

# **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

## **Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra**

Determinación de factores de diseño específicos para sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas en urbanizaciones de la ciudad de Guayaquil.

### **PROYECTO DE GRADUACIÓN**

Previo la obtención del Título de:

### **MAGISTER EN INGENIERÍA CIVIL CON MENCIÓN EN CONSTRUCCIÓN Y SANEAMIENTO**

Presentado por:

Antonio Moncada Zambrano

Jorge Luis Albán Calle

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2025

# DEDICATORIA

*A mis padres, por ser el pilar más firme en cada etapa de mi vida.*

*Gracias por su amor incondicional, por enseñarme con su ejemplo el valor del esfuerzo, la honestidad y la perseverancia.*

*Cada logro alcanzado es también suyo, porque sin su apoyo, comprensión y sacrificio, este camino no habría sido posible.*

*A mi hermana, por su compañía constante, sus palabras de aliento y por recordarme siempre la importancia de seguir adelante con fe y optimismo.*

*Este trabajo representa no solo un logro académico, sino también un reflejo del amor y los valores que me han guiado desde el hogar.*

**Jorge Luis Albán**

*Dedico este proyecto con amor y gratitud a mi madre, por ser mi guía, mi fuerza y mi mayor ejemplo de entrega.*

*A mi novia, mi compañera de vida, por su comprensión y apoyo incondicional en cada paso del camino.*

*Y a mi padre, por enseñarme con su esfuerzo el valor del trabajo y la perseverancia.*

*A todos ellos, gracias por ser mi inspiración constante.*

**Antonio Moncada Zambrano**

# AGRADECIMIENTOS

*Mi más sincero agradecimiento a Dios, por la sabiduría y fortaleza brindadas a lo largo de este proceso. A mis padres y familia, por su apoyo incondicional, sus consejos y el ejemplo constante de esfuerzo y perseverancia.*

*A los docentes y compañeros de la Maestría en Construcción y Saneamiento de la ESPOL, por su orientación y colaboración que hicieron posible la culminación de este trabajo.*

**Jorge Luis Albán**

*A mi familia, por su apoyo incondicional, y por ser el pilar fundamental que me ha sostenido en cada etapa de este camino académico y personal.*

*A la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL), a mis compañeros y docentes, por compartir su conocimiento, experiencia y motivación, que fueron esenciales para mi formación profesional.*

*Y a CODEMET S.A., por brindarme la oportunidad de desarrollar mi primera maestría, permitiéndome aplicar y fortalecer mis conocimientos en el ámbito profesional.*

*A todos, mi sincero agradecimiento por formar parte de este logro.*

**Antonio Moncada Zambrano**

# DECLARACIÓN EXPRESA

Nosotros Antonio Ricardo Moncada Zambrano y Jorge Luis Albán Calle acordamos y reconocemos que: La titularidad de los derechos patrimoniales de autor (derechos de autor) del proyecto de graduación corresponderá al autor o autores, sin perjuicio de lo cual la ESPOL recibe en este acto una licencia gratuita de plazo indefinido para el uso no comercial y comercial de la obra con facultad de sublicenciar, incluyendo la autorización para su divulgación, así como para la creación y uso de obras derivadas. En el caso de usos comerciales se respetará el porcentaje de participación en beneficios que corresponda a favor del autor o autores. El o los estudiantes deberán procurar en cualquier caso de cesión de sus derechos patrimoniales incluir una cláusula en la cesión que proteja la vigencia de la licencia aquí concedida a la ESPOL.

La titularidad total y exclusiva sobre los derechos patrimoniales de patente de invención, modelo de utilidad, diseño industrial, secreto industrial, secreto empresarial, derechos patrimoniales de autor sobre software o información no divulgada que corresponda o pueda corresponder respecto de cualquier investigación, desarrollo tecnológico o invención realizada por mí/nosotros durante el desarrollo del proyecto de graduación, pertenecerán de forma total, exclusiva e indivisible a la ESPOL, sin perjuicio del porcentaje que me/nos corresponda de los beneficios económicos que la ESPOL reciba por la explotación de mi/nuestra innovación, de ser el caso.

En los casos donde la Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación (OTRI) de la ESPOL comunique los autores que existe una innovación potencialmente patentable sobre los resultados del proyecto de graduación, no se realizará publicación o divulgación alguna, sin la autorización expresa y previa de la ESPOL.

Guayaquil, 26 de noviembre de 2025.

---

Antonio Ricardo Moncada  
Zambrano

---

Jorge Luis Alban Calle

# EVALUADORES

---

**Fernanda Mejía**

Profesor de Materia

---

**Jeffrey Manuel Barberan**

**Solorzano**

Tutor de proyecto

# RESUMEN

El crecimiento urbano de la ciudad de Guayaquil ha promovido el desarrollo de urbanizaciones en zonas periféricas donde no existe cobertura de alcantarillado sanitario, lo que obliga a implementar sistemas descentralizados de tratamiento de aguas residuales domésticas. En la práctica, los diseños de estas plantas se elaboran mayoritariamente con parámetros provenientes de bibliografía y normativas internacionales, sin una validación previa bajo condiciones locales y en general pensadas para sistemas de grandes dimensiones. Esta situación genera incertidumbre en el dimensionamiento de unidades de proceso, en los costos operativos y en la sostenibilidad de las plantas.

El presente proyecto de investigación tiene como finalidad determinar factores de diseño específicos para sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas del tipo lodos activados en urbanizaciones de Guayaquil. Para ello, se seleccionarán plantas en operación representativas, en las cuales se revisarán campañas de monitoreo realizadas por interagua, de los parámetros como caudal, DBO<sub>5</sub>, DQO, sólidos suspendidos en el licor de mezcla, concentración de oxígeno disuelto e índice volumétrico de lodos. Los resultados permitirán contrastar los valores de diseño originalmente considerados con el comportamiento real de las plantas, identificando márgenes de seguridad, sobrecargas o subutilización.

De esta manera, el estudio busca mejorar la eficiencia del dimensionamiento de sistemas de tratamiento de las aguas residuales.

