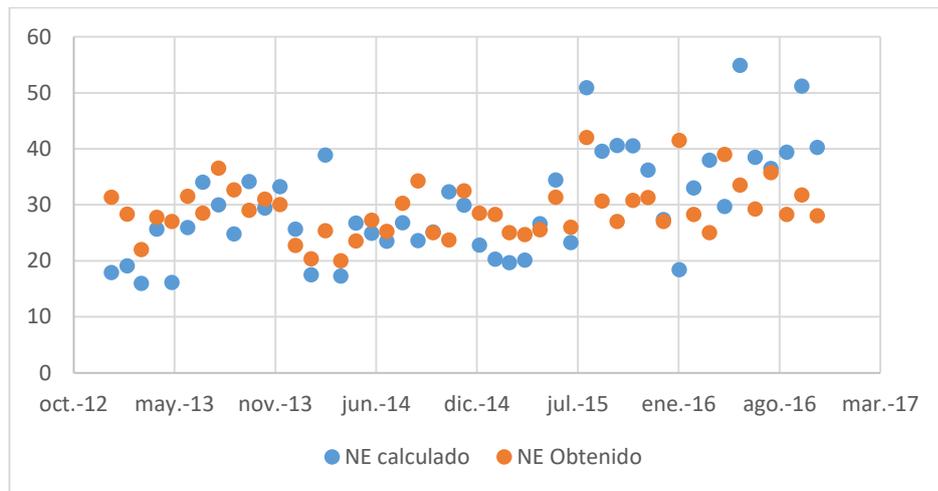


Figura 2-37. Dispersión de datos Facultativa 1; Polprasert y Bhattarai DBO

Fuente: Elaboración Propia

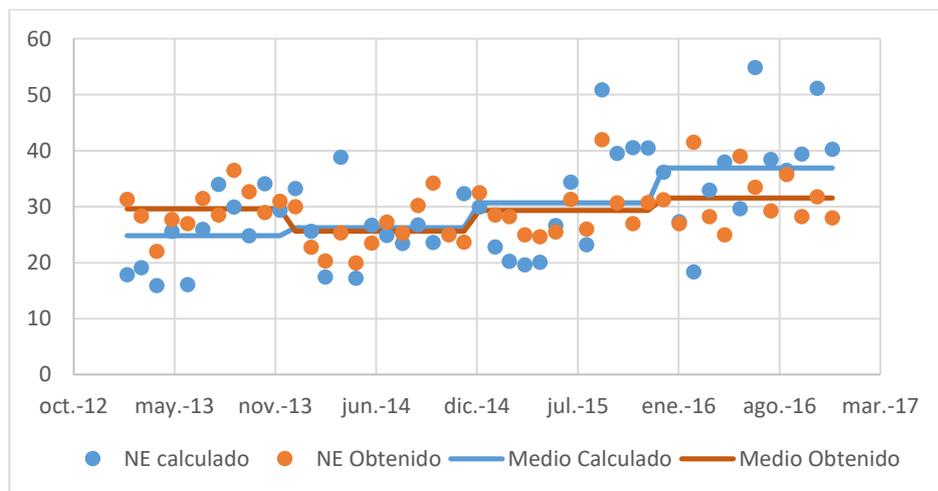


Figura 2-38. Tendencia lineal media, calculada Facultativa 1; Polprasert y Bhattarai DBO

Fuente: Elaboración Propia

Facultativa 2

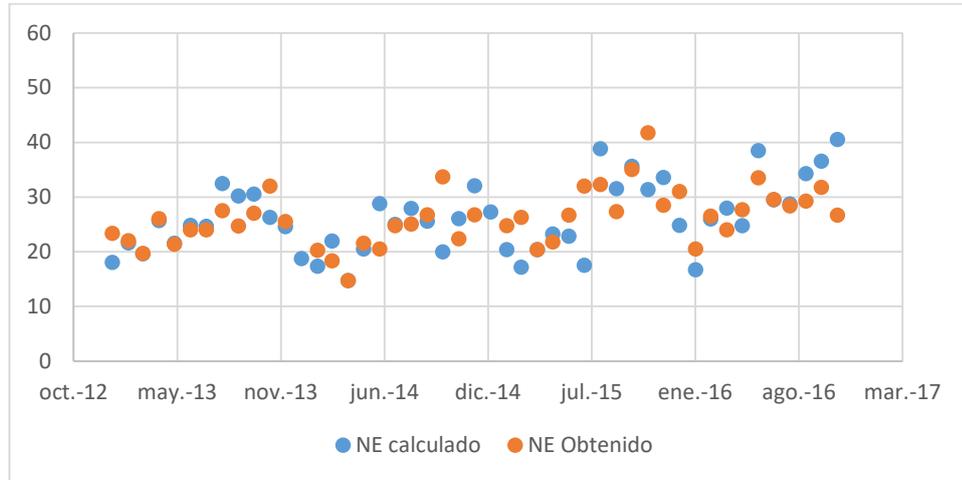


Figura 2-39. Dispersión de datos Facultativa 2; Polprasert y Bhattarai DBO

Fuente: Elaboración Propia

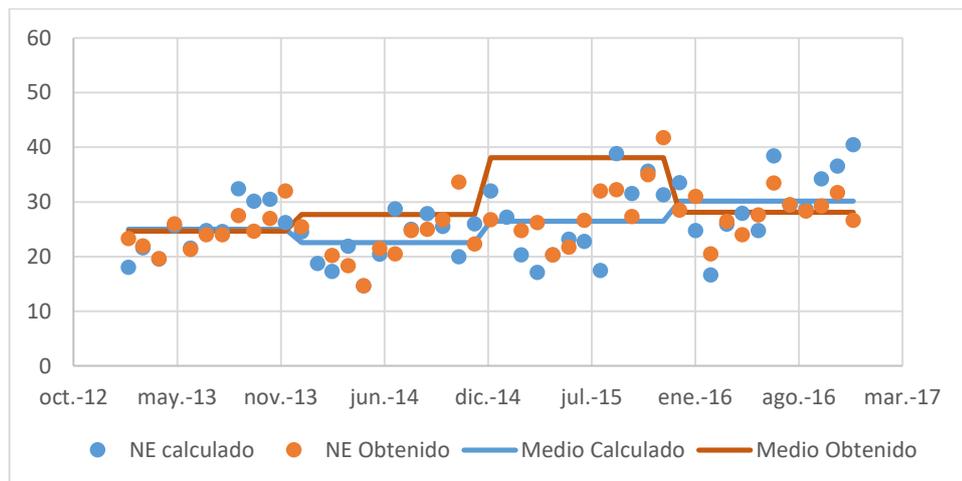


Figura 2-40. Tendencia lineal media, calculada Facultativa 2; Polprasert y Bhattarai DBO

Fuente: Elaboración Propia

Se puede observar en los diferentes gráficos como el comportamiento del efluente calculado es similar al comportamiento del efluente obtenido siendo la diferencia entre las mismas mínima.

Dichos resultados han sido obtenidos del procesamiento de la información que se encuentra adjunta en el Anexo 9.

En las siguientes figuras nos indica los valores de Coliformes Fecales obtenidos después de aplicar el método de Flujo Disperso de Polprasert y Bhattarai, a los datos que han sido recopilados de la base de datos de la planta de tratamiento de Ucubamba desde el año 2013 al 2016, en el cual nos indica el valor del efluente calculado y el efluente obtenido a lo largo de los 4 años de estudio, utilizando el valor de la constante “k” obtenido en el análisis anterior, además se realizó una tendencia anual media donde se puede apreciar la variación en los diferentes años de estudio.

Facultativa 1

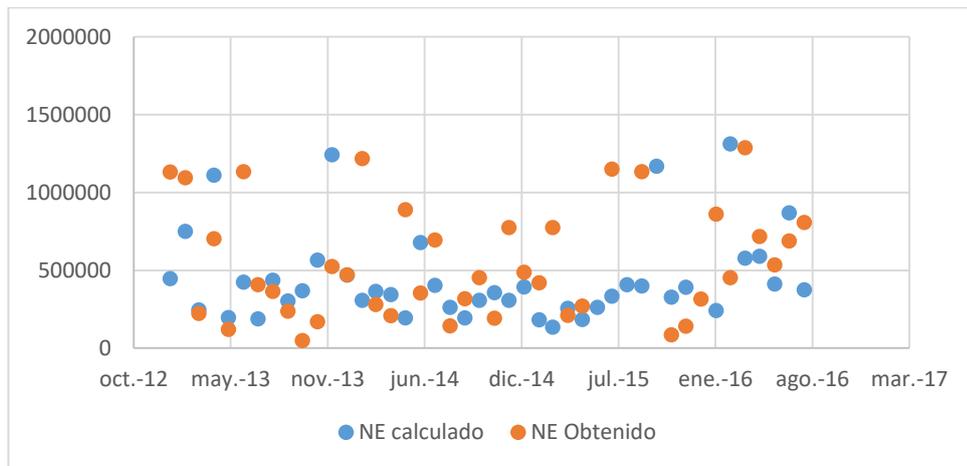


Figura 2-41. Dispersión de datos Facultativa 1; Polprasert y Bhattarai Coliformes

Fuente: Elaboración Propia

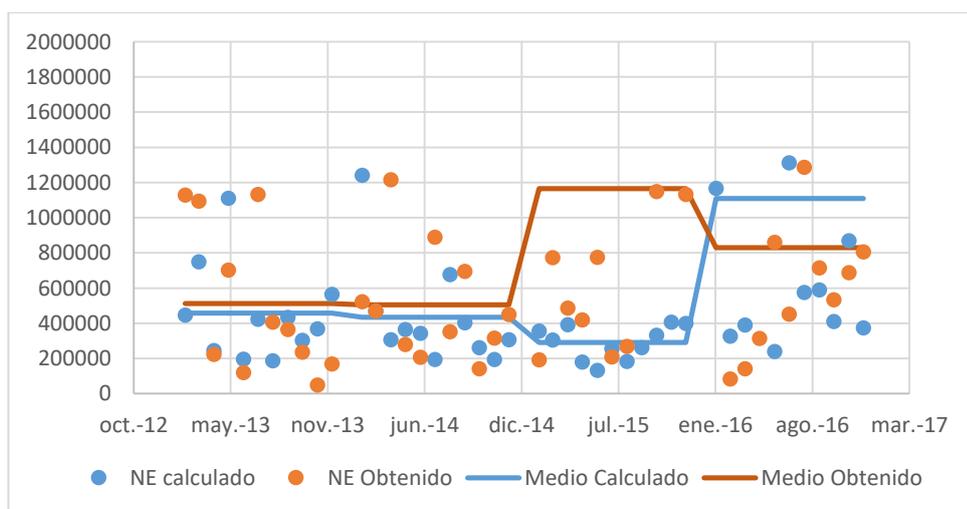


Figura 2-42. Tendencia lineal media, calculada Facultativa 1; Polprasert y Bhattarai Coliformes

Fuente: Elaboración Propia

Facultativa 2

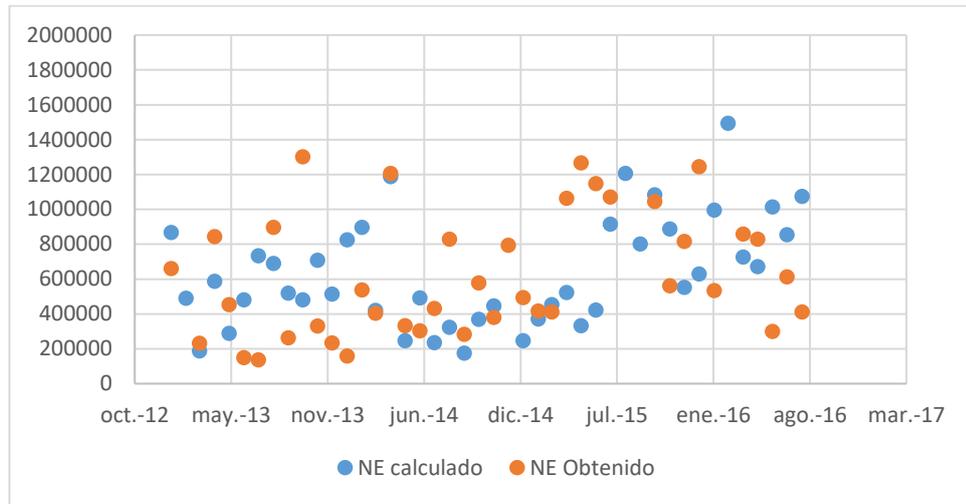


Figura 2-43. Dispersión de datos Facultativa 2; Polprasert y Bhattarai Coliformes

Fuente: Elaboración Propia

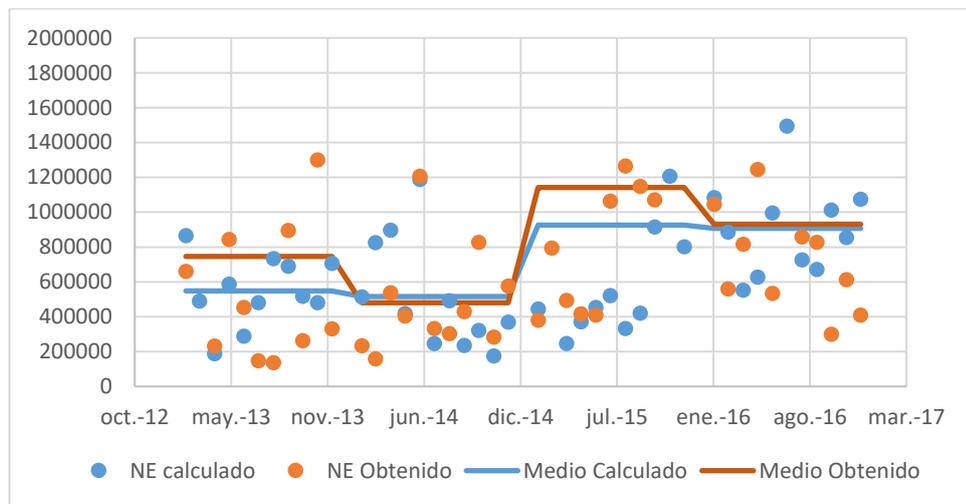


Figura 2-44. Tendencia lineal media, calculada Facultativa 2; Polprasert y Bhattarai Coliformes

Fuente: Elaboración Propia

Se puede observar en los diferentes gráficos como el comportamiento del efluente calculado es similar al comportamiento del efluente obtenido siendo la diferencia entre las mismas mínima.

Dichos resultados han sido obtenidos del procesamiento de la información que se encuentra adjunta en el Anexo 9.

2.2.3. Método de Sáenz

En la tabla 2-8 nos indica los valores de DBO obtenidos después de aplicar el método de Flujo Disperso de Sáenz, a los datos que han sido recopilados de la base de datos de la planta de tratamiento de Ucubamba desde el año 2013 al 2016, en el cual nos indica el valor medio de la constante “k” necesaria, para que mediante su aplicación en dicha ecuación, nos proporcione el valor más cercano a los valores reales obtenidos en el laboratorio, así como también su desviación estándar. Además se obtuvo el porcentaje de error existente al aplicar dicha ecuación sin ningún tipo de modificación comparada con respecto a los datos reales.

Tabla 2-9. Valor "k" y % de Error; DBO

DBO						
Año	Parámetros		Facultativa 1	Facultativa 2	Maduración 1	Maduración 2
2013	Valor "k"	Media	0.11101	0.19440	0.13525	-0.05784
		Desviación	0.07881	0.04803	0.10406	0.09999
	Diferencia	% de Error	-86.24%	-82.17%	-88.31%	-84.43%
2014	Valor "k"	Media	0.18364	0.19237	0.04565	-0.05764
		Desviación	0.10657	0.09595	0.14302	0.17017
	Diferencia	% de Error	-82.02%	-81.98%	-90.10%	-84.16%
2015	Valor "k"	Media	0.17569	0.16947	0.07302	0.06512
		Desviación	0.09909	0.09661	0.13301	0.59802
	Diferencia	% de Error	-82.64%	-83.34%	-89.56%	-71.16%
2016	Valor "k"	Media	0.20662	0.18230	0.02037	-0.07895
		Desviación	0.13320	0.10978	0.14898	0.19577
	Diferencia	% de Error	-81.39%	-83.39%	-90.66%	-84.45%

Fuente: Elaboración Propia

Se puede observar que en los diferentes años de estudio el porcentaje de error es similar, siendo un valor alrededor del -85% en todas las lagunas, lo que nos indica que al aplicar la ecuación sin ninguna modificación no da como resultado datos más bajos a los obtenidos en el laboratorio, también se puede observar que el valor de la constante “k” y su respectiva desviación estándar varía alrededor de un valor específico, dependiendo principalmente de la laguna que se esté estudiando.

Dichos resultados han sido obtenidos del procesamiento de la información que se encuentra adjunta en el Anexo 5.

En la tabla 2-9 nos indica los valores de Coliformes Fecales obtenidos después de aplicar el método de Flujo Disperso de Sáenz, a los datos que han sido recopilados de la base de datos de la planta de tratamiento de Ucubamba desde el año 2013 al 2016, en el cual nos indica el valor medio de la constante “k” necesaria, para que mediante su aplicación en dicha ecuación, nos proporcione el valor más cercano a los valores reales obtenidos en el laboratorio, así como también su desviación estándar. Además se obtuvo el porcentaje de error existente al aplicar dicha ecuación sin ningún tipo de modificación comparada con respecto a los datos reales.