**Palabras Clave:** aguas residuales domésticas; lodos activados; factores de diseño; producción de lodos.

# ABSTRACT

*Urban growth in the city of Guayaquil has driven the development of residential areas in peripheral zones where there is no coverage of sanitary sewer systems, which compels the implementation of decentralized domestic wastewater treatment systems. In practice, the design of these treatment plants is largely based on parameters derived from international literature and standards, without prior validation under local conditions and generally intended for large-scale systems. This situation creates uncertainty in the sizing of process units, in operational costs, and in the overall sustainability of the plants.*

*The purpose of this research project is to determine specific design factors for activated sludge domestic wastewater treatment systems in housing developments in Guayaquil. Representative operating plants will be selected, where monitoring campaigns carried out by Interagua will be reviewed, including parameters such as flow, BOD<sub>5</sub>, COD, mixed liquor suspended solids, dissolved oxygen concentration, and sludge volume index. The results will allow a comparison between the originally considered design values and the actual performance of the plants, identifying safety margins, overloads, or underutilization.*

*In this way, the study aims to improve the efficiency of the sizing of domestic wastewater treatment systems.*

*Keywords: domestic wastewater; activated sludge; design factors; sludge production.*

# ÍNDICE GENERAL

## INTRODUCCIÓN

1.1	Antecedentes .....	10
1.2	Localización .....	11
1.3	Estudios previos .....	11
1.4	Definición del problema.....	12
1.5	Justificación.....	12
1.6	Objetivos .....	13
1.6.1	Objetivo General.....	13
1.6.2	Objetivos Específicos .....	13
	DESARROLLO DEL PROYECTO .....	15
2.1	Tratamiento de aguas residuales domésticas.....	15
2.2	Importancia del dimensionamiento en plantas de tratamiento .....	15
2.3	Importancia del dimensionamiento en plantas de tratamiento .....	17
2.4	Marco metodológico.....	20
	RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	26
3.1	Parámetros de diseño .....	26
3.2	Parámetros de Operación .....	33
3.3	Resultados .....	41
3.4	Análisis de resultados .....	44
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	48
4.1	Conclusiones.....	48
4.2	Recomendaciones .....	48
	BIBLIOGRAFÍA.....	50
	ANEXOS.....	52

# ABREVIATURAS

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
ASTM	American Society for Testing and Materials
NACE	National Association of Corrosion Engineer
SSC	Electrodo de Plata Cloruro de Plata
CSE	Electrodo de Cobre Sulfato de Cobre
HWL	High Water Level
LWL	Low Water Level
CIS	Inspección pasó a paso, medición de potenciales de encendido
MPY	Milésimas de pulgadas por año

# SIMBOLOGÍA

mil	Milésima de pulgada
mg	Miligramo
pH	Potencial de Hidrógeno
m	Metro
mV	Milivoltio
Cu	Cobre
Ni	Níquel
C	Carbono
Mn	Manganeso
P	Fósforo

# ÍNDICE DE FIGURAS

- Ilustración I. Urbanizaciones de Vía a la Costa -Guayaquil 11*
- Ilustración II. Caudales medio de diseño. 26*
- Ilustración III. Caudal máximo de diseño. 27*
- Ilustración IV. DBO de ingreso de Diseño. 28*
- Ilustración V. Sólidos Suspendidos totales de ingreso a Caudal Medio. 29*
- Ilustración VI. Sólidos Suspendidos en el Reactor Biológico. 30*
- Ilustración VII. Concentración de oxígeno disuelto esperada en el Reactor Biológico. 31*
- Ilustración VIII. Volumen propuesto del Reactor Biológico. 31*
- Ilustración IX. Volumen propuesto del Digestor de Lodos. 32*
- Ilustración X. Oxígeno disuelto en el Reactor Biológico de la Planta I. 37*
- Ilustración XI. Índice volumétrico del Reactor Biológico de la Planta I. 37*
- Ilustración XII. Oxígeno disuelto en el Reactor Biológico de la Planta II. 38*
- Ilustración XIII. Índice volumétrico del Reactor Biológico de la Planta II. 38*
- Ilustración XIV. Oxígeno disuelto en el Reactor Biológico de la Planta III. 38*
- Ilustración XV. Índice volumétrico del Reactor Biológico de la Planta III. 39*
- Ilustración XVI. Oxígeno disuelto en el Reactor Biológico de la Planta IV. 39*
- Ilustración XVII. Oxígeno disuelto en el Reactor Biológico de la Planta V. 40*
- Ilustración XVIII. Índice volumétrico del Reactor Biológico de la Planta V. 40*
- Ilustración XIX. Oxígeno disuelto en el Reactor Biológico de la Planta VI. 40*
- Ilustración XX. Índice volumétrico del Reactor Biológico de la Planta VI. 40*
- Ilustración XXI. Tendencia Línea para la obtención de los coeficientes  $\mu$  y  $K_d$  de la Planta tipo I. 41*
- Ilustración XXII. Tendencia Línea para la obtención de los coeficientes  $\mu$  y  $K_d$  de la Planta tipo II. 42*
- Ilustración XXIII. Tendencia Línea para la obtención de los coeficientes  $\mu$  y  $K_d$  de la Planta tipo III. 42*
- Ilustración XXIV. Tendencia Línea para la obtención de los coeficientes  $\mu$  y  $K_d$  de la Planta tipo IV. 43*
- Ilustración XXV. Tendencia Línea para la obtención de los coeficientes  $\mu$  y  $K_d$  de la Planta tipo V. 43*
- Ilustración XXVI. Tendencia Línea para la obtención de los coeficientes  $\mu$  y  $K_d$  de la Planta tipo VI. 44*
- Ilustración XXVII. Resumen de los Coeficientes cinéticos obtenidos. 46*

# ÍNDICE DE TABLAS

- Tabla 1. Descripción del Tratamiento de las Aguas residuales. 16*
- Tabla 2. Tipos de Tratamiento de aguas residuales del tipo aerobias. 18*
- Tabla 3. Simbología más utilizada en el tratamiento de lodos activados. 19*
- Tabla 4. Unidades y Variables mas utilizadas en el proceso de Lodos activados. 23*
- Tabla 5. Eficiencia de remoción de la DBO y SST Planta I. 33*
- Tabla 6. Eficiencia de remoción de la DBO y SST Planta II. 34*
- Tabla 7. Eficiencia de remoción de la DBO y SST Planta III. 34*
- Tabla 8. Eficiencia de remoción de la DBO y SST Planta IV. 35*
- Tabla 9. Eficiencia de remoción de la DBO y SST Planta V. 35*
- Tabla 10. Eficiencia de remoción de la DBO y SST Planta VI. 36*
- Tabla 11. Parámetros operativos promedio de las Plantas 1, 2 y 3 44*
- Tabla 12. Parámetros operativos de las Plantas 4, 5 y 6. 45*
- Tabla 13. Eficiencias de remoción de DBO por planta (Resumen anual). 45*
- Tabla 14. Comparación cinética global entre Plantas 1–6. 45*

# **CAPÍTULO 1**

## INTRODUCCIÓN

El crecimiento poblacional y el proceso de desarrollo de la ciudad de Guayaquil han impulsado la construcción de nuevas urbanizaciones en sectores periféricos donde no existe cobertura de alcantarillado sanitario. Esta realidad ha obligado a las urbanizaciones a implementar sistemas descentralizados de tratamiento de aguas residuales domésticas, con el fin de garantizar condiciones mínimas de saneamiento y evitar la descarga directa de aguas contaminadas en cuerpos receptores.

En la práctica, el diseño de estas plantas de tratamiento suele apoyarse en manuales técnicos y normativas internacionales, como las propuestas por la *Environmental Protection Agency* (EPA) y los lineamientos de Metcalf & Eddy. No obstante, puede observarse que la falta de parámetros validados en condiciones locales genera incertidumbre en el dimensionamiento de las unidades de proceso, lo que puede derivar en subutilización, sobrecarga o deficiencias en la eficiencia de remoción de contaminantes.

Esta situación afecta directamente los costos de operación y mantenimiento, compromete la sostenibilidad de las plantas y limita la capacidad de garantizar efluentes de calidad acorde a la normativa nacional.

El estudio de los sistemas de tratamiento de aguas residuales en urbanizaciones de Guayaquil resulta particularmente relevante, debido a que la ciudad presenta condiciones climáticas, hidrológicas y de consumo de agua distintas a las contempladas en parámetros internacionales. La elevada temperatura promedio, los patrones de precipitación estacionales y el comportamiento particular de la demanda de agua influyen en la concentración de contaminantes y en la eficiencia de los procesos biológicos de tratamiento.

En este contexto, el presente proyecto de investigación se propone analizar el desempeño de plantas de tratamiento del tipo lodos activados instaladas en urbanizaciones de la ciudad, con el propósito de establecer factores de diseño (Kd, Y, Edad de Lodos, Px) que respondan a la realidad local. Este trabajo busca generar un aporte técnico de valor para proyectistas, empresas operadoras y autoridades de control, promoviendo soluciones sanitarias más eficientes, sostenibles y ajustadas a las condiciones urbanas y ambientales de Guayaquil.

## 1.1 Antecedentes

El acelerado crecimiento urbano de Guayaquil ha impulsado la expansión de urbanizaciones hacia sectores donde la infraestructura de alcantarillado sanitario aún no está disponible, cuya cobertura actual alcanza aproximadamente el 93% del cantón (Interagua, s.f.).

Esta situación ha generado la necesidad de implementar soluciones descentralizadas de tratamiento de aguas residuales domésticas, a fin de garantizar la disposición adecuada de los efluentes y proteger la salud pública y el ambiente.

En respuesta a esta problemática, las urbanizaciones privadas han optado por la instalación de plantas de tratamiento de pequeña y mediana escala, generalmente del tipo lodos activados. No obstante, la práctica común en el diseño de estas plantas ha sido la utilización de parámetros y factores de diseño provenientes de bibliografía internacional. Aunque estas referencias constituyen una base importante, no necesariamente reflejan las condiciones hidrológicas, climáticas.

Se plantea la hipótesis de que en la operación y supervisión de los sistemas de agua potable y saneamiento de la ciudad de Guayaquil podrían existir discrepancias entre los parámetros de diseño adoptados y el desempeño real observado en campo. Dichas diferencias, de confirmarse, tenderían a reflejarse en problemas de eficiencia en la remoción de contaminantes, sobredimensionamiento o subutilización de unidades, y en un incremento de los costos de operación y mantenimiento.

“El clima de Guayaquil, de acuerdo con la clasificación de Köppen, es tropical sabana, con una precipitación media anual de 1 100 mm. La temperatura media anual es de 25,4 °C y se mantiene casi constantemente durante el año...” (EMAPAG-EP, 2010). Estas condiciones particulares justifican la necesidad de establecer factores de diseño adaptados al contexto local, que

permitan mejorar la confiabilidad de los proyectos y garantizar la sostenibilidad de las plantas.

En este marco, el presente proyecto de investigación surge como una respuesta a la necesidad de generar conocimiento técnico que facilite la elaboración de diseños más precisos, ajustados a la realidad operativa de Guayaquil y alineados con las políticas de saneamiento y desarrollo urbano sostenible.

## 1.2 Localización

- Provincia: Guayas
- Ciudad: Guayaquil
- Latitud: A nivel del mar
- Clima: Cálido durante todo el año.



**Ilustración I. Urbanizaciones de Vía a la Costa -Guayaquil**

## 1.3 Estudios previos

Para el desarrollo del presente proyecto se considera fundamental contar con información operativa real de las plantas de tratamiento en estudio. En este sentido, la empresa operadora Interagua, responsable de la gestión de los sistemas de agua y saneamiento de la ciudad de Guayaquil, dispone de los registros y datos de operación necesarios.

#### **1.4 Definición del problema**

Durante el desarrollo de proyectos urbanísticos, se presentan incertidumbres que nacen de los opuestos intereses de los involucrados, por una parte los urbanizadores cuyo activo principal son los terrenos y que buscan el máximo aprovechamiento para viviendas versus el interés de la operadora de contar con sistemas robustos que aseguren el cumplimiento normativo.

Los proyectos urbanísticos, en estas zonas requieren de una planta de tratamiento. Los diseños de estas plantas se basan en la bibliografía Internacional. El sistema de tratamiento de las aguas residuales por proceso de Lodos Activados de baja carga o aireación prolongada, permiten el cumplimiento de la normativa de descarga hacia un cuerpo de agua dulce. Sin embargo, no existen los coeficientes locales para una rápida selección de equipos y dimensionamiento que aseguren por un lado la optimización de espacios para el inversor (Promotor) y el cumplimiento de la norma para el futuro operador.

La falta de un marco técnico adaptado a la realidad local genera incertidumbre para los proyectistas y limita la capacidad de planificación a largo plazo de las urbanizaciones y autoridades responsables del saneamiento.

En este contexto, el problema central identificado es la carencia de factores de diseño específicos y validados para sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas del tipo lodos activados en urbanizaciones de Guayaquil. Resolver esta necesidad es fundamental para garantizar la sostenibilidad técnica, ambiental y económica de los sistemas implementados, contribuyendo a una gestión más eficiente del recurso hídrico y a la consolidación de un desarrollo urbano sostenible. Logrando más inversión de urbanizaciones en la ciudad de Guayaquil.

#### **1.5 Justificación**

La problemática actual en el diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas en la Ciudad de Guayaquil radica no solo en la ausencia de factores locales de dimensionamiento, sino también en la selección adecuada de la tecnología y en la rapidez de su implementación. El

uso de parámetros extranjeros y en algunos casos muy conservadores, limita mucho al inversor, ya que necesita ceder gran área para la implementación del proyecto y una alta inversión inicial.

La investigación propuesta es relevante porque contribuirá con factores de diseño específicos para urbanizaciones de Guayaquil, lo cual permitirá un rápido dimensionamiento de futuras plantas de tratamiento, mejorando la eficiencia en la remoción de contaminantes y reducir los impactos ambientales negativos asociados a descargas deficientes. Asimismo, los resultados obtenidos proporcionarán un marco técnico de referencia para proyectistas, operadores y entidades reguladoras, fortaleciendo la toma de decisiones en materia de planificación sanitaria.