Tabla 2-10. Valor "k" y % de Error; Coliformes

Coliformes Fecales						
Año	Parámetros		Facultativa 1	Facultativa 2	Maduración 1	Maduración 2
2013	Valor "k"	Media	0.74687	0.73621	0.48756	1.17140
		Desviación	0.46257	0.53033	0.66171	1.40224
	Diferencia	% de Error	102.52%	115.78%	-60.17%	49.76%
2014	Valor "k"	Media	0.84507	0.78394	0.24118	1.09858
		Desviación	0.72285	0.57322	0.56371	1.23135
	Diferencia	% de Error	587.11%	187.33%	-77.93%	22.82%
2015	Valor "k"	Media	0.51062	0.57579	0.59508	1.51018
		Desviación	0.46356	0.46680	0.71049	1.24625
	Diferencia	% de Error	11.09%	22.42%	-51.63%	71.58%
2016	Valor "k"	Media	0.85023	0.72416	0.43371	1.82196
		Desviación	0.66291	0.39883	0.62932	1.41822
	Diferencia	% de Error	215.70%	7.22%	-67.27%	100.20%

Fuente: Elaboración Propia

Se puede observar que en los diferentes años de estudio el porcentaje de error es muy variado, siendo estos positivos y negativos, lo que nos indica que al aplicar la ecuación sin ninguna modificación no da como resultado datos tanto más altos como bajos a los obtenidos en el laboratorio, también se puede observar que el valor de la constante “k” y su respectiva desviación estándar varía alrededor de un valor específico, dependiendo principalmente de la laguna que se esté estudiando.

Dichos resultados han sido obtenidos del procesamiento de la información que se encuentra adjunta en el Anexo 5.

En las figuras 2-45 y 2-46 nos indica los valores de DBO obtenidos después de aplicar el método de Flujo Disperso de Sáenz, a los datos que han sido recopilados de la base de datos de la planta de tratamiento de Ucubamba desde el año 2013 al 2016, en el cual nos indica la relación lineal existente entre los coeficientes del efluente calculado sobre el afluente obtenido (Ne/Ni Calculado) con respecto al efluente obtenido sobre el afluente obtenido (Ne/Ni Obtenido), representado mediante el parámetro R^2 , utilizando un valor de la constante “k”, aquel que me dé como resultado el mayor valor de R^2 .

Facultativa 1

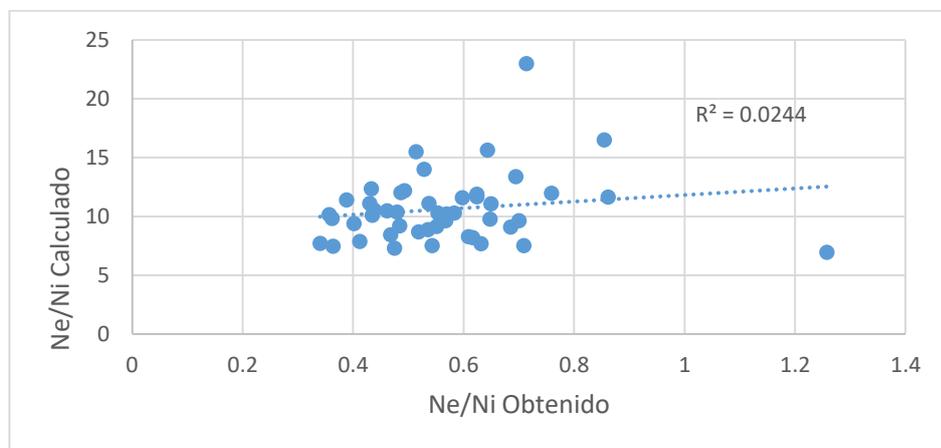


Figura 2-45. Dispersión de datos Facultativa 1; Sáenz DBO

Fuente: Elaboración Propia

Facultativa 2

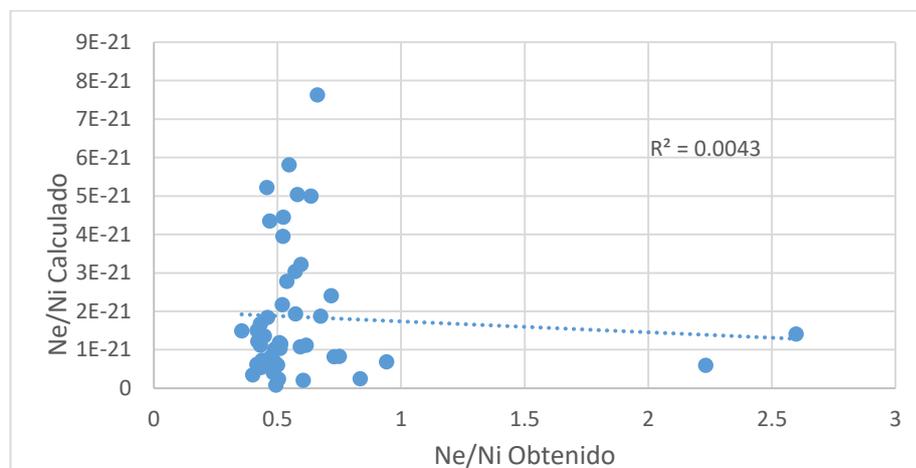


Figura 2-46. Dispersión de datos Facultativa 2; Sáenz DBO

Fuente: Elaboración Propia

Se puede observar que en los diferentes gráficos la regresión lineal realizada nos da valores del parámetro R^2 demasiado bajos, entendiéndose de que dichas relaciones da como resultado que los datos calculados no se acercan a la realidad de los datos obtenidos mediante este proceso matemático.

Dichos resultados han sido obtenidos del procesamiento de la información que se encuentra adjunta en el Anexo 6.

En las figuras 2-47 y 2-48 nos indica los valores de Coliformes Fecales obtenidos después de aplicar el método de Flujo Disperso de Sáenz, a los datos que han sido recopilados de la base de datos de la planta de tratamiento de Ucubamba desde el año 2013 al 2016, en el cual nos indica la relación lineal existente entre los coeficientes del efluente calculado sobre el afluente obtenido (N_e/N_i Calculado) con respecto al efluente obtenido sobre el afluente obtenido (N_e/N_i Obtenido), representado mediante el parámetro R^2 , utilizando un valor de la constante “k”, aquel que me dé como resultado el mayor valor de R^2 .

Facultativa 1

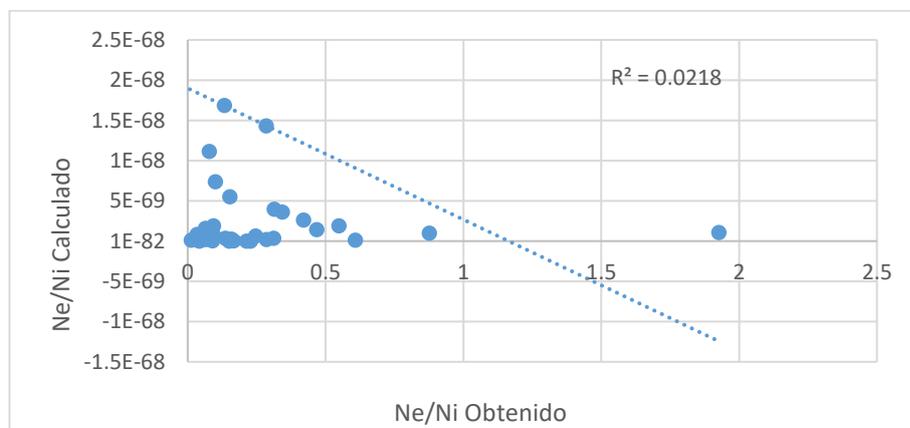


Figura 2-47. Dispersión de datos Facultativa 1; Sáenz Coliformes

Fuente: Elaboración Propia

Facultativa 2

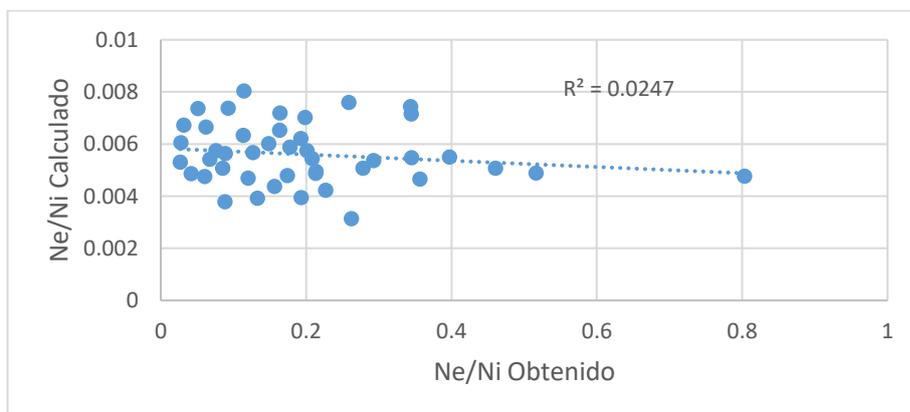


Figura 2-48. Dispersión de datos Facultativa 1; Sáenz Coliformes

Fuente: Elaboración Propia

Se puede observar que en los diferentes gráficos la regresión lineal realizada nos da valores del parámetro R^2 demasiado bajos, entendiéndose de que dichas relaciones da como resultado que los datos calculados no se acercan a la realidad de los datos obtenidos mediante este proceso matemático.

Dichos resultados han sido obtenidos del procesamiento de la información que se encuentra adjunta en el Anexo 6.

En las figuras 2-49 y 2-50 nos indica los valores de DBO obtenidos después de aplicar el método de Flujo Disperso de Sáenz, a los datos que han sido recopilados de la base de datos de la planta de tratamiento de Ucubamba desde el año 2013 al 2016, en el cual nos indica la relación lineal existente entre los coeficientes del efluente calculado sobre el afluente obtenido (Ne/Ni Calculado) con respecto al efluente obtenido sobre el afluente obtenido (Ne/Ni Obtenido), representado mediante el parámetro R^2 , realizando un proceso de eliminación de datos que se encuentren fueran del rango de dos desviaciones estándar con respecto a la media de dichos coeficientes, utilizando un valor de la constante “k”, aquel que me dé como resultado el mayor valor de R^2 .

Facultativa 1

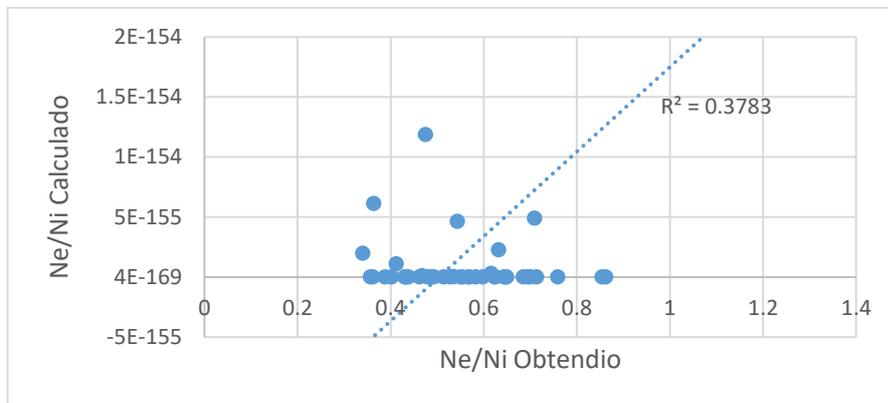


Figura 2-49. Dispersión de datos, R^2 , Facultativa 1; Sáenz DBO

Fuente: Elaboración Propia

Facultativa 2

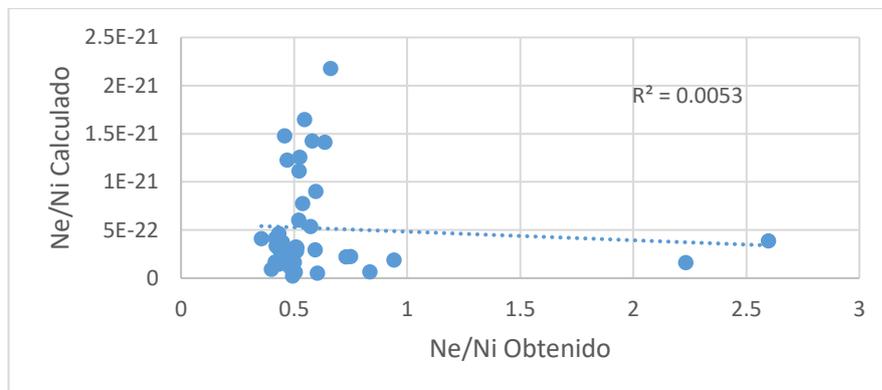


Figura 2-50. Dispersión de datos, R^2 , Facultativa 2; Sáenz DBO

Fuente: Elaboración Propia

Se puede observar que en los diferentes gráficos la regresión lineal realizada nos da valores del parámetro R^2 demasiado bajos, entendiéndose de que dichas relaciones da como resultado que los datos calculados no se acercan a la realidad de los datos obtenidos mediante este proceso matemático.

Dichos resultados han sido obtenidos del procesamiento de la información que se encuentra adjunta en el Anexo 7.

En las figuras 2-51 y 2-52 nos indica los valores de Coliformes Fecales obtenidos después de aplicar el método de Flujo Disperso de Sáenz, a los datos que han sido recopilados de la base de datos de la planta de tratamiento de Ucubamba desde el año 2013 al 2016, en el cual nos indica la relación lineal existente entre los coeficientes del efluente calculado sobre el afluente obtenido (Ne/Ni Calculado) con respecto al efluente obtenido sobre el afluente obtenido (Ne/Ni Obtenido), representado mediante el parámetro R^2 , realizando un proceso de eliminación de datos que se encuentren fueran del rango de dos desviaciones estándar con respecto a la media de dichos coeficientes, utilizando un valor de la constante “k”, aquel que me dé como resultado el mayor valor de R^2 .

Facultativa 1

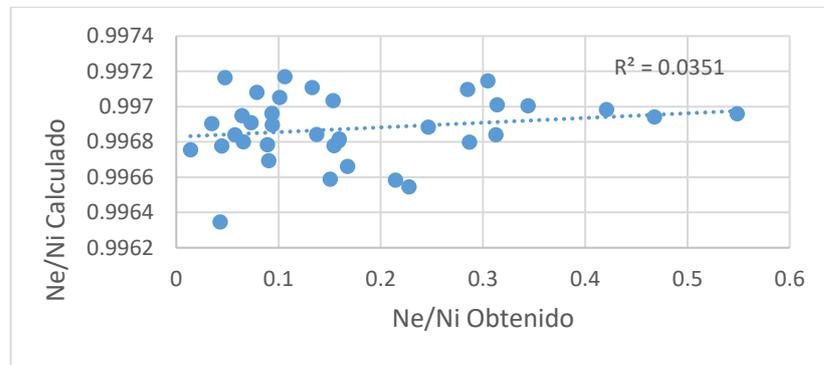


Figura 2-51. Dispersión de datos, R^2 , Facultativa 1; Sáenz Coliformes

Fuente: Elaboración Propia

Facultativa 2

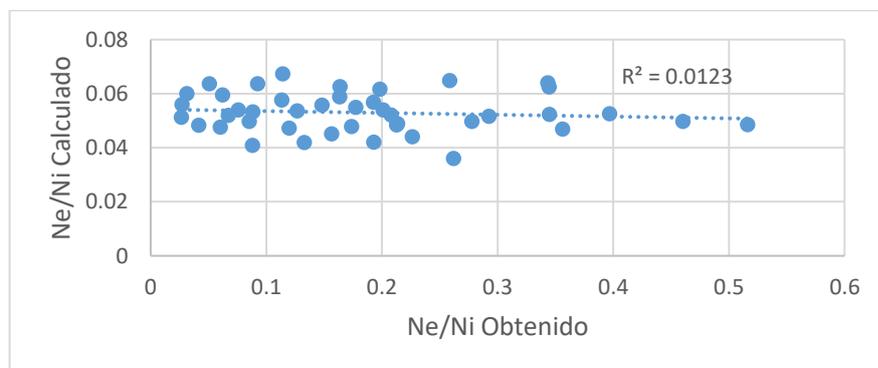


Figura 2-52. Dispersión de datos, R^2 , Facultativa 2; Sáenz Coliformes

Fuente: Elaboración Propia

Se puede observar que en los diferentes gráficos la regresión lineal realizada nos da valores del parámetro R^2 demasiado bajos, entendiéndose de que dichas relaciones da como resultado que los datos calculados no se acercan a la realidad de los datos obtenidos mediante este proceso matemático.

Dichos resultados han sido obtenidos del procesamiento de la información que se encuentra adjunta en el Anexo 7.

En el tabla 2-10 nos indica los valores de DBO y Coliformes Fecales obtenidos después de aplicar el método de Flujo Disperso de Sáenz, a los datos que han sido recopilados de la base de datos de la planta de tratamiento de Ucubamba desde el año 2013 al 2016, en el cual nos indica el valor de la dispersión y la constante “k” cuya aplicación nos da la menor diferencia absoluta de los coeficientes del efluente calculado sobre el afluente obtenido (Ne/Ni Calculado) con respecto al efluente obtenido sobre el afluente obtenido (Ne/Ni Obtenido), realizando un proceso de eliminación de datos que se encuentren fueran del rango de dos desviaciones estándar con respecto a la media de dichos coeficientes.