## **1.6 Objetivos**

### **1.6.1 Objetivo General**

Establecer factores locales de diseño específicos para sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas del tipo lodo activado en urbanizaciones de la ciudad de Guayaquil, a partir del análisis de las plantas existentes, partiendo de la carga de ingreso, parámetros operaciones y evaluando la eficiencia del sistema, con el fin de optimizar el dimensionamiento y sostenibilidad de las soluciones planteadas.

### **1.6.2 Objetivos Específicos**

- Relevar, organizar la información existente a fin de construir las tendencias y la correlación de los parámetros como:  $DBO_5$ , DQO, sólidos suspendidos, SSLM, concentración de oxígeno, índice volumétrico de lodos, dimensiones de las unidades de proceso y equipos.
- Analizar la relación entre los factores de diseño utilizados y el comportamiento real observado, identificando posibles márgenes de seguridad, subutilización o sobrecarga en las plantas evaluadas.
- Proponer un mecanismo para un rápido dimensionamiento de las unidades de proceso, según la estimación de caudal y cargas contaminantes

## **CAPÍTULO 2**

## **DESARROLLO DEL PROYECTO**

### **2.1 Tratamiento de aguas residuales domésticas.**

El tratamiento de aguas residuales domésticas es el conjunto de procesos físicos, químicos y biológicos orientados a remover los contaminantes presentes en las descargas de origen doméstico antes de su vertido a cuerpos receptores o su reutilización. Dichos contaminantes incluyen materia orgánica biodegradable, sólidos suspendidos, nutrientes como nitrógeno y fósforo, microorganismos patógenos, grasas y aceites, entre otros. El objetivo fundamental de un sistema de tratamiento es proteger la salud pública y preservar la calidad de los ecosistemas acuáticos, asegurando el cumplimiento de la normativa ambiental vigente.

En América Latina, y particularmente en Ecuador, la cobertura de tratamiento de aguas residuales aún presenta limitaciones. Guayaquil, como ciudad con una dinámica de crecimiento urbano acelerado, enfrenta la necesidad de expandir y optimizar sus sistemas de saneamiento, tanto centralizados como descentralizados, para urbanizaciones en zonas periféricas. La adecuada selección y dimensionamiento de las plantas de tratamiento resulta crítico, ya que incide directamente en su eficiencia, sostenibilidad y capacidad de cumplir con los parámetros normativos de descarga.

### **2.2 Importancia del dimensionamiento en plantas de tratamiento**

El diseño y dimensionamiento de las plantas de tratamiento de aguas residuales constituye una etapa clave del proceso de planificación sanitaria. Una subestimación de caudales o cargas contaminantes conduce a una sobrecarga en las unidades de proceso, afectando el rendimiento y provocando incumplimientos tanto en la línea de agua como en la línea de lodos. Por el contrario, una sobreestimación excesiva genera infraestructuras sobredimensionadas, con altos costos de inversión y operación que comprometen la sostenibilidad económica de los proyectos.

El dimensionamiento adecuado depende del conocimiento preciso de parámetros hidráulicos y de calidad de las aguas residuales, tales como el caudal medio diario, el caudal máximo horario, la demanda bioquímica de oxígeno a cinco días (DBO<sub>5</sub>), la demanda química de oxígeno (DQO), los sólidos suspendidos totales (SST), el índice volumétrico de lodos (IVL), la concentración de oxígeno disuelto, la temperatura, el pH y la alcalinidad. La literatura internacional, representada por manuales como Metcalf & Eddy (2014) o Von Sperling (2012), ofrece rangos de referencia para el diseño de unidades de proceso. Sin embargo, dichos parámetros provienen en su mayoría de contextos climáticos y operativos distintos a los de Guayaquil, lo que puede conducir a discrepancias en el desempeño de las plantas cuando se aplican de manera directa.

Tabla 1. Descripción del Tratamiento de las Aguas residuales.

<b>Aspecto</b>	<b>Descripción</b>
Riesgo por subdimensionamiento	Sobrecarga de unidades, fallas en remoción, incumplimiento de DBO <sub>5</sub> , SST, NH <sub>3</sub> -N.
Riesgo por sobredimensionamiento	Costos excesivos de inversión y operación, baja eficiencia energética.
Parámetros críticos	Caudales (Qmd, Qmh), DBO <sub>5</sub> , DQO, SST, IVL, DO, pH, temperatura, alcalinidad.
Referencias técnicas frecuentes	Metcalf & Eddy (2014), Von Sperling (2012).
Problema en Guayaquil	Parámetros estándar no siempre se aplican por condiciones climáticas tropicales.

## **2.3 Importancia del dimensionamiento en plantas de tratamiento**

La ciudad de Guayaquil presenta condiciones hidrológicas, climáticas y socioeconómicas específicas que influyen en la calidad y cantidad de las aguas residuales generadas. Entre los factores relevantes se destacan:

1. Clima tropical húmedo, con temperaturas medias elevadas (25–28 °C) que afectan la cinética de los procesos biológicos, acelerando la descomposición de la materia orgánica.
2. Variabilidad estacional de caudales, asociada a períodos de intensas lluvias que incrementan el aporte de aguas infiltradas y pluviales al alcantarillado, alterando la concentración de contaminantes.
3. Características socioeconómicas de la población, que inciden en el consumo de agua potable y, por ende, en los coeficientes de carga orgánica per cápita.
4. Limitaciones en la operación y mantenimiento de sistemas existentes, derivadas de restricciones presupuestarias y de capacidades técnicas, que condicionan la sostenibilidad de las plantas.

Estas condiciones subrayan la importancia de establecer factores de diseño locales que reflejen la realidad operativa de Guayaquil, en lugar de depender exclusivamente de referencias internacionales.

### **2.3.1 Procesos biológicos de tratamiento: los sistemas de lodos activados.**

El proceso de lodos activados es la tecnología biológica más utilizada a nivel mundial para el tratamiento de aguas residuales domésticas. Se basa en la acción de una comunidad microbiana en suspensión que, en presencia de oxígeno, degrada la materia orgánica y transforma compuestos nitrogenados. El sistema consta de un reactor biológico aireado y un clarificador secundario, donde se separa el floculo del agua y se recircula el lodo (Flóculos) una fracción de lodos hacia el reactor.