Tabla 2-11. Valores DBO y Coliformes

PARAMETRO	VALORES	FACULTATIVA 1	FACULTATIVA 2
DBO	Valor “K”	0.215	0.238
	Dispersión	0.10763	0.12065
	DIFERENCIA	5.39	6.92
COLIFORMES	Valor “K”	0.766	0.66
	Dispersión	0.10817	0.12026
	DIFERENCIA	3.59	4.09

Fuente: Elaboración Propia

Se puede observar que el valor de las constantes “k” aplicadas nos proporciona una diferencia absoluta aceptable, además que con respecto a las lagunas facultativas se obtiene que dichos valores son similares con respecto al parámetro de remoción, debido a la similitud de las mismas, obteniéndose un promedio de diferencia absoluta de 4.99.

Dichos resultados han sido obtenidos del procesamiento de la información que se encuentra adjunta en el Anexo 8.

En las siguientes figuras nos indica los valores de DBO obtenidos después de aplicar el método de Flujo Disperso de Sáenz, a los datos que han sido recopilados de la base de datos de la planta de tratamiento de Ucubamba desde el año 2013 al 2016, en el cual nos indica el valor del efluente calculado y el efluente obtenido a lo largo de los 4 años de estudio, utilizando el valor de la constante “k” obtenido en el análisis anterior, además se realizó una tendencia anual media donde se puede apreciar la variación en los diferentes años de estudio.

Facultativa 1

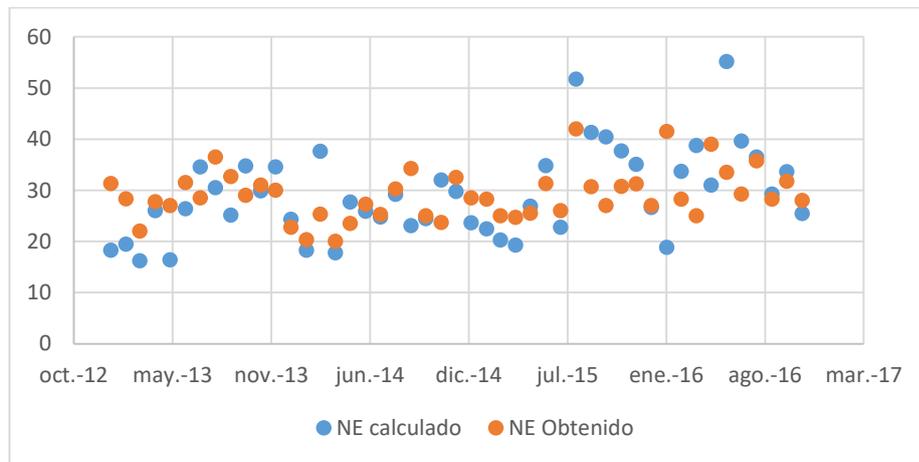


Figura 2-53. Dispersión de datos Facultativa 1; Sáenz DBO

Fuente: Elaboración Propia

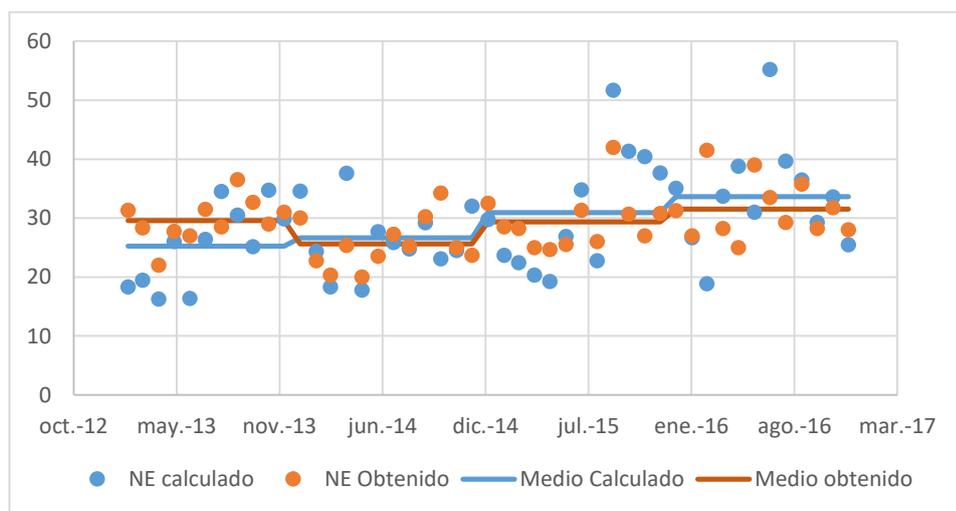


Figura 2-54. Tendencia lineal media, calculada Facultativa 1; Sáenz DBO

Fuente: Elaboración Propia

Facultativa 2

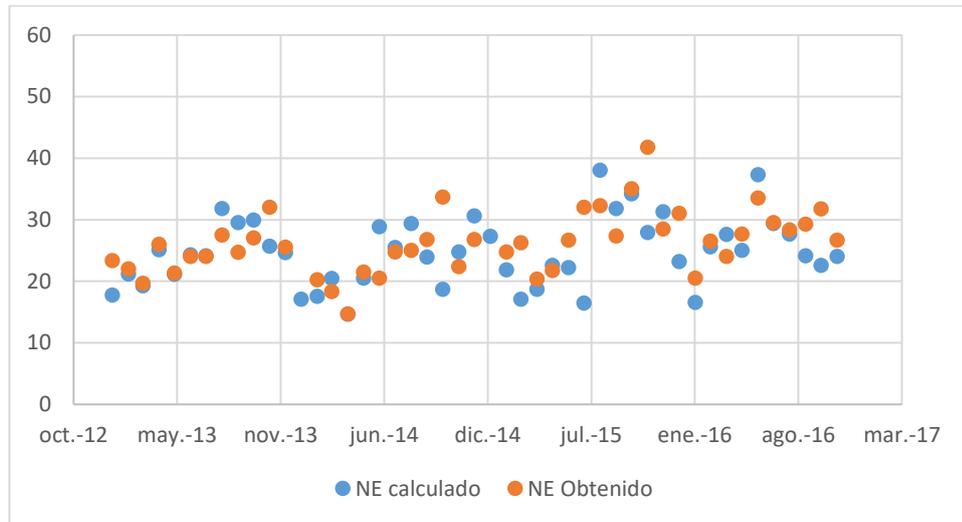


Figura 2-55. Dispersión de datos Facultativa 2; Sáenz DBO

Fuente: Elaboración Propia

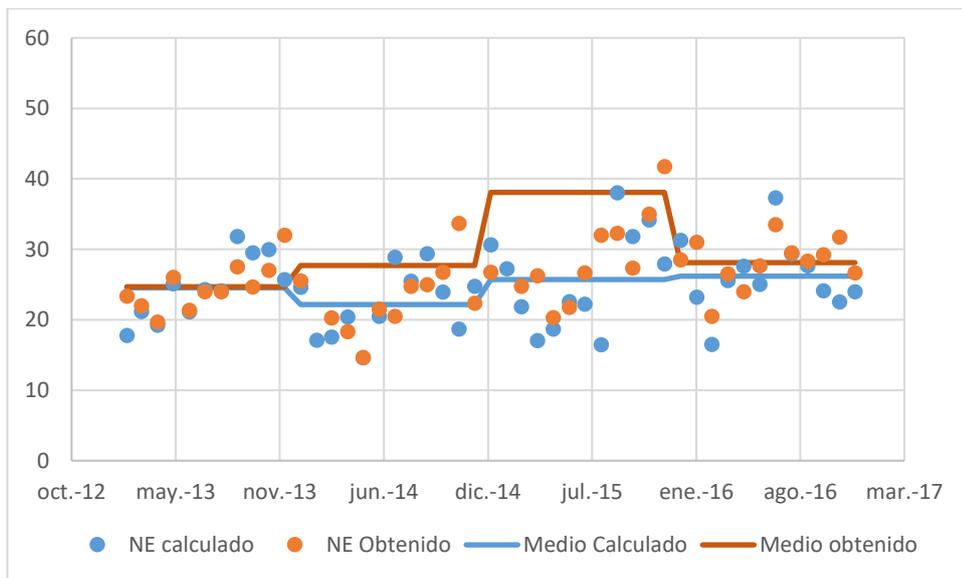


Figura 2-56. Tendencia lineal media, calculada Facultativa 2; Sáenz DBO

Fuente: Elaboración Propia

Se puede observar en los diferentes gráficos como el comportamiento del efluente calculado es similar al comportamiento del efluente obtenido siendo la diferencia entre las mismas mínima.

Dichos resultados han sido obtenidos del procesamiento de la información que se encuentra adjunta en el Anexo 9.

En las siguientes figuras nos indica los valores de Coliformes Fecales obtenidos después de aplicar el método de Flujo Disperso de Sáenz, a los datos que han sido recopilados de la base de datos de la planta de tratamiento de Ucubamba desde el año 2013 al 2016, en el cual nos indica el valor del efluente calculado y el efluente obtenido a lo largo de los 4 años de estudio, utilizando el valor de la constante “k” obtenido en el análisis anterior, además se realizó una tendencia anual media donde se puede apreciar la variación en los diferentes años de estudio.

Facultativa 1

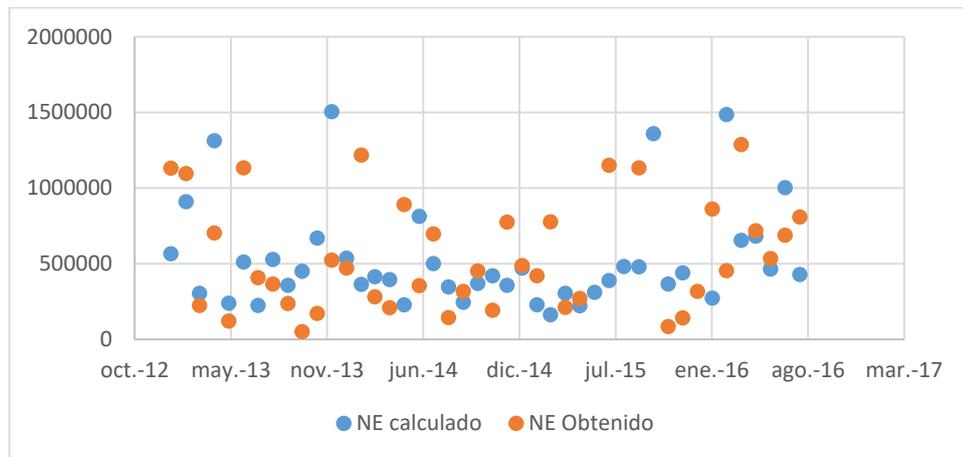


Figura 2-57. Dispersión de datos Facultativa 1; Sáenz Coliformes

Fuente: Elaboración Propia

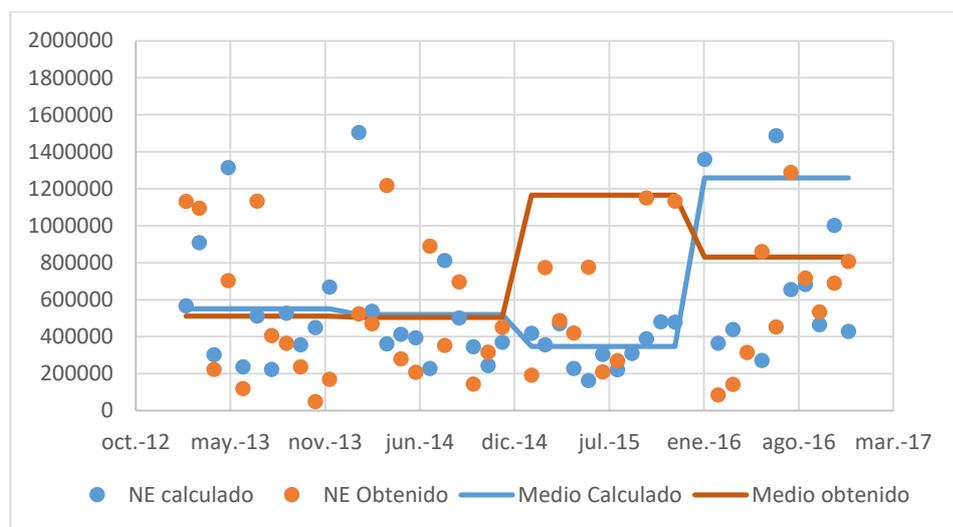


Figura 2-58. Tendencia lineal media, calculada Facultativa 1; Sáenz Coliformes

Fuente: Elaboración Propia

Facultativa 2

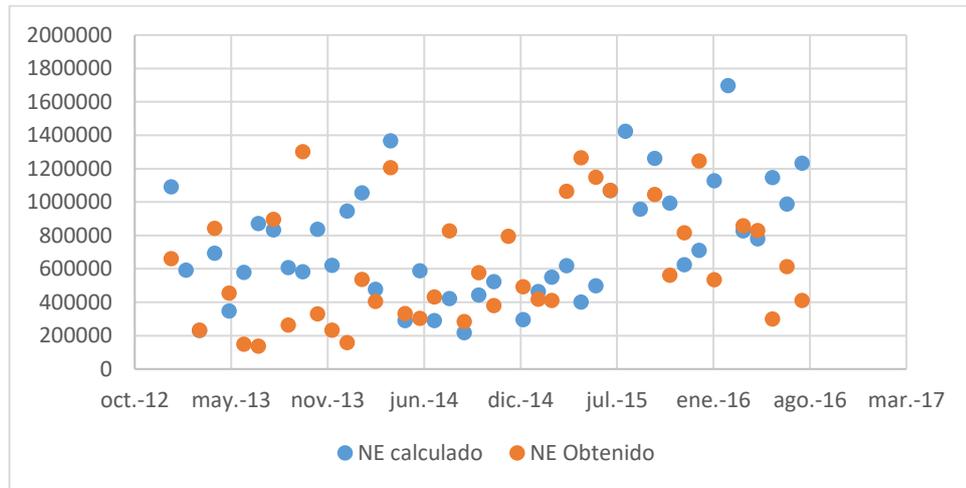


Figura 2-59. Dispersión de datos Facultativa 2; Sáenz Coliformes

Fuente: Elaboración Propia

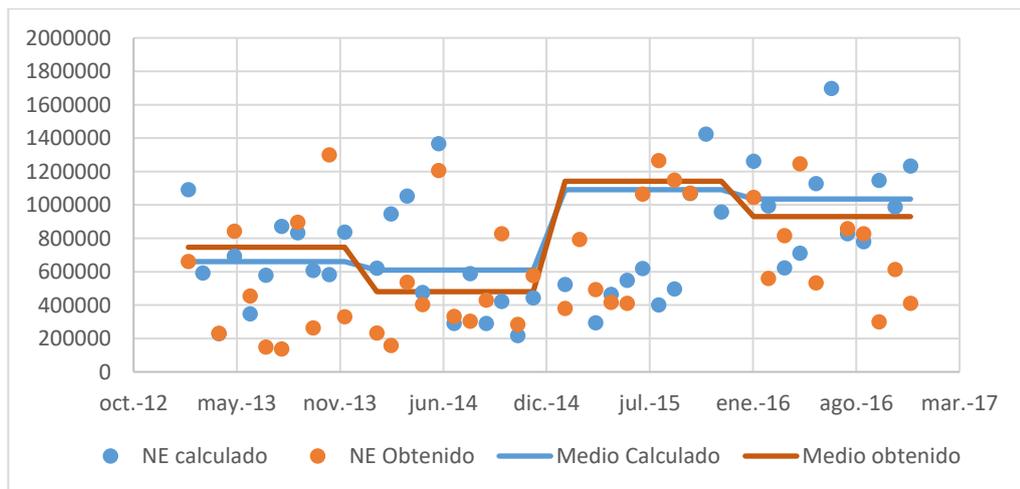


Figura 2-60. Tendencia lineal media, calculada Facultativa 2; Sáenz Coliformes

Fuente: Elaboración Propia

Se puede observar en los diferentes gráficos como el comportamiento del efluente calculado es similar al comportamiento del efluente obtenido siendo la diferencia entre las mismas mínima.

Dichos resultados han sido obtenidos del procesamiento de la información que se encuentra adjunta en el Anexo 9.

2.2.4. Método de Yáñez

En la tabla 2-11 nos indica los valores de DBO obtenidos después de aplicar el método de Flujo Disperso de Yáñez, a los datos que han sido recopilados de la base de datos de la planta de tratamiento de Ucubamba desde el año 2013 al 2016, en el cual nos indica el valor medio de la constante “k” necesaria, para que mediante su aplicación en dicha ecuación, nos proporcione el valor más cercano a los valores reales obtenidos en el laboratorio, así como también su desviación estándar. Además se obtuvo el porcentaje de error existente al aplicar dicha ecuación sin ningún tipo de modificación comparada con respecto a los datos reales.

Tabla 2-12. Valor "k" y % de Error; DBO

DBO (mg/l)						
Año	Parámetros		Facultativa 1	Facultativa 2	Maduración 1	Maduración 2
2013	Valor "k"	Media	3.31805	6.09473	4.03460	-1.51542
		Desviación	0.08489	0.05525	0.11246	0.09190
	Diferencia	% de Error	-85.04%	-79.80%	-85.88%	-82.96%
2014	Valor "k"	Media	8.64729	9.02648	2.24922	-1.71889
		Desviación	0.12019	0.10960	0.14896	0.14923
	Diferencia	% de Error	-79.72%	-78.83%	-87.63%	-82.23%
2015	Valor "k"	Media	7.41219	7.91247	3.18673	5.17707
		Desviación	0.11366	0.10827	0.14321	0.83666
	Diferencia	% de Error	-80.32%	-80.34%	-86.91%	-67.56%
2016	Valor "k"	Media	9.37067	7.94859	1.14357	-1.95035
		Desviación	0.15051	0.12287	0.15790	0.15822
	Diferencia	% de Error	-75.57%	-77.37%	-86.61%	-80.72%

Fuente: Elaboración Propia

Se puede observar que en los diferentes años de estudio el porcentaje de error es similar, siendo un valor alrededor del -83% en todas las lagunas, lo que nos indica que al aplicar la ecuación sin ninguna modificación no da como resultado datos más bajos a los obtenidos en el laboratorio, también se puede observar que el valor de la constante “k” y su respectiva desviación estándar varía alrededor de un valor específico, dependiendo principalmente de la laguna que se esté estudiando.

Dichos resultados han sido obtenidos del procesamiento de la información que se encuentra adjunta en el Anexo 5.

En la tabla 2-12 nos indica los valores de Coliformes Fecales obtenidos después de aplicar el método de Flujo Disperso de Yáñez, a los datos que han sido recopilados de la base de datos de la planta de tratamiento de Ucubamba desde el año 2013 al 2016, en el cual nos indica el valor medio de la constante “k” necesaria, para que mediante su aplicación en dicha ecuación, nos proporcione el valor más cercano a los valores reales obtenidos en el laboratorio, así como también su desviación estándar. Además se obtuvo el porcentaje de error existente al aplicar dicha ecuación sin ningún tipo de modificación comparada con respecto a los datos reales.

Tabla 2-13. Valor "k" y % de Error; Coliformes

Coliformes Fecales NMP/ 100 ml						
Año	Parámetros		Facultativa 1	Facultativa 2	Maduración 1	Maduración 2
2013	Valor "k"	Media	25.74155	26.77611	18.56517	43.04746
		Desviación	0.65885	0.77281	0.83276	1.99521
	Diferencia	% de Error	110.34%	144.94%	-51.89%	61.25%
2014	Valor "k"	Media	51.71999	45.52851	15.78970	63.55357
		Desviación	1.09905	0.82969	0.63039	1.75492
	Diferencia	% de Error	675.20%	237.51%	-72.43%	37.78%
2015	Valor "k"	Media	33.59302	35.65247	27.64778	81.51627
		Desviación	0.78710	0.77209	0.84322	1.86331
	Diferencia	% de Error	121.71%	103.34%	-40.15%	81.48%
2016	Valor "k"	Media	46.90276	37.60678	24.22408	100.67905
		Desviación	0.96261	0.55733	0.81983	2.15124
	Diferencia	% de Error	312.57%	46.09%	-53.01%	148.21%

Fuente: Elaboración Propia

Se puede observar que en los diferentes años de estudio el porcentaje de error es muy variado, siendo estos positivos y negativos, lo que nos indica que al aplicar la ecuación sin ninguna modificación no da como resultado datos tanto más altos como bajos a los obtenidos en el laboratorio, también se puede observar que el valor de la constante “k” y su respectiva desviación estándar varía alrededor de un valor específico, dependiendo principalmente de la laguna que se esté estudiando.

Dichos resultados han sido obtenidos del procesamiento de la información que se encuentra adjunta en el Anexo 5.

En las figuras 2-61 y 2-62 nos indica los valores de DBO obtenidos después de aplicar el método de Flujo Disperso de Yáñez, a los datos que han sido recopilados de la base de datos de la planta de tratamiento de Ucubamba desde el año 2013 al 2016, en el cual nos indica la relación lineal existente entre los coeficientes del efluente calculado sobre el afluente obtenido (Ne/Ni Calculado) con respecto al efluente obtenido sobre el afluente obtenido (Ne/Ni Obtenido), representado mediante el parámetro R^2 , utilizando un valor de la constante “k”, aquel que me dé como resultado el mayor valor de R^2 .

Facultativa 1

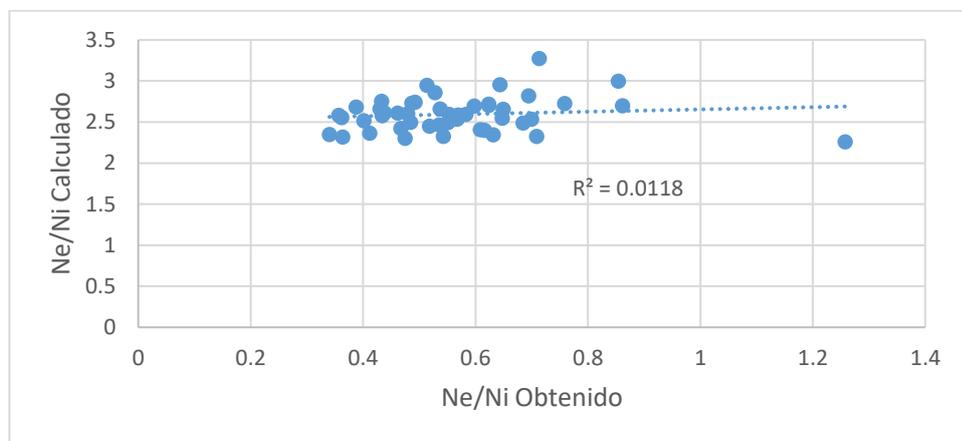


Figura 2-61. Dispersión de datos Facultativa 1; Yáñez DBO

Fuente: Elaboración Propia

Facultativa 2

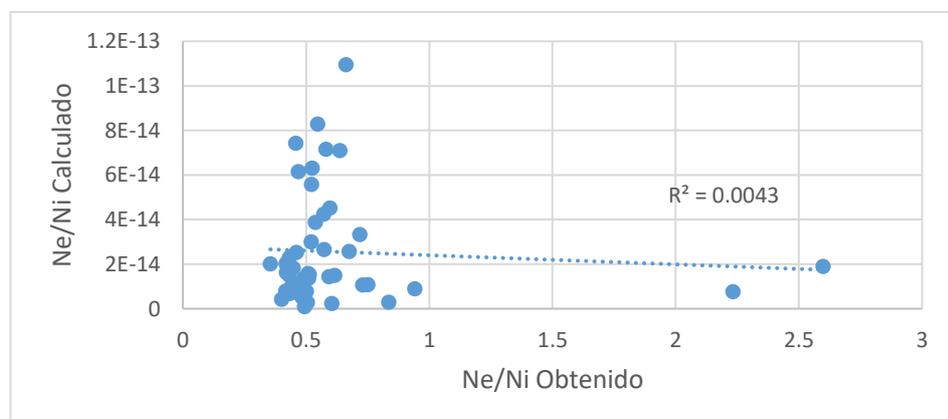


Figura 2-62. Dispersión de datos Facultativa 2; Yáñez DBO

Fuente: Elaboración Propia

Se puede observar que en los diferentes gráficos la regresión lineal realizada nos da valores del parámetro R^2 demasiado bajos, entendiéndose de que dichas relaciones da como resultado que los datos calculados no se acercan a la realidad de los datos obtenidos mediante este proceso matemático.

Dichos resultados han sido obtenidos del procesamiento de la información que se encuentra adjunta en el Anexo 6.

En las figuras 2-63 y 2-64 nos indica los valores de Coliformes Fecales obtenidos después de aplicar el método de Flujo Disperso de Yáñez, a los datos que han sido recopilados de la base de datos de la planta de tratamiento de Ucubamba desde el año 2013 al 2016, en el cual nos indica la relación lineal existente entre los coeficientes del efluente calculado sobre el afluente obtenido (Ne/Ni Calculado) con respecto al efluente obtenido sobre el afluente obtenido (Ne/Ni Observado), representado mediante el parámetro R^2 , utilizando un valor de la constante “k”, aquel que me dé como resultado el mayor valor de R^2 .

Facultativa 1

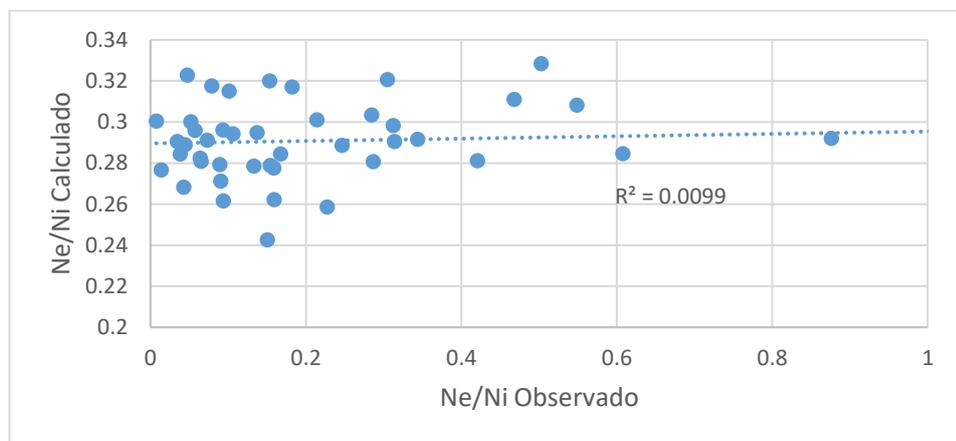


Figura 2-63. Dispersión de datos Facultativa 1; Yáñez Coliformes

Fuente: Elaboración Propia

Facultativa 2

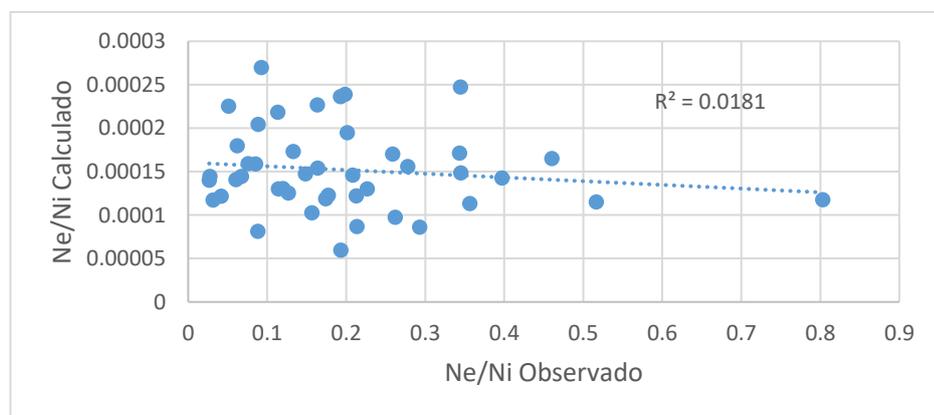


Figura 2-64. Dispersión de datos Facultativa 2; Yáñez Coliformes

Fuente: Elaboración Propia

Se puede observar que en los diferentes gráficos la regresión lineal realizada nos da valores del parámetro R^2 demasiado bajos, entendiéndose de que dichas relaciones da como resultado que los datos calculados no se acercan a la realidad de los datos obtenidos mediante este proceso matemático.

Dichos resultados han sido obtenidos del procesamiento de la información que se encuentra adjunta en el Anexo 6.

En las figuras 2-65 y 2-66 nos indica los valores de DBO obtenidos después de aplicar el método de Flujo Disperso de Yáñez, a los datos que han sido recopilados de la base de datos de la planta de tratamiento de Ucubamba desde el año 2013 al 2016, en el cual nos indica la relación lineal existente entre los coeficientes del efluente calculado sobre el afluente obtenido (Ne/Ni Calculado) con respecto al efluente obtenido sobre el afluente obtenido (Ne/Ni Obtenido), representado mediante el parámetro R^2 , realizando un proceso de eliminación de datos que se encuentren fueran del rango de dos desviaciones estándar con respecto a la media de dichos coeficientes, utilizando un valor de la constante “k”, aquel que me dé como resultado el mayor valor de R^2 .

Facultativa 1

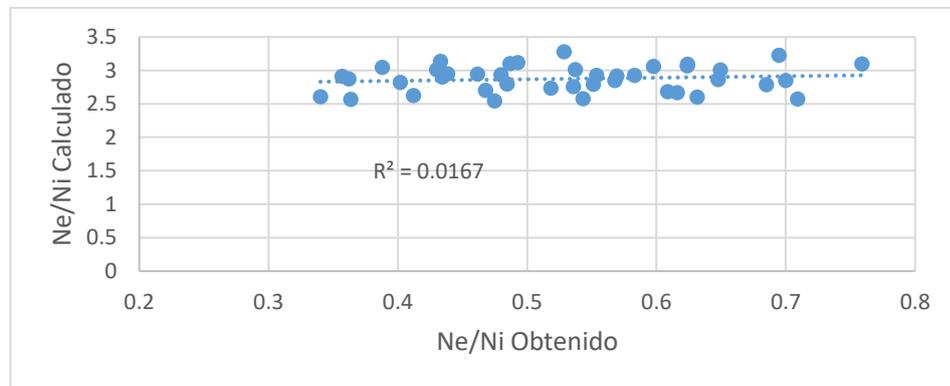


Figura 2-65. Dispersión de datos Facultativa 1; Yáñez DBO

Fuente: Elaboración Propia

Facultativa 2

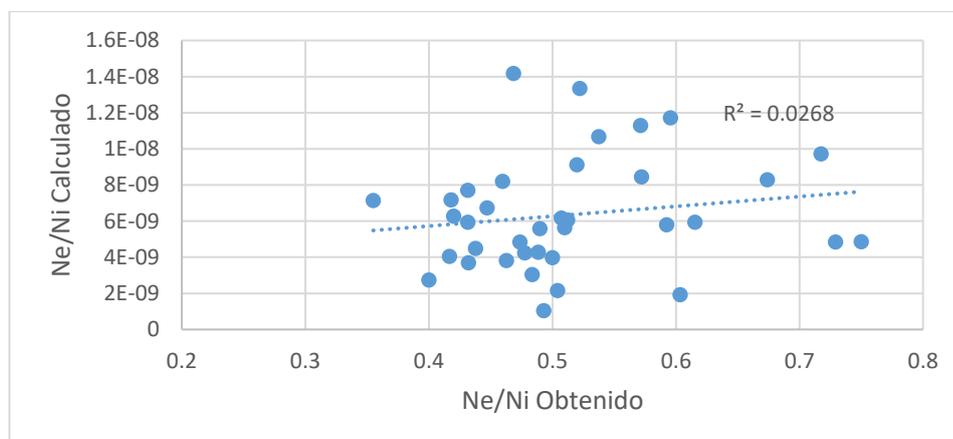


Figura 2-66. Dispersión de datos Facultativa 2; Yáñez DBO

Fuente: Elaboración Propia

Se puede observar que en los diferentes gráficos la regresión lineal realizada nos da valores del parámetro R^2 demasiado bajos, entendiéndose de que dichas relaciones da como resultado que los datos calculados no se acercan a la realidad de los datos obtenidos mediante este proceso matemático.

Dichos resultados han sido obtenidos del procesamiento de la información que se encuentra adjunta en el Anexo 7.

En las figuras 2-67 y 2-68 nos indica los valores de Coliformes Fecales obtenidos después de aplicar el método de Flujo Disperso de Yáñez, a los datos que han sido recopilados de la base de datos de la planta de tratamiento de Ucubamba desde el año 2013 al 2016, en el cual nos indica la relación lineal existente entre los coeficientes del efluente calculado sobre el afluente obtenido (Ne/Ni Calculado) con respecto al efluente obtenido sobre el afluente obtenido (Ne/Ni Obtenido), representado mediante el parámetro R^2 , realizando un proceso de eliminación de datos que se encuentren fueran del rango de dos desviaciones estándar con respecto a la media de dichos coeficientes, utilizando un valor de la constante “k”, aquel que me dé como resultado el mayor valor de R^2 .