Entre las principales variantes se encuentran la aireación extendida, zanja de oxidaciones, el reactor por lotes secuenciales (SBR), Reactores de Lecho móvil (MBBR) y los sistemas convencionales. La selección de cada esquema depende de factores como la carga contaminante, el caudal a tratar, la disponibilidad de terreno, los plazos de construcción y las facilidades de operación. En el caso de Guayaquil, los sistemas de aireación prolongada se han consolidado como una alternativa adecuada para urbanizaciones, por su robustez, su capacidad de alcanzar altos niveles de remoción de DBO<sub>5</sub> y SST, y su relativa simplicidad operativa.

Un aspecto clave en los lodos activados es el control de parámetros como la relación alimento/microorganismo (F/M), el tiempo de retención celular (SRT), la concentración de sólidos suspendidos en el licor mezcla (SSLM), y la concentración de oxígeno disuelto (DO). La adecuada regulación de estas variables asegura un equilibrio microbiano que favorece la nitrificación, evita la proliferación de bacterias filamentosas y mantiene una buena sedimentabilidad del lodo en el clarificador.

**Tabla 2. Tipos de Tratamiento de aguas residuales del tipo aerobias.**

<b>Variante</b>	<b>Características principales</b>	<b>Ventajas</b>	<b>Aplicación en Guayaquil</b>
Convencional	TRH medio, SRT moderado	Estándar mundial	Menos común en urbanizaciones
Aireación extendida	TRH largo, SRT alto, baja producción de lodos	Alta remoción, robustez	Muy usada en urbanizaciones
Zanjas de oxidación	Flujo circular, mezcla completa	Buena nitrificación	Aplicación variable
SBR	Operación secuencial por ciclos	Flexibilidad, footprint reducido	Dependiente de automatización
MBBR	Biomasa adherida, portadores plásticos	Estable ante choques	En crecimiento

### 2.3.2 Factores de diseño y operación.

Tabla 3. Simbología más utilizada en el tratamiento de lodos activados.

Parámetro	Definición	Importancia	Rango típico
TRH	Tiempo que permanece el agua en el reactor	Dimensiona el volumen del reactor	6–24 h (según proceso)
F/M	Relación alimento/microorganismo	Controla carga aplicada y crecimiento	0.05–0.30 kg DBO/kg SS·d
SRT	Edad del lodo o retención celular	Nitrificación, estabilidad y producción de lodos	5–20 días (aireación extendida: 20–30 días)
IVL (SVI)	Sedimentabilidad del lodo	Detección de bulking y control de sedimentos	80–150 mL/g
DO	Oxígeno disuelto	Respira la biomasa y permite nitrificación	1.5–4 mg/L
Recirculación de lodos	% de lodo retornado al reactor	Controla SSLM y evita lavado	50–150% del caudal
k <sub>d</sub> (decaimiento endógeno)	Tasa metabólica en ausencia de sustrato	Afecta producción de lodos y SRT	0.05–0.10 d <sup>-1</sup>
Y (coeficiente de rendimiento)	Biomasa generada por sustrato consumido	Producción de lodos y eficiencia	0.4–0.6 g SST/g DBO <sub>5</sub>

El desempeño de una planta de tratamiento depende de la correcta selección de factores de diseño y operación. Entre los principales se incluyen:

## **2.4 Marco metodológico**

### **2.4.1 Enfoque y diseño de investigación**

La investigación se enmarca dentro de un enfoque cuantitativo-aplicado, ya que se fundamenta en el procesamiento de información numérica proveniente de los registros operativos y en la validación de hipótesis relacionadas con la eficiencia y la adaptación de los sistemas de tratamiento. El diseño es no experimental, transversal y descriptivo-correlacional, puesto que no se manipulan las variables, sino que se analizan tal como se presentan en la realidad. Asimismo, es de carácter comparativo, ya que se busca contrastar el comportamiento de dos grupos tecnológicos de plantas de tratamiento.

### **2.4.2 Clasificación de los sistemas analizados**

Con el fin de establecer parámetros diferenciados y evaluar la influencia del tipo de aireación en el rendimiento de las plantas, se agruparán las unidades analizadas en dos categorías principales (Tres Plantas por grupo):

- Grupo A: Lodos activados con aireación por difusión. Incluye plantas equipadas con difusores de burbuja fina o gruesa, que permiten una transferencia de oxígeno más homogénea dentro del reactor biológico. Este grupo se caracteriza por la necesidad de sistemas de sopladores, redes de distribución de aire y mantenimiento especializado en difusores, pero también por una alta eficiencia energética y de oxigenación cuando están correctamente diseñados y operados.
- Grupo B: Lodos activados con aireación superficial. Comprende plantas que utilizan aireadores mecánicos superficiales, como turbinas o paletas. Estos equipos, si bien pueden tener menor eficiencia de transferencia de oxígeno, ofrecen la ventaja de una operación más simple, mayor facilidad de mantenimiento y rapidez en la implantación. Su comportamiento será evaluado en relación con su capacidad de cumplir la normativa local y con los costos asociados a su operación.

### **2.4.3 Fuente de datos y variables**

Los registros operativos de Interagua constituirán la fuente primaria de información. Se recopilarán variables relacionadas con:

- Hidráulicas: caudal promedio diario, caudal máximo horario, variación estacional (seca/lluviosa).
- De calidad afluente y efluente: DBO<sub>5</sub>, DQO, sólidos suspendidos totales (SST), NTK, nitratos, fósforo total, pH, temperatura y alcalinidad.
- Datos asumidos en la etapa de diseño como: Kd, Y, Edad de Lodos, dimensiones de las unidades de tratamiento.
- De operación y biomasa: concentración de sólidos suspendidos en el licor mezcla (SSLM), índice volumétrico de lodos (IVL), oxígeno disuelto (DO), relación F/M, tiempo de retención celular (SRT), constante de decaimiento (kdk\_dkd) y coeficiente de rendimiento celular (Y).
- Eficiencia de remoción: porcentaje de reducción de DBO<sub>5</sub>, DQO y SST; cumplimiento de parámetros normativos de vertido.

### **2.4.4 Fuente de datos y variables**

- Recolección y organización de datos: Los registros proporcionados por Interagua serán sistematizados en una base de datos unificada, garantizando la homogeneidad de unidades y la consistencia temporal. Se aplicará un control de calidad para identificar valores atípicos, vacíos de información o inconsistencias.
- Clasificación en grupos tecnológicos: Cada planta será asignada al grupo A o B según el tipo de aireación implementada. Esta clasificación permitirá realizar comparaciones entre tecnologías bajo condiciones locales similares.
- Análisis estadístico descriptivo: Se calcularán medidas de tendencia central y dispersión de los parámetros más relevantes, diferenciando los resultados por grupo tecnológico. Esto permitirá visualizar patrones de comportamiento, variabilidad operativa y estabilidad del sistema.
- Análisis comparativo entre grupos: Se aplicarán pruebas estadísticas (t-Student, ANOVA o equivalentes no paramétricos según la distribución de los datos) para determinar diferencias significativas en parámetros como eficiencia de remoción, consumo energético y estabilidad del lodo.