Facultativa 1

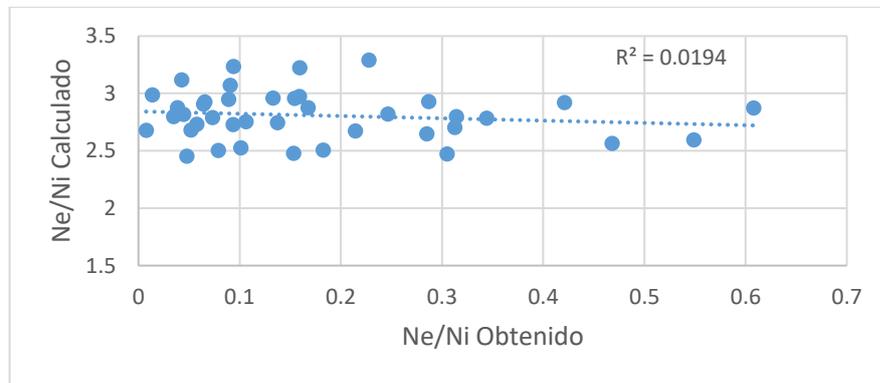


Figura 2-67. Dispersión de datos Facultativa 1; Yáñez Coliformes

Fuente: Elaboración Propia

Facultativa 2

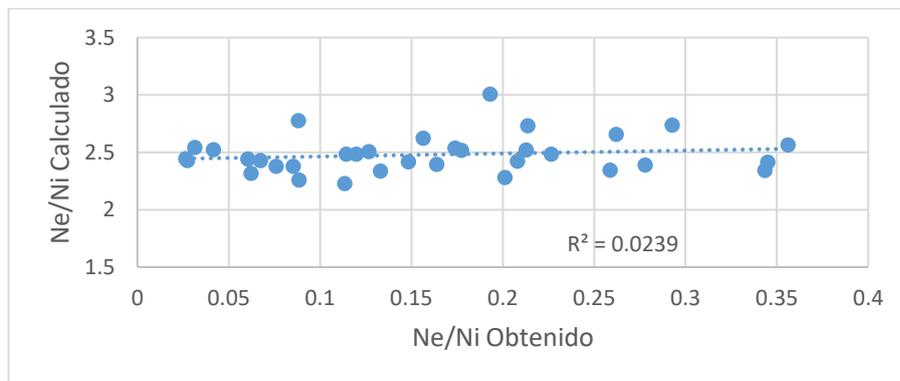


Figura 2-68. Dispersión de datos Facultativa 2; Yáñez Coliformes

Fuente: Elaboración Propia

Se puede observar que en los diferentes gráficos la regresión lineal realizada nos da valores del parámetro R^2 demasiado bajos, entendiéndose de que dichas relaciones da como resultado que los datos calculados no se acercan a la realidad de los datos obtenidos mediante este proceso matemático.

Dichos resultados han sido obtenidos del procesamiento de la información que se encuentra adjunta en el Anexo 7.

En el tabla 2-13 nos indica los valores de DBO y Coliformes Fecales obtenidos después de aplicar el método de Flujo Disperso de Yáñez, a los datos que han sido recopilados de la base de datos de la planta de tratamiento de Ucubamba desde el año 2013 al 2016, en el cual nos indica el valor de la dispersión y la constante “k” cuya aplicación nos da la menor diferencia absoluta de los coeficientes del efluente calculado sobre el afluente obtenido (Ne/Ni Calculado) con respecto al efluente obtenido sobre el afluente obtenido (Ne/Ni Obtenido), realizando un proceso de eliminación de datos que se encuentren fueran del rango de dos desviaciones estándar con respecto a la media de dichos coeficientes.

Tabla 2-14. Valores DBO y Coliformes

PARAMETRO	VALORES	FACULTATIVA 1	FACULTATIVA 2
DBO	K	0.242	0.247
	Dispersión	0.27110	0.28941
	DIFERENCIA	3.78	2.49
COLIFORMES	K	0.953	0.854
	Dispersión	0.27110	0.28941
	DIFERENCIA	4.35	2.76

Fuente: Elaboración Propia

Se puede observar que el valor de las constantes “k” aplicadas nos proporciona una diferencia absoluta aceptable, además que con respecto a las lagunas facultativas se obtiene que dichos valores son similares con respecto al parámetro de remoción, debido a la similitud de las mismas, obteniéndose un promedio de diferencia absoluta de 3.34.

Dichos resultados han sido obtenidos del procesamiento de la información que se encuentra adjunta en el Anexo 8.

En las siguientes figuras nos indica los valores de DBO obtenidos después de aplicar el método de Flujo Disperso de Yáñez, a los datos que han sido recopilados de la base de datos de la planta de tratamiento de Ucubamba desde el año 2013 al 2016, en el cual nos indica el valor del efluente calculado y el efluente obtenido a lo largo de los 4 años de estudio, utilizando el valor de la constante “k” obtenido en el análisis anterior, además se realizó una tendencia anual media donde se puede apreciar la variación en los diferentes años de estudio.

Facultativa 1

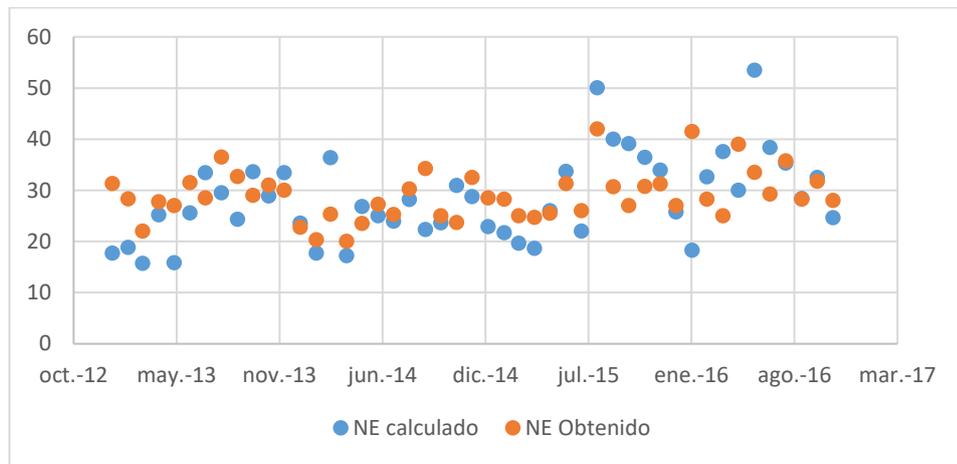


Figura 2-69. Dispersión de datos Facultativa 1; Yáñez DBO

Fuente: Elaboración Propia

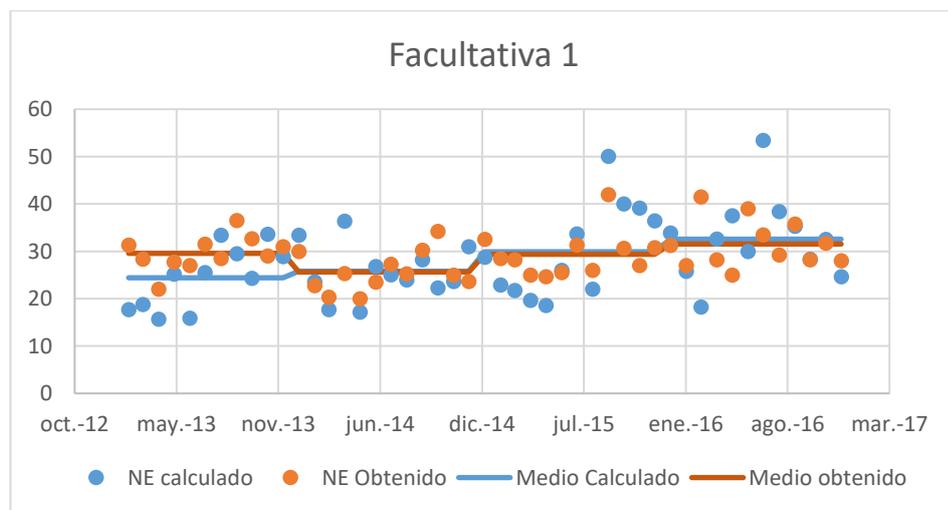


Figura 2-70. Tendencia lineal media, calculada Facultativa 1; Yáñez DBO

Fuente: Elaboración Propia

Facultativa 2

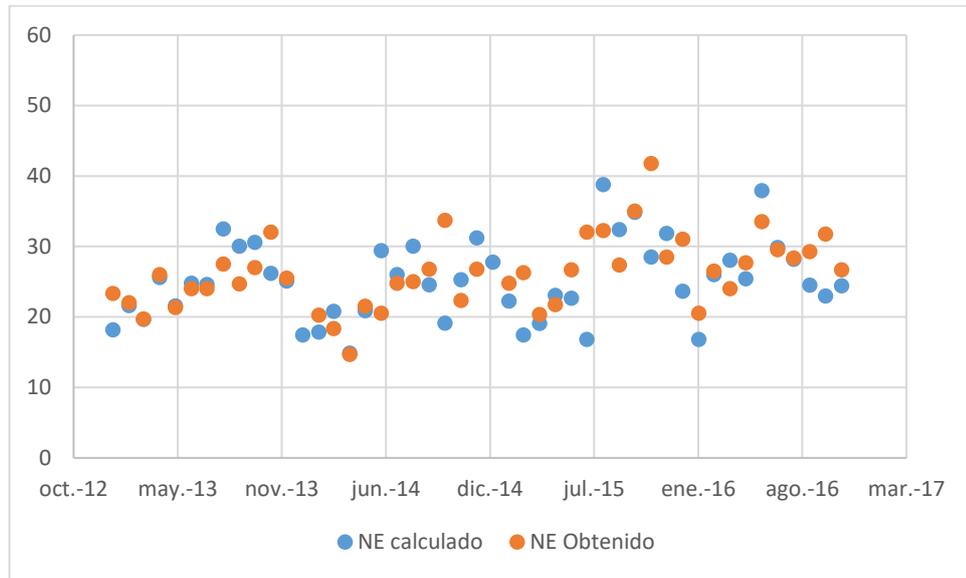


Figura 2-71. Dispersión de datos Facultativa 2; Yáñez DBO

Fuente: Elaboración Propia

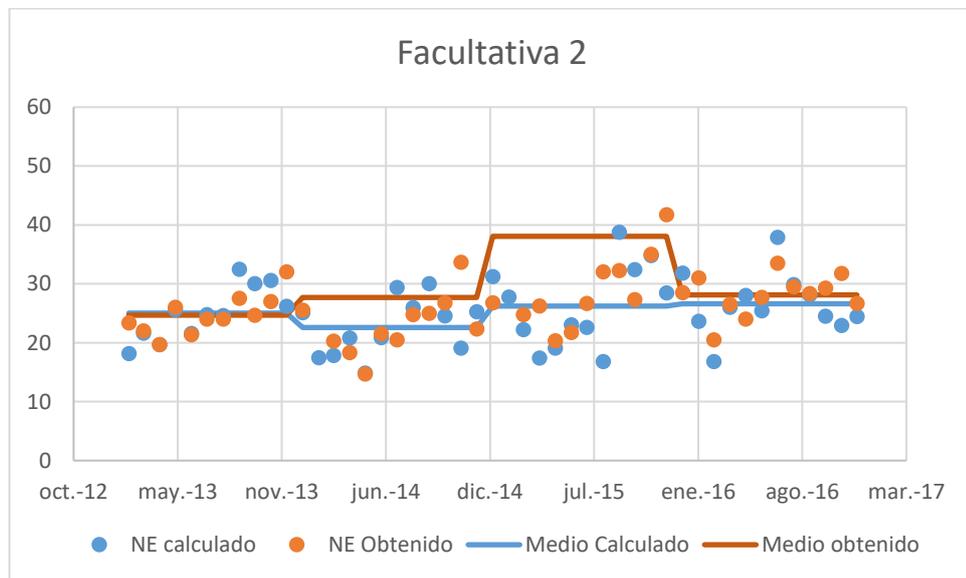


Figura 2-72. Tendencia lineal media, calculada Facultativa 2; Yáñez DBO

Fuente: Elaboración Propia

Se puede observar en los diferentes gráficos como el comportamiento del efluente calculado es similar al comportamiento del efluente obtenido siendo la diferencia entre las mismas mínima.

Dichos resultados han sido obtenidos del procesamiento de la información que se encuentra adjunta en el Anexo 9.

En las siguientes figuras nos indica los valores de Coliformes Fecales obtenidos después de aplicar el método de Flujo Disperso de Yáñez, a los datos que han sido recopilados de la base de datos de la planta de tratamiento de Ucubamba desde el año 2013 al 2016, en el cual nos indica el valor del efluente calculado y el efluente obtenido a lo largo de los 4 años de estudio, utilizando el valor de la constante “k” obtenido en el análisis anterior, además se realizó una tendencia anual media donde se puede apreciar la variación en los diferentes años de estudio.

Facultativa 1

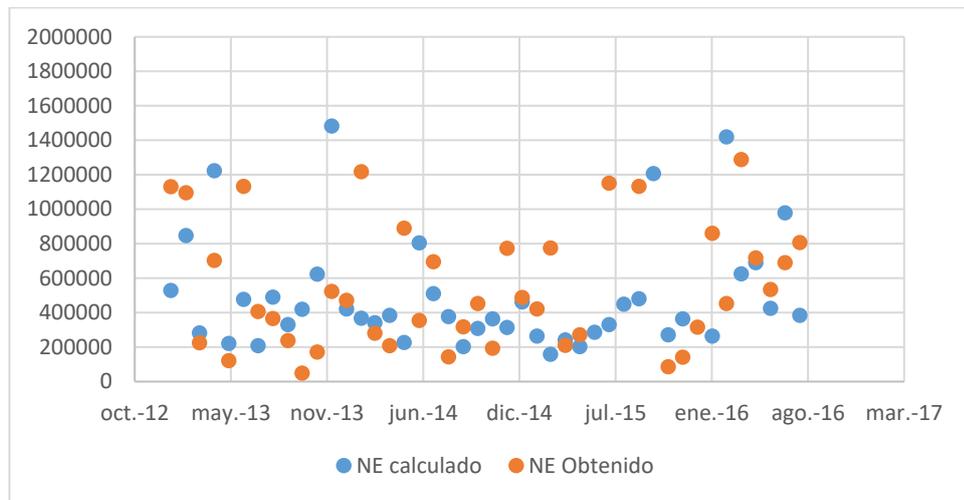


Figura 2-73. Dispersión de datos Facultativa 1; Yáñez Coliformes

Fuente: Elaboración Propia

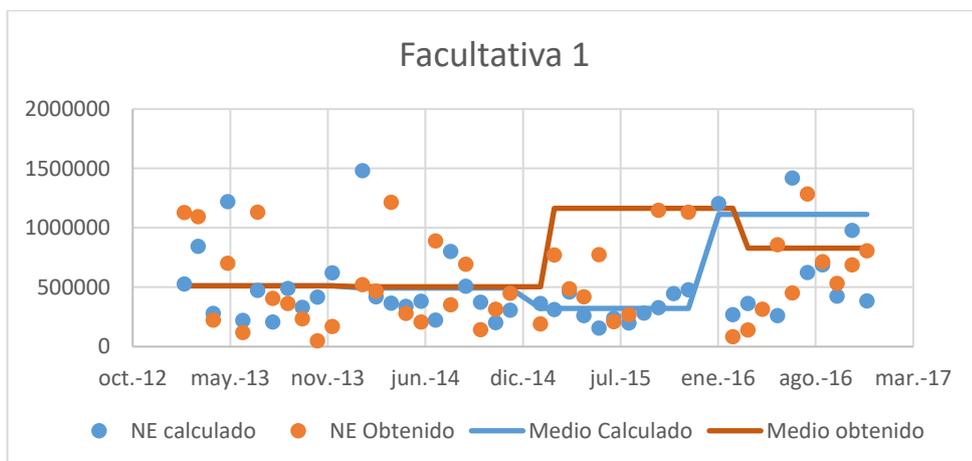


Figura 2-74. Tendencia lineal media, calculada Facultativa 1; Yáñez Coliformes

Fuente: Elaboración Propia

Facultativa 2

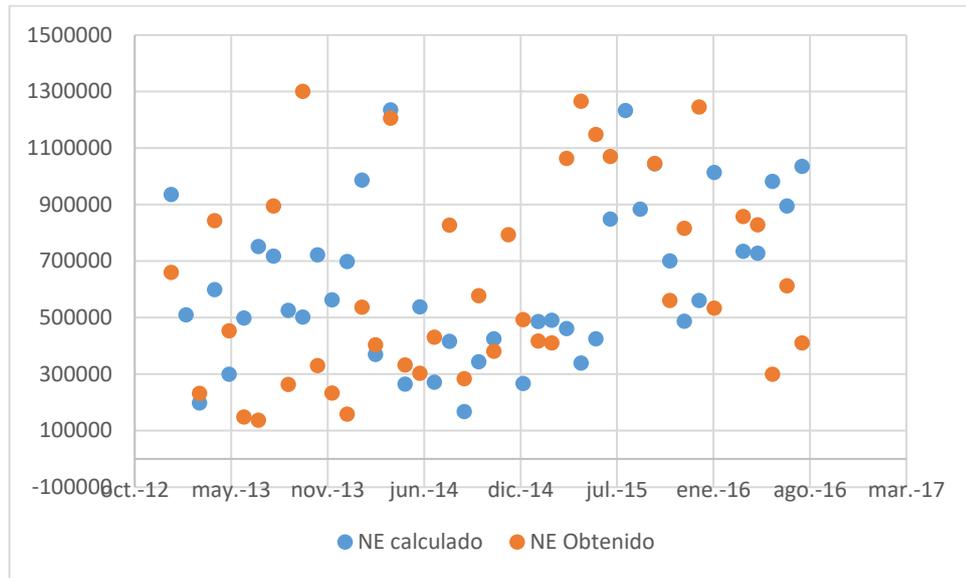


Figura 2-75. Dispersión de datos Facultativa 2; Yáñez Coliformes

Fuente: Elaboración Propia

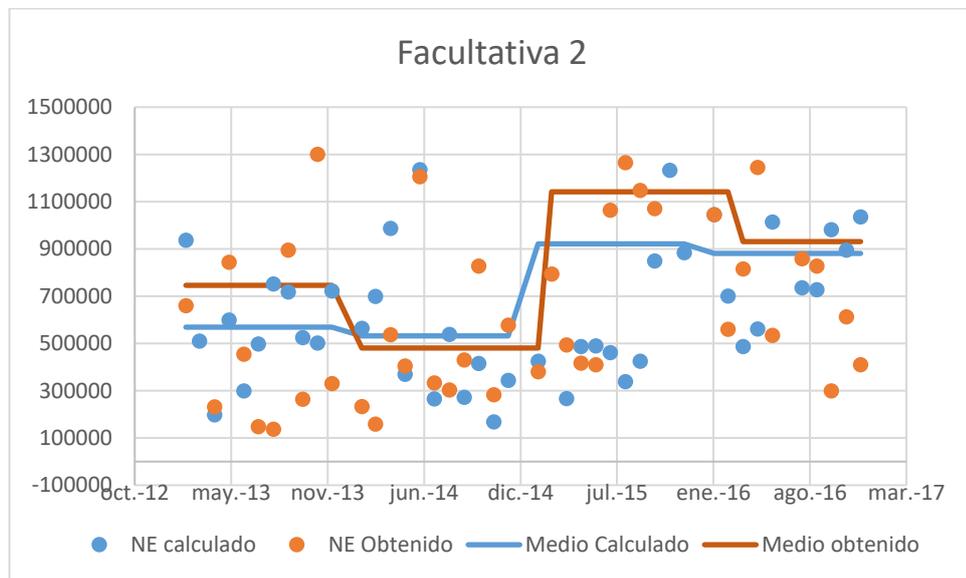


Figura 2-76. Tendencia lineal media, calculada Facultativa 2; Yáñez Coliformes

Fuente: Elaboración Propia

Se puede observar en los diferentes gráficos como el comportamiento del efluente calculado es similar al comportamiento del efluente obtenido siendo la diferencia entre las mismas mínima.