- Correlación de factores de diseño: Se evaluará la relación entre las variables de diseño (TRH, F/M, SRT, DO, Y, kdk\_dkd) y los indicadores de desempeño de cada planta. Esto permitirá identificar cuáles factores influyen con mayor peso en el rendimiento bajo condiciones locales.
- Propuesta de factores de diseño locales: Con base en el análisis, se establecerán rangos de valores de referencia para cada grupo tecnológico, proponiendo factores de diseño que reflejen las condiciones operativas de Guayaquil.
- Generación de un mecanismo de dimensionamiento rápido: Finalmente, se integrarán los resultados en una herramienta práctica que facilite la estimación preliminar de unidades de proceso en proyectos futuros, diferenciando recomendaciones para sistemas con aireación por difusión y aireación superficial.

#### **2.4.5 Solución a diseñar**

La solución planteada consistió en el desarrollo de un mecanismo técnico para el dimensionamiento rápido de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas en Guayaquil, basado en los datos operativos que proporcionará Interagua. Este mecanismo permitirá generar factores de diseño locales que reflejen la realidad climática, hidráulica y socioeconómica de la ciudad, superando la dependencia exclusiva de manuales internacionales.

El análisis se realizará separando las plantas en dos grandes grupos: aquellas con sistemas de aireación por difusión (burbuja fina o gruesa) y aquellas con aireación superficial (aireadores mecánicos). De este modo, se podrán comparar rendimientos, identificar ventajas y limitaciones de cada tecnología, y establecer parámetros específicos de operación como SRT, F/M, OD, IVL, kd y Y. La revisión se hará dos plantas por cada grupo.

Finalmente, con la información obtenida se construirá una herramienta práctica de uso sencillo, que permita a proyectistas y operadores estimar rápidamente volúmenes de reactores, áreas de clarificación y requerimientos de aireación, asegurando al mismo tiempo rapidez de implantación, eficiencia en la remoción de contaminantes y cumplimiento de la normativa ambiental vigente.

**Tabla 4. Unidades y Variables mas utilizadas en el proceso de Lodos activados.**

Q	Caudal	m <sup>3</sup> /d
So	DBO (Afluente-efluente)	mg/L
V	Volumen de las unidades de proceso	m <sup>3</sup>
X	SSLM	mg/L
Qw,Xw	Caudal de purga/Concentración del lodo de purga.	m <sup>3</sup> /d-mg/L
Que,Xe	Caudal,TSS	m <sup>3</sup> /d-mg/L

#### 2.4.6 Indicadores operativos básicos

- a) Tiempo de retención hidráulica (TRH)

$$\emptyset = V/Q \text{ (dias)}$$

- b) Carga orgánica en el Reactor (CO)

$$CO = Q \cdot So / V \text{ (Kg DBO/m}^3 \cdot d)$$

- c) Eficiencia de remoción

$$\eta = So - Se / So \times 100 \%$$

- d) Relación F/M

$$F/M = Q \cdot So / V \cdot X \text{ (Kg DBO / kg MLSS} \cdot d)$$

#### 2.4.7 Ingeniería Inversa para la obtención de Y (Rendimiento) y Kd (Decaimiento endógeno)

La base es el balance de biomasa en el Reactor:

$$Px = Q (So - Se) - Kd \cdot X \cdot V$$

Donde:

PxP\_xPx Producción neta de sólidos biológicos que sale del sistema (kg/d).  
 Y Rendimiento (kg MLSS / kg DBO removida).  
 Kd Coeficiente de decaimiento (1/d)

Para obtener la producción de biomasa (Px) según los datos disponibles. Lo más recomendable es contar con información de purga y efluente, ya que esto permite calcular los sólidos retirados en el lodo, los que salen en el efluente y la posible acumulación en el reactor; en condiciones estables esta última suele ser despreciable.

#### 2.4.8 Estimación por regresión lineal múltiple

Se estimará los parámetros cinéticos del sistema biológico (el rendimiento celular Y y la constante de decaimiento Kd) usando regresión lineal múltiple con datos de operación de la planta.

- Tasa de remoción de DBO (kg)[Rs].
- Masa de MLSS en el Reactor (kg)[B].
- Producción de Lodos.

$$Px = Y \cdot Rs + (-kd) \cdot B + \mathcal{E}$$

En este proceso se estimarán los parámetros cinéticos del sistema biológico, específicamente el rendimiento celular (Y) y la constante de decaimiento (Kd), aplicando un modelo de regresión lineal múltiple con base en los datos de operación de las plantas. Para ello, se consideran como variables de entrada la tasa de remoción de DBO (Rs) y la masa de sólidos suspendidos volátiles en el reactor (B), con el fin de predecir la producción de lodos (Px).

#### 2.4.9 Edad de lodos y producción de lodos

La edad de lodos o tiempo medio de retención de sólidos (TRC) constituye un parámetro fundamental en el diseño y operación de sistemas de lodos activados, ya que refleja el tiempo promedio que los sólidos biológicos permanecen en el sistema.

Este indicador se calcula a partir de la relación entre la masa total de sólidos en el reactor biológico y la tasa de salida de sólidos, considerando tanto la purga de lodos como los sólidos suspendidos totales (TSS) presentes en el efluente. Matemáticamente, se expresa mediante la siguiente ecuación:

$$\theta = X \cdot V / Q_w \cdot X_w \theta_e \cdot X_e \text{ (días)}.$$

Con el observado, se estimará la producción de lodos y se la verificada con la producción de lodos real.

## **CAPÍTULO 3**

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este capítulo se presentan los datos de diseño y de operación provistos por la operadora Interagua para seis Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas (PTARD), correspondientes al periodo enero–septiembre de 2025.

Las PTARD se agrupan en dos tecnologías de aireación: Planta I-II-III aireación superficial y Planta IV-V-VI aireación difusa.

### 3.1 Parámetros de diseño

Este gráfico muestra la estimación del caudal medio diario (QMD) obtenido mediante la dotación de agua potable, población servida y porcentaje de retorno (80–90%).

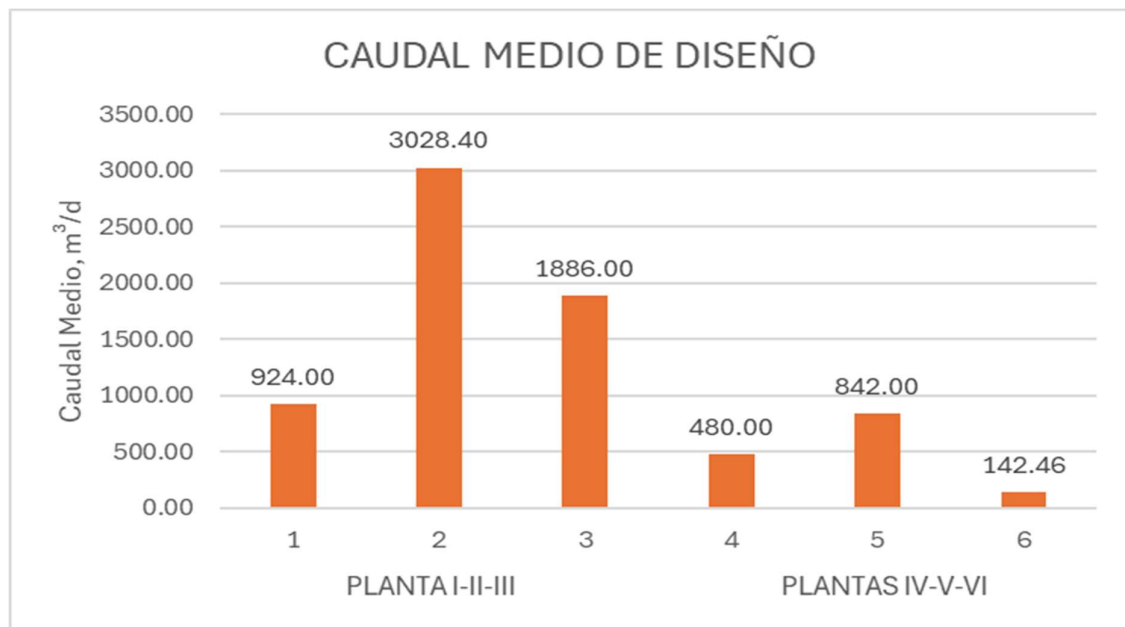
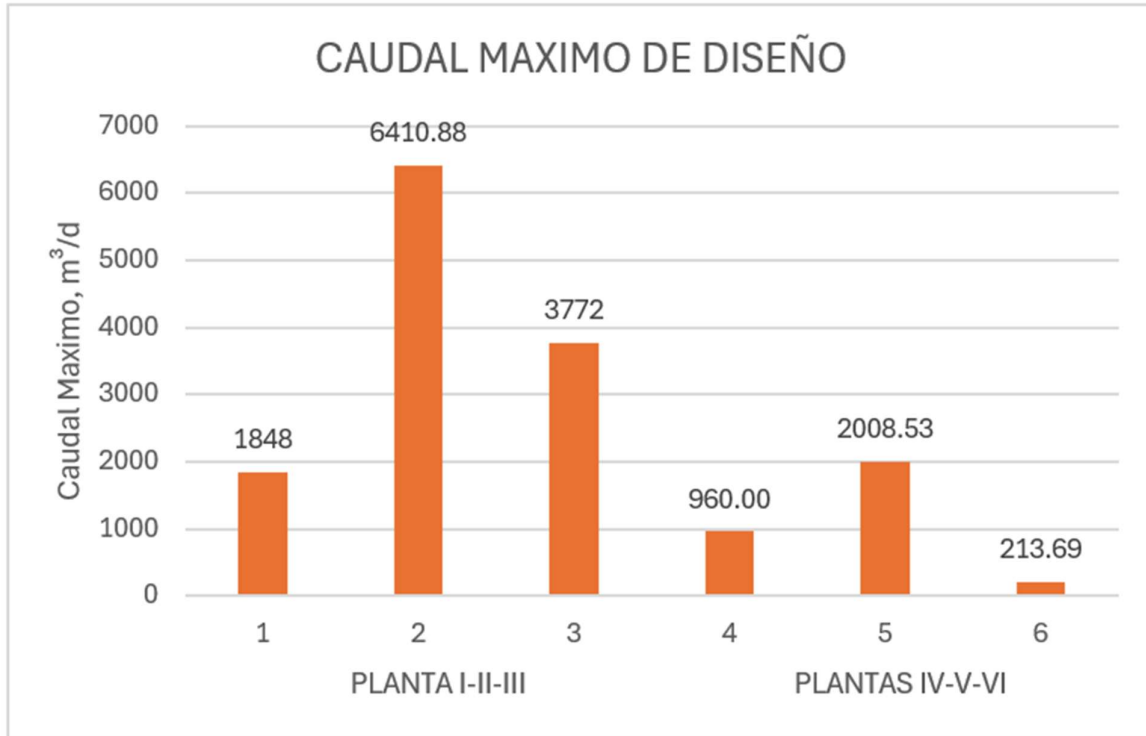


Ilustración II. Caudales medio de diseño.

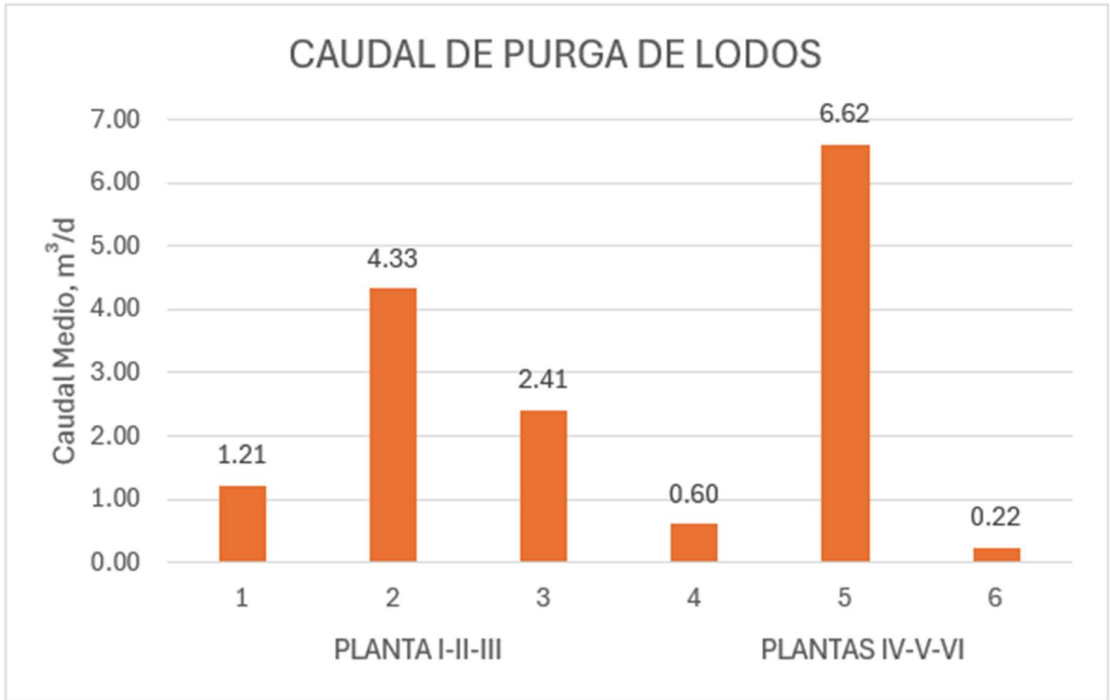
El  $Q_{máxDIS}$ , producto del factor de mayoración y los aportes adicionales por infiltración y conexiones erradas. Este parámetro determina la capacidad hidráulica máxima de las unidades del sistema