Dichos resultados han sido obtenidos del procesamiento de la información que se encuentra adjunta en el Anexo 9.

CAPITULO 3

Análisis y comparación de los resultados obtenidos en nuestra zona con otros casos de estudio reportados en la bibliografía y proyecciones futuras

3.1 Resultados Obtenidos con datos reales

En la tabla 3-1 nos indica el valor medio de la constante “k” necesaria, para que mediante su aplicación en dicha ecuación, nos proporcione el valor más cercano a los valores reales obtenidos en el laboratorio de todos los métodos ya analizados tanto para la remoción de la DBO como de los Coliformes Fecales.

Tabla 3-1. Valores de K experimental

ECUACIÓN	PARÁMETRO	VALORES	FACULTATIVA 1	FACULTATIVA 2
MEZCLA COMPLETA	DBO	K EXPERIMENTAL	0.271	0.304
	COLIFORMES	K EXPERIMENTAL	2.375	2.047
YÁÑEZ	DBO	K EXPERIMENTAL	0.242	0.247
	COLIFORMES	K EXPERIMENTAL	0.953	0.854
SAENZ	DBO	K EXPERIMENTAL	0.215	0.238
	COLIFORMES	K EXPERIMENTAL	0.766	0.66
POLPRASERT Y BHATTARAI	DBO	K EXPERIMENTAL	0.208	0.215
	COLIFORMES	K EXPERIMENTAL	0.7	0.611

Fuente: Elaboración Propia

Se puede observar que el valor de la constante “k” varia alrededor de un valor específico, dependiendo principalmente de la laguna que se esté estudiando.

En la tabla 3-2 nos indica el valor medio de la constante “k” aplicando la formulación estipulada ya en el marco teórico, respectivamente con el modelo matemático utilizado tanto para la remoción de Coliformes Fecales.

Tabla 3-2. Valores de K Teórico

ECUACIÓN	PARÁMETRO	VALORES	FACULTATIVA 1	FACULTATIVA 2
MEZCLA COMPLETA	COLIFORMES	K TEORICO	2.383	2.383
YANEZ	COLIFORMES	K TEORICO	1.063	1.063
SÁENZ	COLIFORMES	K TEORICO	1.063	1.063
POLPRASERT Y BHATTARAI	COLIFORMES	K TEORICO	1.063	1.063

Fuente: Elaboración Propia

Se puede observar que el valor de la constante “k” es un valor fijo en cada modelo matemático debido a que las formulaciones dependen de una sola variable que es la temperatura, y que para nuestro estudio se consideró un valor medio para todos los casos debido a su tendencia tan notoria hacia la media.

En la tabla 3-3 nos indica una comparación entre el valor medio de la constante “k” aplicando la formulación estipulada ya en el marco teórico, respectivamente con el modelo matemático utilizado y el valor medio de la constante “k” necesaria, para que mediante su aplicación en dicha ecuación, nos proporcione el valor más cercano a los valores reales obtenidos en el laboratorio de todos los métodos ya analizados tanto para la remoción de los Coliformes Fecales.

Tabla 3-3. Comparación de valores de K Teórico y K experimental

ECUACIÓN	PARÁMETRO	VALORES	FACULTATIVA 1	FACULTATIVA 2
MEZCLA COMPLETA	COLIFORMES	K EXPERIMENTAL	2.375	2.047
		K TEORICO	2.383	2.383
YÁÑEZ	COLIFORMES	K EXPERIMENTAL	0.953	0.854
		K TEORICO	1.063	1.063
SÁENZ	COLIFORMES	K EXPERIMENTAL	0.766	0.66
		K TEORICO	1.063	1.063
POLPRASERT Y BHATTARAI	COLIFORMES	K EXPERIMENTAL	0.7	0.611
		K TEORICO	1.063	1.063

Fuente: Elaboración Propia

Se puede observar que el valor de la constante “k” experimental es un valor semejante al valor de la constante “k” mediante la aplicación de sus respectivas formulaciones matemáticas en la mayoría de los casos, demostrándose así la validez de los ajustes realizados anteriormente, observándose la mejor aproximación mediante el modelo de flujo disperso según Yáñez y el modelo de mezcla completa.

3.2 Proyecciones de los resultados obtenidos

En las siguientes figuras nos muestra la tendencia lineal de los valores de DBO obtenidos de la base de datos de la planta de tratamiento de Ucubamba desde el año 2013 al 2016, en el cual nos indica la ecuación y la tendencia que tendrían los datos reales obtenidos en la planta.

Facultativa 1

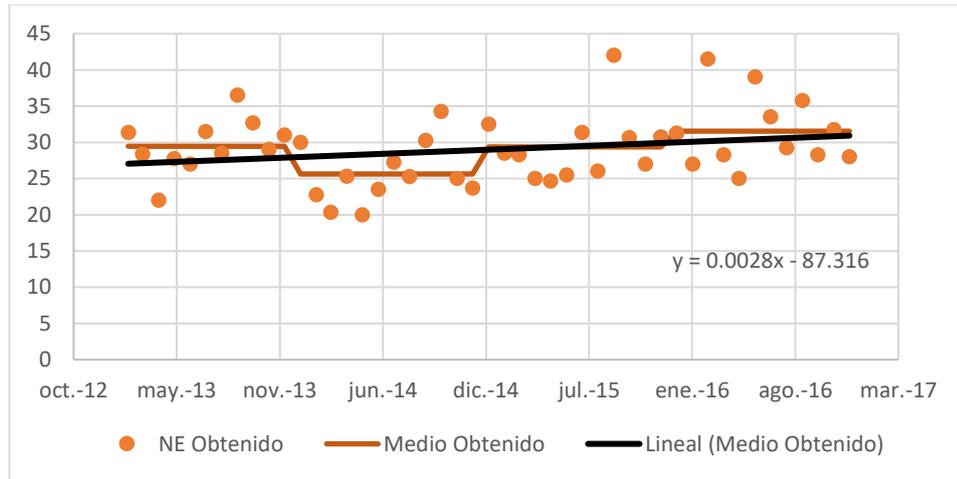


Figura 3-1. Ecuación de la tendencia lineal media obtenida Facultadiva 1. Datos reales DBO

Fuente: Elaboración Propia

Facultativa 2

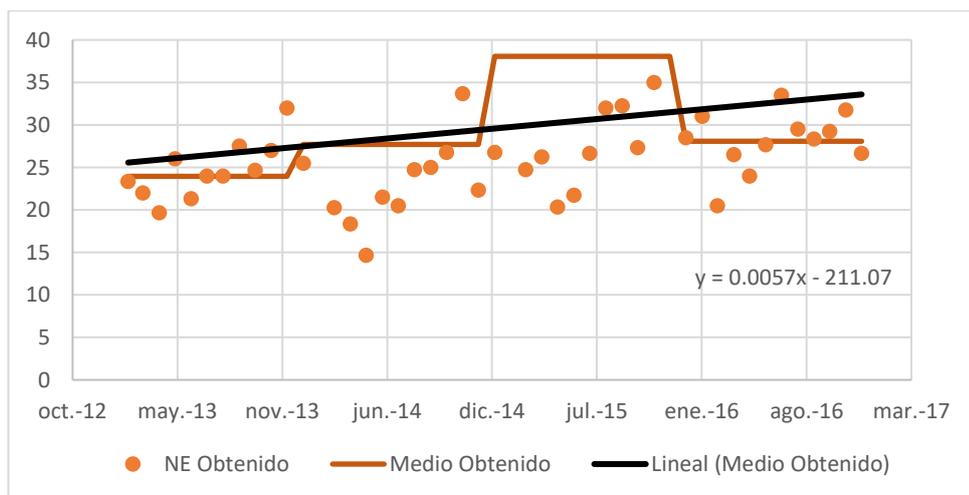


Figura 3-2. Ecuación de la tendencia lineal media obtenida Facultadiva 2. Datos reales DBO

Fuente: Elaboración Propia

Dichos resultados han sido obtenidos del procesamiento de la información que se encuentra adjunta en el Anexo 10.

En las siguientes figuras nos muestra la tendencia lineal de los valores de Coliformes Fecales obtenidos de la base de datos de la planta de tratamiento de Ucubamba desde el año 2013 al 2016, en el cual nos indica la ecuación y la tendencia que tendrían los datos reales obtenidos en la planta.

Facultativa 1

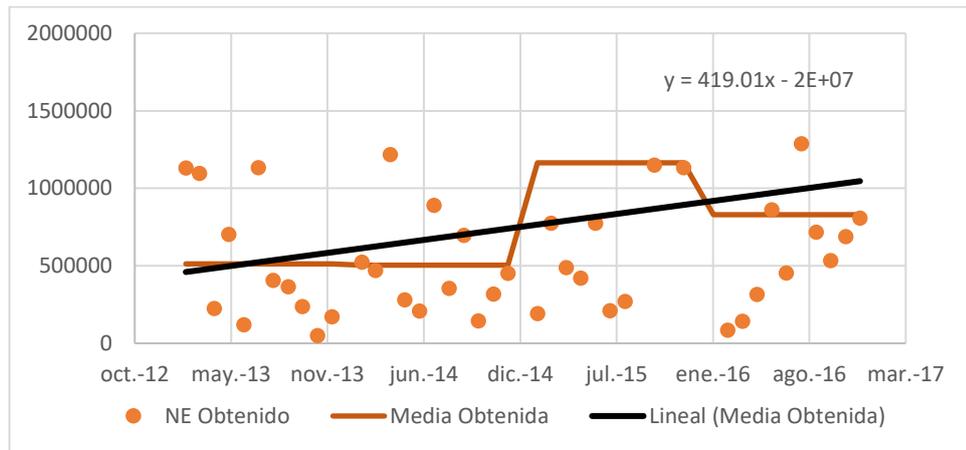


Figura 3-3. Ecuación de la tendencia lineal media obtenida Facultativa 1. Datos reales Coliformes

Fuente: Elaboración Propia

Facultativa 2

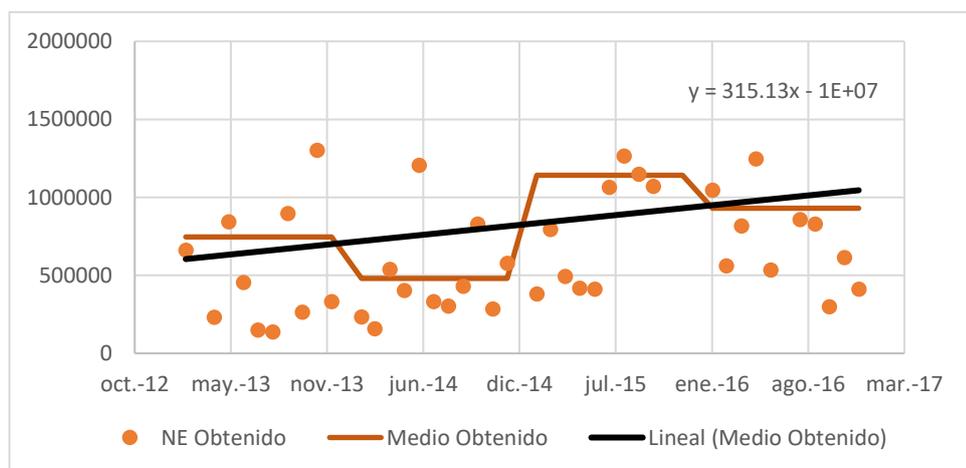


Figura 3-4. Ecuación de la tendencia lineal media obtenida Facultativa 2. Datos reales Coliformes

Fuente: Elaboración Propia

Dichos resultados han sido obtenidos del procesamiento de la información que se encuentra adjunta en el Anexo 10.

- Mezcla Completa

En las figuras 3-5 y 3-6 nos muestra la tendencia lineal de los valores de DBO obtenidos después de aplicar el método de Mezcla Completa, a los datos que han sido recopilados de la base de datos de la planta de tratamiento de Ucubamba desde el año 2013 al 2016, en el cual nos indica la ecuación y la tendencia que tendrían los datos al ser calculados aplicando este método de remoción.

Facultativa 1

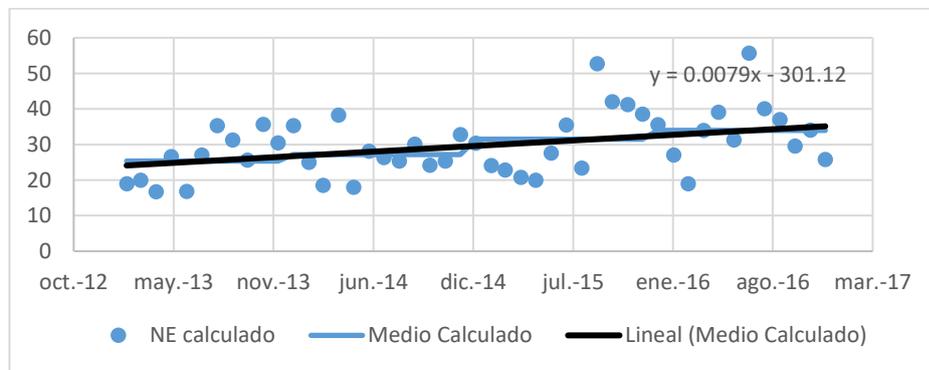


Figura 3-5. Ecuación de la tendencia lineal media obtenida Facultativa 1. Mezcla Completa DBO

Fuente: Elaboración Propia

Facultativa 2

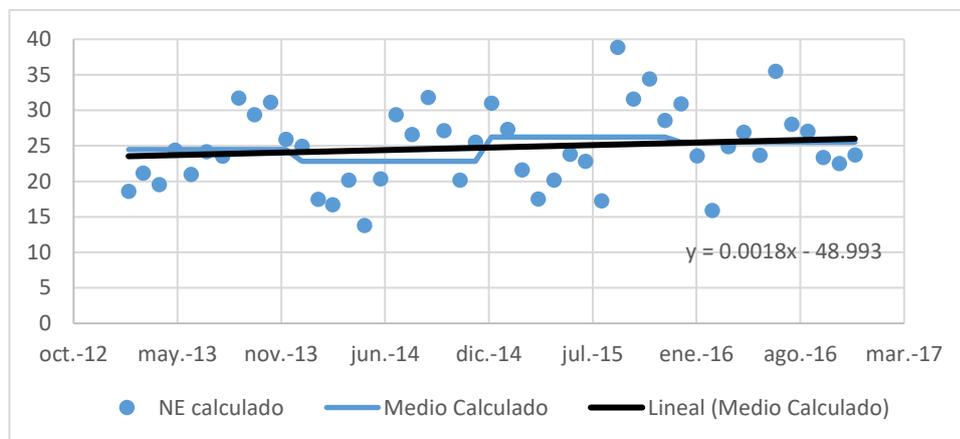


Figura 3-6. Ecuación de la tendencia lineal media obtenida Facultativa 2. Mezcla Completa DBO

Fuente: Elaboración Propia

Dichos resultados han sido obtenidos del procesamiento de la información que se encuentra adjunta en el Anexo 10.

En las figuras 3-7 y 3-8 nos muestra la tendencia lineal de los valores de Coliformes Fecales obtenidos después de aplicar el método de Mezcla Completa, a los datos que han sido recopilados de la base de datos de la planta de tratamiento de Ucubamba desde el año 2013 al 2016, en el cual nos indica la ecuación y la tendencia que tendrían los datos al ser calculados aplicando este método de remoción.

Facultativa 1

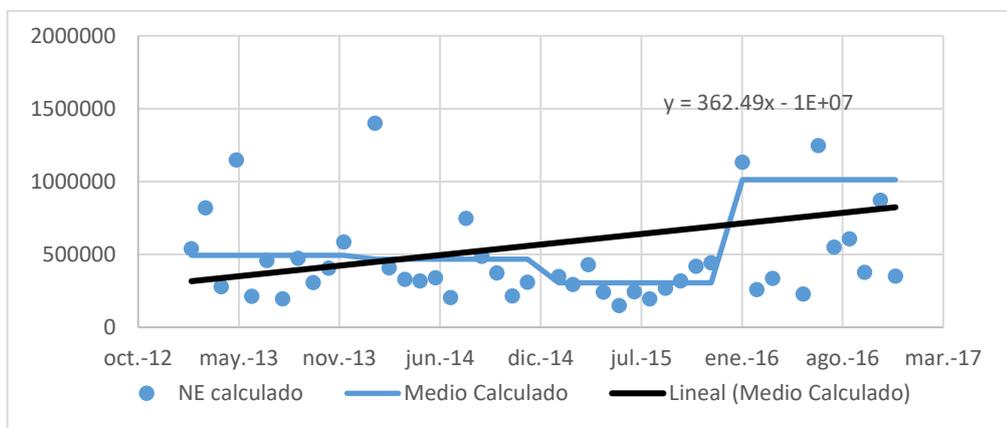


Figura 3-7. Ecuación de la tendencia lineal media obtenida Facultativa 1. Mezcla Completa Coliformes

Fuente: Elaboración Propia

Facultativa 2

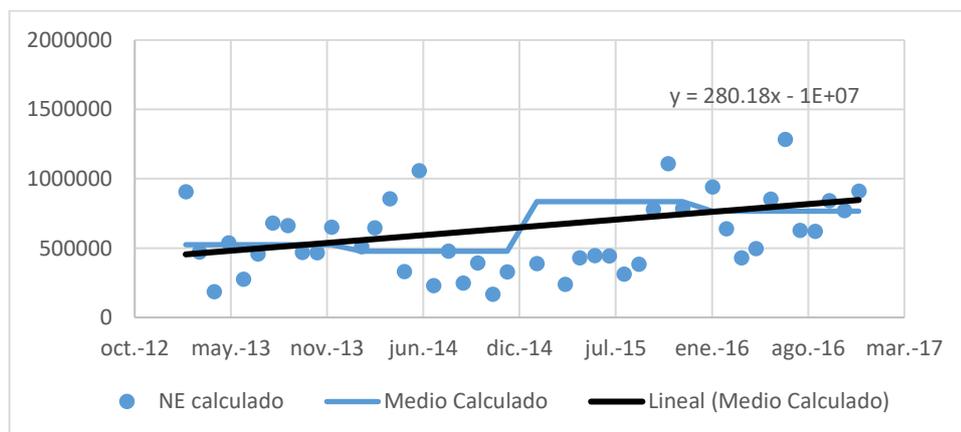


Figura 3-8. Ecuación de la tendencia lineal media obtenida Facultativa 2. Mezcla Completa Coliformes

Fuente: Elaboración Propia

Dichos resultados han sido obtenidos del procesamiento de la información que se encuentra adjunta en el Anexo 10.

- Flujo Disperso de Polprasert y Bhattarai

En las figuras 3-9 y 3-10 nos muestra la tendencia lineal de los valores de DBO obtenidos después de aplicar el método de Flujo Disperso de Polprasert y Bhattarai, a los datos que han sido recopilados de la base de datos de la planta de tratamiento de Ucubamba desde el año 2013 al 2016, en el cual nos indica la ecuación y la tendencia que tendrían los datos al ser calculados aplicando este método de remoción.

Facultativa 1

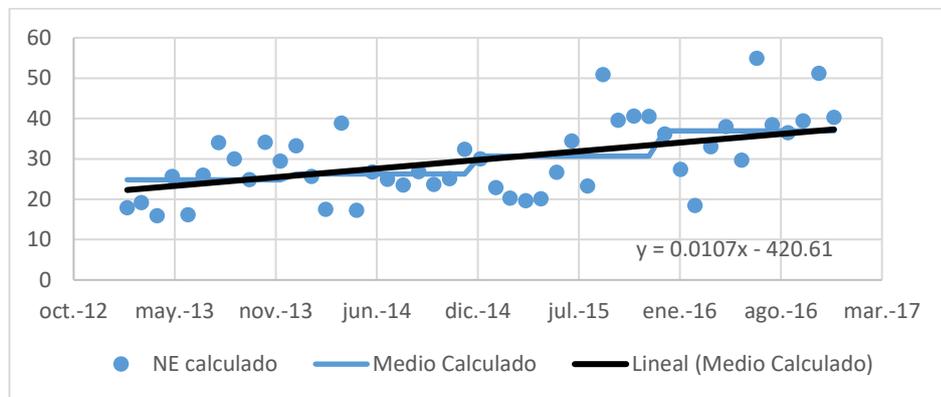


Figura 3-9. Ecuación de la tendencia lineal media obtenida Facultativa 1. Polprasert y Bhattarai DBO

Fuente: Elaboración Propia

Facultativa 2

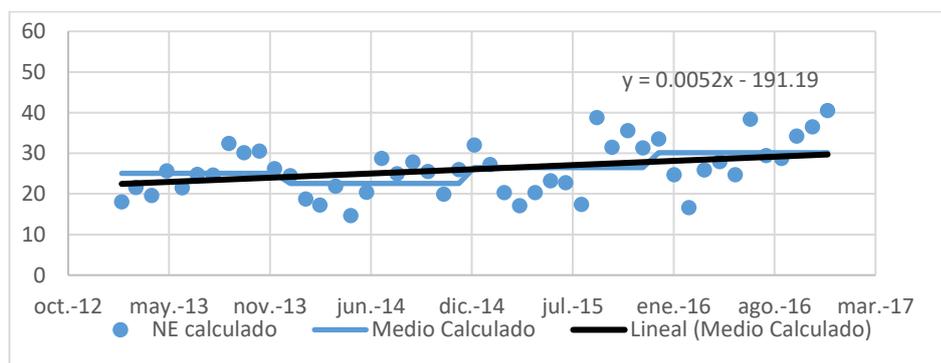


Figura 3-10. Ecuación de la tendencia lineal media obtenida Facultativa 2. Polprasert y Bhattarai DBO

Fuente: Elaboración Propia

Dichos resultados han sido obtenidos del procesamiento de la información que se encuentra adjunta en el Anexo 10.

En las figuras 3-11 y 3-12 nos muestra la tendencia lineal de los valores de Coliformes Fecales obtenidos después de aplicar el método de Flujo Disperso de Polprasert y Bhattarai, a los datos que han sido recopilados de la base de datos de la planta de tratamiento de Ucubamba desde el año 2013 al 2016, en el cual nos indica la ecuación y la tendencia que tendrían los datos al ser calculados aplicando este método de remoción.

Facultativa 1

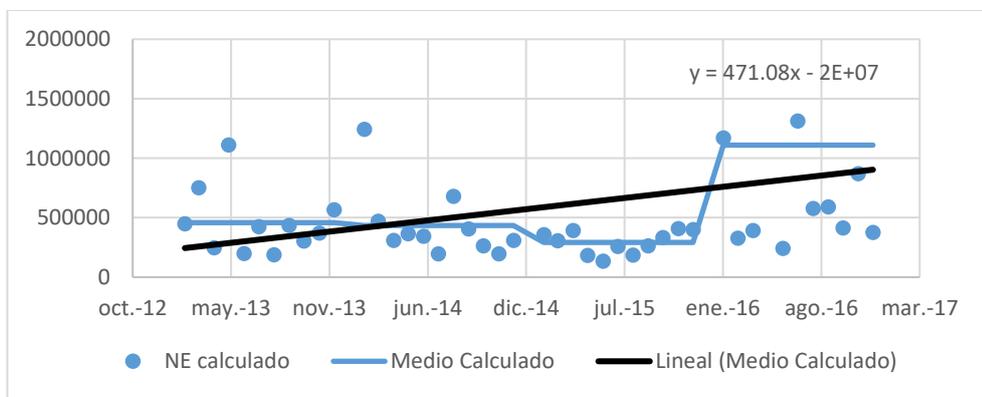


Figura 3-1177. Ecuación de la tendencia lineal media obtenida Facultativa 1. Polprasert y Bhattarai Coliformes

Fuente: Elaboración Propia

Facultativa 2

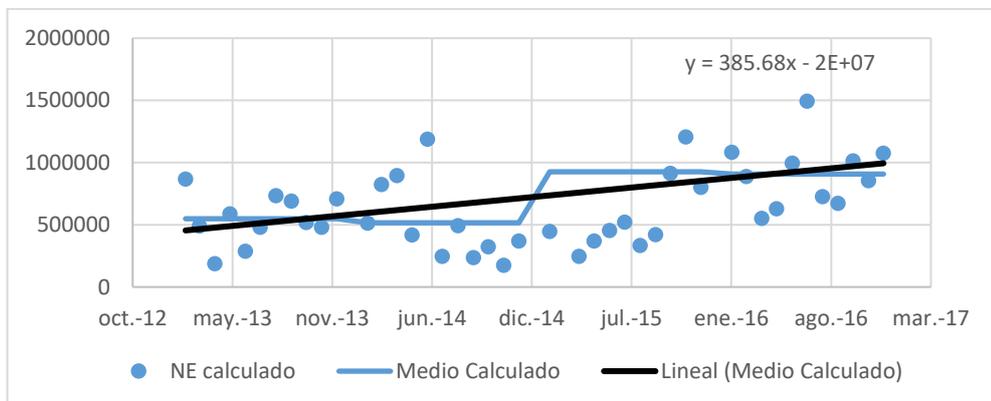


Figura 3-12. Ecuación de la tendencia lineal media obtenida Facultativa 1. Polprasert y Bhattarai Coliformes

Fuente: Elaboración Propia

Dichos resultados han sido obtenidos del procesamiento de la información que se encuentra adjunta en el Anexo 10.

- Flujo Disperso de Sáenz

En las figuras 3-13 y 3-14 nos muestra la tendencia lineal de los valores de DBO obtenidos después de aplicar el método de Flujo Disperso de Sáenz, a los datos que han sido recopilados de la base de datos de la planta de tratamiento de Ucubamba desde el año 2013 al 2016, en el cual nos indica la ecuación y la tendencia que tendrían los datos al ser calculados aplicando este método de remoción.

Facultativa 1

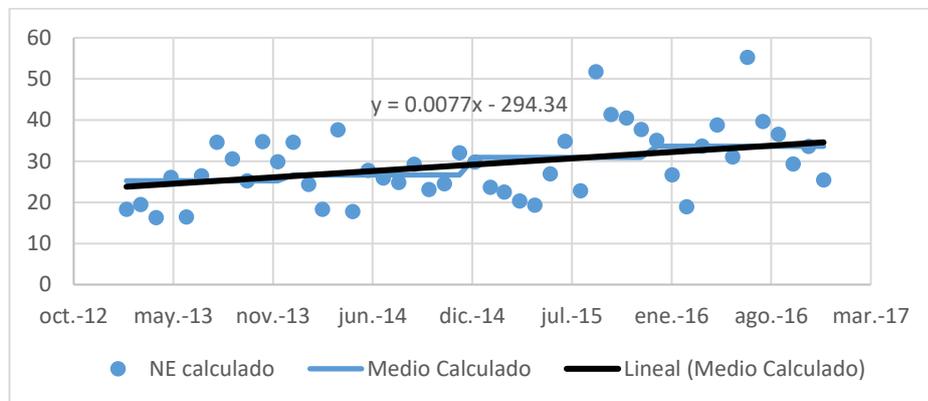


Figura 3-13. Ecuación de la tendencia lineal media obtenida Facultativa 1. Sáenz DBO

Fuente: Elaboración Propia

Facultativa 2

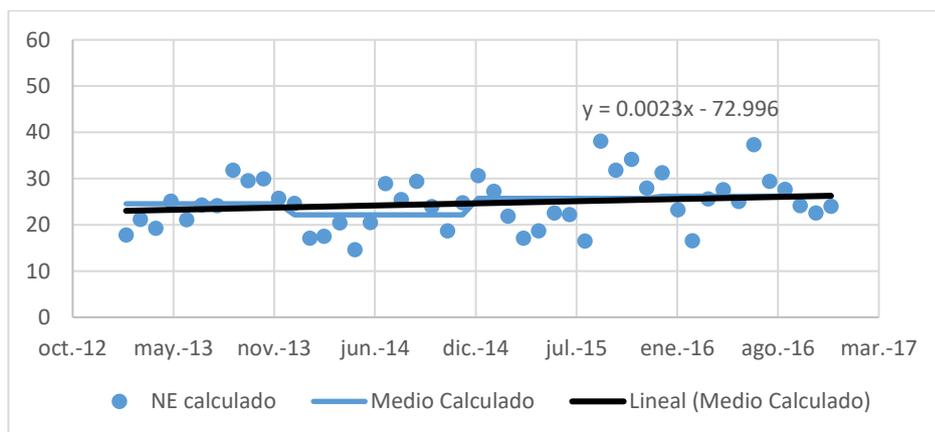


Figura 3-14. Ecuación de la tendencia lineal media obtenida Facultativa 2. Sáenz DBO

Fuente: Elaboración Propia

Dichos resultados han sido obtenidos del procesamiento de la información que se encuentra adjunta en el Anexo 10.

En las figuras 3-15 y 3-16 nos muestra la tendencia lineal de los valores de Coliformes Fecales obtenidos después de aplicar el método de Flujo Disperso de Sáenz, a los datos que han sido recopilados de la base de datos de la planta de tratamiento de Ucubamba desde el año 2013 al 2016, en el cual nos indica la ecuación y la tendencia que tendrían los datos al ser calculados aplicando este método de remoción.

Facultativa 1

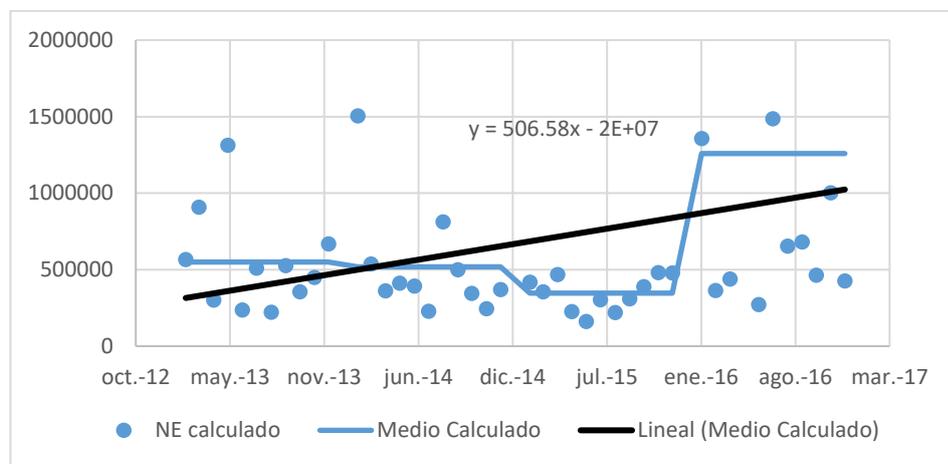


Figura 3-1578. Ecuación de la tendencia lineal media obtenida Facultadiva 1. Sáenz Coliformes

Fuente: Elaboración Propia

Facultativa 2

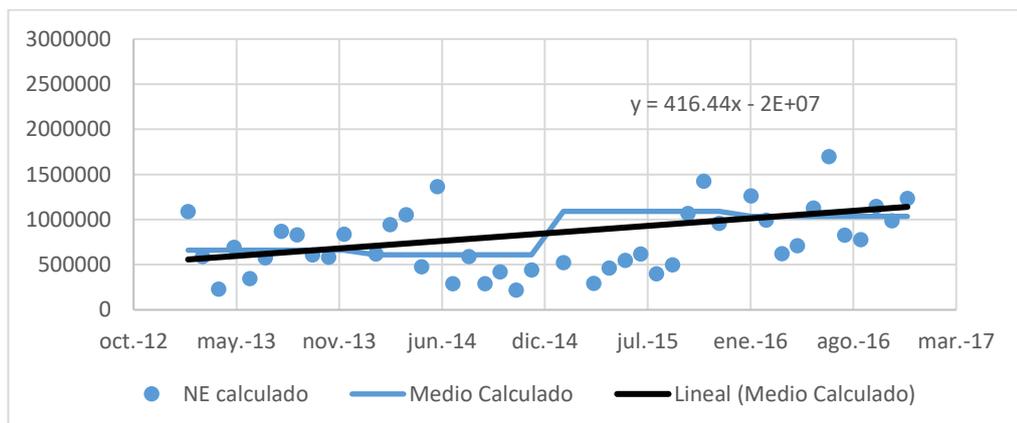


Figura 3-16. Ecuación de la tendencia lineal media obtenida Facultadiva 2. Sáenz Coliformes

Fuente: Elaboración Propia

Dichos resultados han sido obtenidos del procesamiento de la información que se encuentra adjunta en el Anexo 10.

- Yáñez

En las figuras 3-17 y 3-18 nos muestra la tendencia lineal de los valores de DBO obtenidos después de aplicar el método de Flujo Disperso de Yáñez, a los datos que han sido recopilados de la base de datos de la planta de tratamiento de Ucubamba desde el año 2013 al 2016, en el cual nos indica la ecuación y la tendencia que tendrían los datos al ser calculados aplicando este método de remoción.

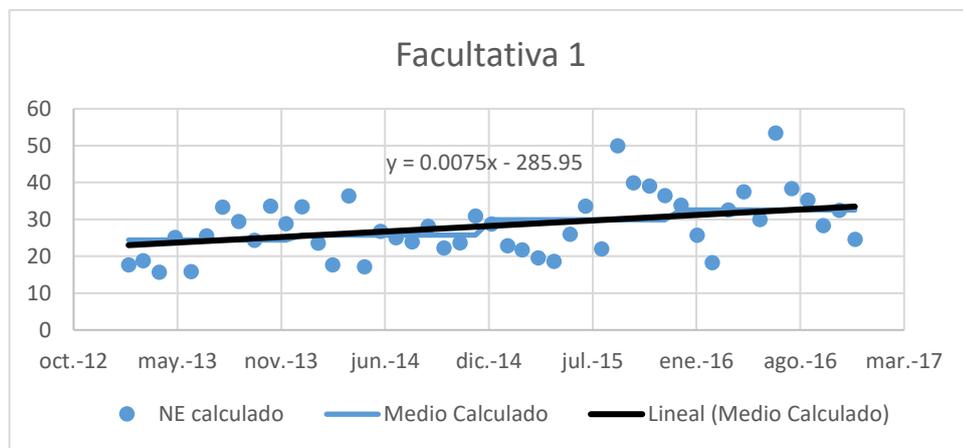


Figura 3-17. Ecuación de la tendencia lineal media obtenida Facultativa 1. Yáñez DBO

Fuente: Elaboración Propia

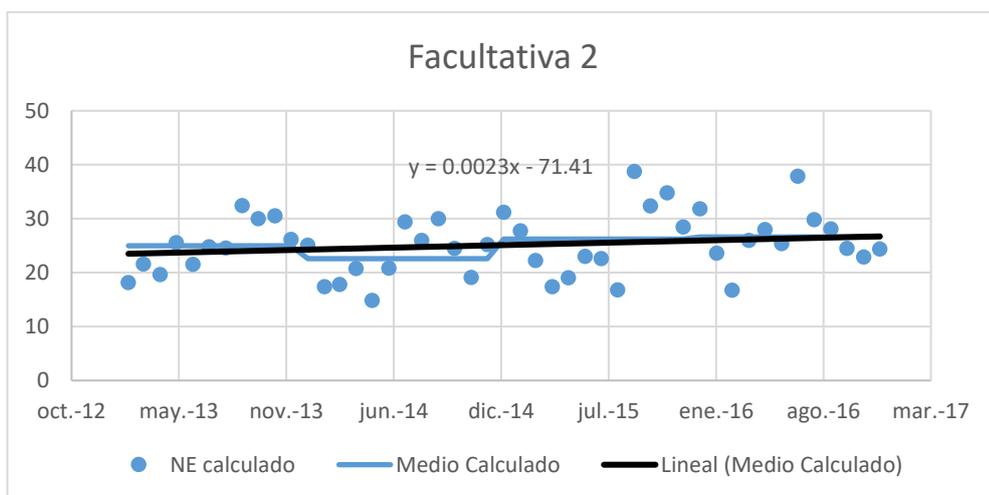


Figura 3-1879. Ecuación de la tendencia lineal media obtenida Facultativa 2. Yáñez DBO

Fuente: Elaboración Propia

Dichos resultados han sido obtenidos del procesamiento de la información que se encuentra adjunta en el Anexo 10.

En las figuras 3-19 y 3-20 nos muestra la tendencia lineal de los valores de Coliformes Fecales obtenidos después de aplicar el método de Flujo Disperso de Yáñez, a los datos que han sido recopilados de la base de datos de la planta de tratamiento de Ucubamba desde el año 2013 al 2016, en el cual nos indica la ecuación y la tendencia que tendrían los datos al ser calculados aplicando este método de remoción.

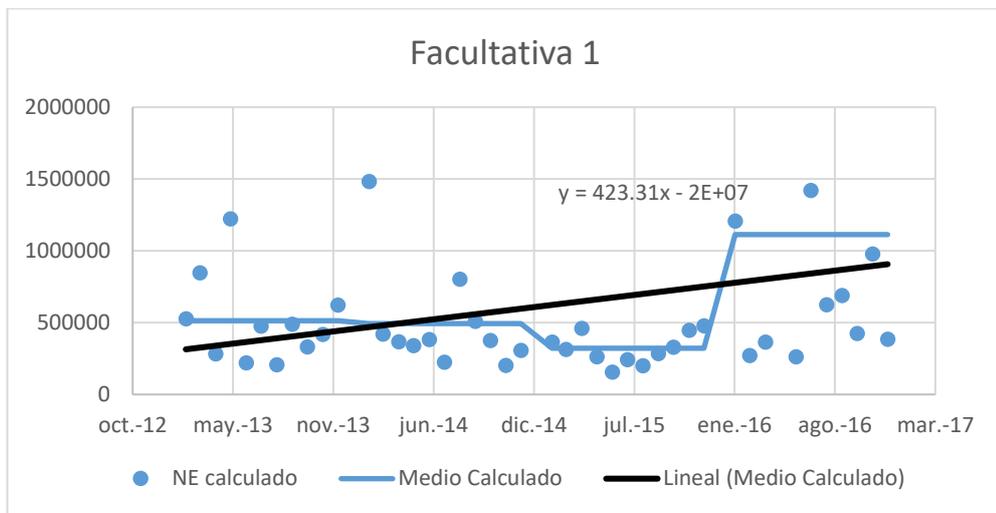


Figura 3-1980. Ecuación de la tendencia lineal media obtenida Facultativa 1. Yáñez Coliformes

Fuente: Elaboración Propia

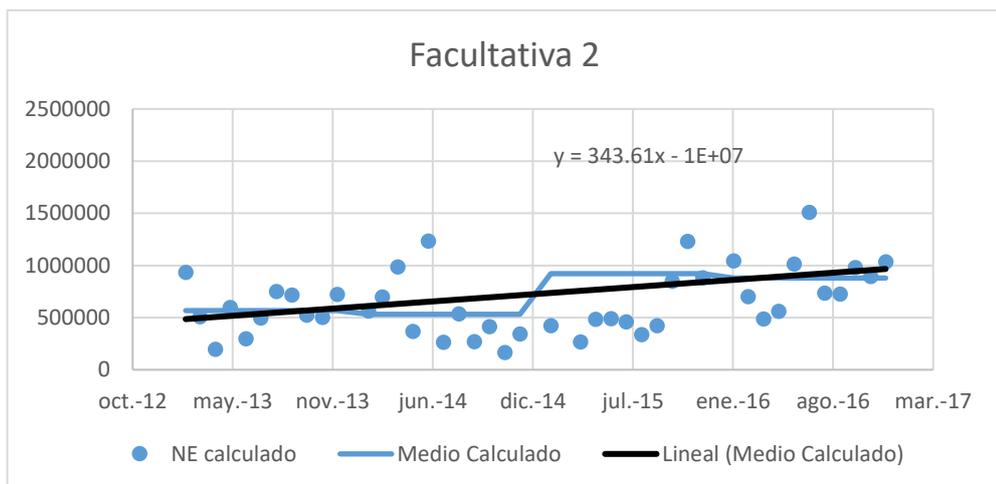


Figura 3-20. Ecuación de la tendencia lineal media obtenida Facultativa 2. Yáñez Coliformes

Fuente: Elaboración Propia

Dichos resultados han sido obtenidos del procesamiento de la información que se encuentra adjunta en el Anexo 10.

3.2.1 Proyección a 5 años

En la tabla 3-4 nos indica los valores de las proyecciones a 5 años de los datos reales que se obtuvo de la planta de tratamiento, así como también de los valores al aplicar las diferentes ecuaciones que se tomaron en consideración para este estudio, tanto para la remoción de la DBO como de los Coliformes Fecales.

Tabla 3-4. Proyección 5 años, Datos reales y calculados

Ecuación	Parámetros	Facultativa 1	Facultativa 2
Datos Obtenidos	DBO	36.4356	40.8529
	COLIFORMES FECALES	16518984.97	3927800.61
Mezcla Completa	DBO	48.0363	30.5616
	COLIFORMES FECALES	6020970.53	2383115.46
Polprasert y Bhattarai	DBO	52.2979	38.6344
	COLIFORMES FECALES	820322.76	15045898.96
Sáenz	DBO	45.9769	28.6571
	COLIFORMES FECALES	2389316.26	16405398.68
Yáñez	DBO	45.5275	30.2431
	COLIFORMES FECALES	16709032.07	5186531.17

Fuente: Elaboración Propia

Se puede observar que el valor de las proyecciones es muy esporádico y dependerá principalmente de la laguna que se esté evaluando y el método que se está aplicando, ya que no se puede observar a simple vista una relación entre las mismas.

En la tabla 3-5 nos indica una comparación entre los valores de las proyecciones a 5 años de los datos reales que se obtuvo de la planta de tratamiento contra los valores de las proyecciones a 5 años al aplicar las diferentes ecuaciones que se tomaron en consideración para este estudio, tanto para la remoción de la DBO como de los Coliformes Fecales.

Tabla 3-5. Proyección 5 años, Comparación datos reales y obtenidos

Ecuación	Parámetros	Facultativa 1	Facultativa 2
Datos Obtenidos	DBO	0	0
	COLIFORMES FECALES	0	0
Mezcla Completa	DBO	32%	-25%
	COLIFORMES FECALES	-64%	-39%
Polprasert y Bhattarai	DBO	44%	-5%
	COLIFORMES FECALES	-95%	283%
Sáenz	DBO	26%	-30%
	COLIFORMES FECALES	-86%	318%
Yáñez	DBO	25%	-26%
	COLIFORMES FECALES	1%	32%

Fuente: Elaboración Propia

Aquí es evidente lo dicho anteriormente, los valores de las proyecciones son variables con respecto a los datos reales ya que estas depende del método que se esté aplicando para la obtención de dichos resultados, además de las diferentes características que cada laguna contempla, lo que sí es evidente es la tendencia creciente que tienen todas las proyecciones.

3.2.2 Proyección a 10 años

En la tabla 3-6 nos indica los valores de las proyecciones a 10 años de los datos reales que se obtuvo de la planta de tratamiento, así como también de los valores al aplicar las diferentes ecuaciones que se tomaron en consideración para este estudio, tanto para la remoción de la DBO como de los Coliformes Fecales.

Tabla 3-6. Proyección 10 años, Datos reales y calculados

Ecuación	Parámetros	Facultativa 1	Facultativa 2
Datos Obtenidos	DBO	41.5484	51.2611
	COLIFORMES FECALES	17284097.23	4503227.99
Mezcla Completa	DBO	62.4617	33.8484
	COLIFORMES FECALES	6682877.27	2894724.14
Polprasert y Bhattarai	DBO	71.8361	48.1296
	COLIFORMES FECALES	1680514.84	15750150.64
Sáenz	DBO	60.0371	32.8569
	COLIFORMES FECALES	3314331.34	17165818.12
Yáñez	DBO	59.2225	34.4429
	COLIFORMES FECALES	17481996.13	5813963.03

Fuente: Elaboración Propia

Se puede observar que el valor de las proyecciones es muy esporádico y dependerá principalmente de la laguna que se esté evaluando y el método que se está aplicando, ya que no se puede observar a simple vista una relación entre las mismas.

En la tabla 3-7 nos indica una comparación entre los valores de las proyecciones a 10 años de los datos reales que se obtuvo de la planta de tratamiento contra los valores de las proyecciones a 10 años al aplicar las diferentes ecuaciones que se tomaron en consideración para este estudio, tanto para la remoción de la DBO como de los Coliformes Fecales.

Tabla 3-7. Proyección 10 años, Comparación datos reales y obtenidos

Ecuación	Parámetros	Facultativa 1	Facultativa 2
Datos Obtenidos	DBO	0%	0%
	COLIFORMES FECALES	0%	0%
Mezcla Completa	DBO	71%	-17%
	COLIFORMES FECALES	-60%	-26%
Polprasert y Bhattarai	DBO	97%	18%
	COLIFORMES FECALES	-90%	301%
Sáenz	DBO	65%	-20%
	COLIFORMES FECALES	-80%	337%
Yáñez	DBO	63%	-16%
	COLIFORMES FECALES	6%	48%

Fuente: Elaboración Propia

Aquí es evidente lo dicho anteriormente, los valores de las proyecciones son variables con respecto a los datos reales ya que estas dependen del método que se esté aplicando para la obtención de dichos resultados, además de las diferentes características que cada laguna contempla, lo que sí es evidente es la tendencia creciente que tienen todas las proyecciones.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

- De acuerdo a la investigación y análisis realizado en el capítulo 1 se determinó que los modelos matemáticos que mejor se ajustan a las condiciones del medio en el que se encuentra la planta de tratamiento de aguas residuales de Ucubamba son: El modelo de mezcla completa y el modelo de flujo disperso según: Yáñez, Sáenz, Polprasert.
- Se realizó un primer análisis de calidad de los datos, donde en función de los porcentajes de error expuestos en las tablas 2-2, 2-3, 2-5, 2-6, 2-8, 2-9, 2-11 y 2-12 presentes en el capítulo 2, se determinó que los datos obtenidos de las lagunas facultativas eran los más adecuados para la aplicación de los modelos investigados.
- En el capítulo 2 se encontraron las relaciones matemáticas de cada uno de los modelos y en las tablas 2-4, 2-7, 2-10 y 2-13 presentes en dicho capítulo, se muestran los coeficientes de decaimiento para las diferentes fórmulas, cuyos resultados presentes en las dos lagunas facultativas coinciden en el orden de magnitud.
- Todos los métodos experimentales que consideran el valor de la dispersión llegan a valores muy semejantes, pero el método de flujo disperso según Yáñez tiene la menor diferencia absoluta en promedio con respecto a los datos reales de la planta, siendo este error de 3.34, vale recalcar que este modelo tiene una diferencia absoluta que varía mínimo en 1.5 con respecto a los demás modelos.
- En el capítulo 3 se analizan los coeficientes de decaimiento obtenidos contra los coeficientes de decaimiento teóricos reportados en la bibliografía, encontrando que para los diferentes modelos aplicados el orden de magnitud es semejante y por lo tanto muestran la validez de los resultados obtenidos, como se muestra en la tabla 3-3.
- En el capítulo 3 se demuestra la validez de los ajustes realizados, lo cual significa que los resultados que obtuvimos en el presente proyecto de tesis sirven para proyecciones futuras.

- Se realizaron algunas proyecciones de datos para buscar valores a 5 y 10 años con los datos reales y las constantes obtenidas para los diferentes modelos los cuales se muestran en las tablas 3-4 y 3-6 presentes en el capítulo 3, lo cual demuestra que los valores obtenidos podrían servir a ETAPA para proyectar los resultados en el tiempo.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda investigar el motivo por el cual los datos de las lagunas de maduración obtenidos en la planta de tratamiento de aguas residuales de Ucubamba no permiten un ajuste adecuado a los modelos propuestos.
- Se recomienda llevar un mejor control de los datos en los próximos años entre los resultados que se obtengan en la planta de tratamiento y los resultados obtenidos en el modelo planteado para ajustar la validez de los mismos.
- Además se recomienda realizar el mismo proceso antes expuesto para los demás contaminantes que se encuentran siendo removidos y son de gran importancia para el diseño de las lagunas.

BIBLIOGRAFÍA

- Agua, C. N. (2007). Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Coyoacan: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales .
- Agua, C. N. (2008). Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Mexico: Jardines en la Montaña.
- Crites, R., Middlebrooks, J., & Reed, S. (2006). Natural Wastewater Treatment Systems. United States of America: Taylor & Francis Group.
- Flores, I. T. (2005). Un nuevo enfoque en el estado del arte en el diseño de estabilización. congreso interamericano de ingeniería química.
- Flores, I. T. (2005). Un nuevo enfoque en el estado del arte en el diseño de Lagunas de Estabilizacion. Lima, Peru.
- Julio Benitez Lopez, J. L. (2010). Introduccion a MATLAB. Valencia: Universidad Politecnica de Valencia.
- Orellana, I. C. (2016). Resultados Generales Perdida de Volumen. Cuenca.
- Rubens Sette Ramalho, Domingo Jiménez Beltrán, & Federico de Lora. (2003). Tratamiento de Aguas Residuales. España: Reverte S.A.
- Tiempo, T. (2017). Tu Tiempo.net. Obtenido de <https://www.tutiempo.net/clima/12-2016/ws-842390.html>
- Zuñiga, D. R. (2013). Introduccion al uso de Matlab. Posgrado en Ciencias de la Tierra, UNAM.

ANEXOS

Anexo 1: Lenguaje de programación del software MATLAB.

Anexo 2: Registros históricos de las temperaturas medias de la ciudad de Cuenca.

Anexo 3: Registro histórico de las temperaturas medias del agua de las lagunas Facultativas y de Maduración.

Anexo 4: Registro histórico de los caudales de las lagunas Facultativas y de Maduración.

Anexo 5: Procesamiento de los valores de “k” y porcentajes de error.

Anexo 6: Procesamiento de la dispersión lineal de las lagunas Facultativas.

Anexo 7: Procesamiento ajustado de la dispersión lineal de las lagunas Facultativas.

Anexo 8: Procesamiento de la dispersión y diferencia absoluta de las lagunas Facultativas.

Anexo 9: Procesamiento de la dispersión de los datos con los valores de “k” obtenidos.

Anexo 10: Procesamiento de la tendencia de los datos obtenidos y calculados.