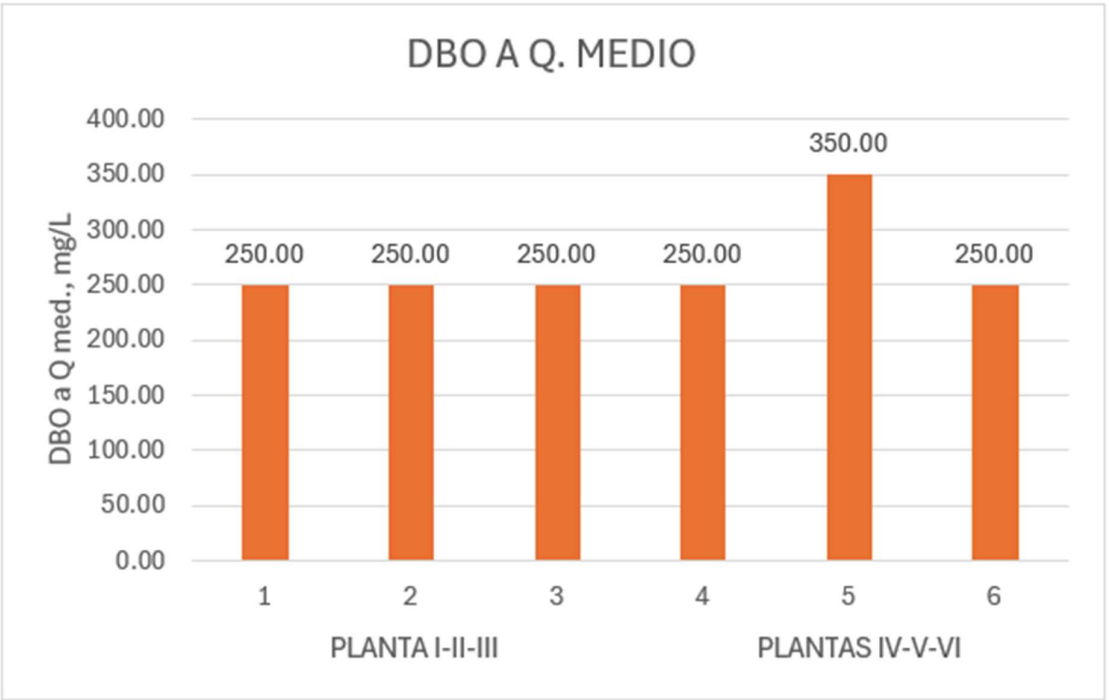
**Ilustración III. Caudal máximo de diseño.**

El flujo de purga de lodos (Ver Ilustración III) que se extrae del reactor biológico para mantener el equilibrio de los Sólidos Suspendidos en el sistema. Durante la operación de plantas de lodos activados, una parte de los microorganismos envejecidos debe retirarse para conservar una edad de lodos ( $\theta_c$ ) adecuada, generalmente mayor a 10 días en aireación prolongada. Con este control de la purga de lodos se regula la estabilidad del sistema biológico y la producción de lodos que posteriormente son enviados a digestión y secado.

La materia orgánica biodegradable en el agua residual (DBO), estimada entre 25 y 350 mg/L para aguas domésticas según la Ilustración IV. Permite visualizar la carga orgánica que debe ser degradada biológicamente y constituye uno de los parámetros fundamentales para dimensionar el reactor aeróbico.

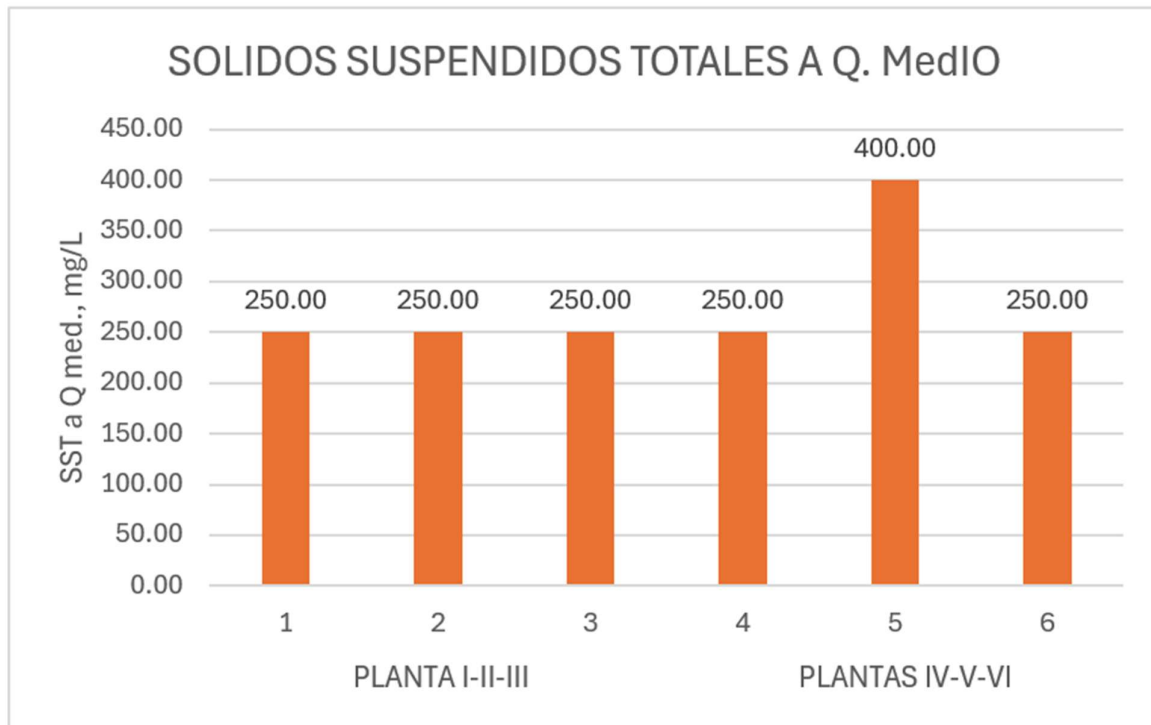


**Ilustración III. Caudal de la purga de Lodos.**



**Ilustración IV. DBO de ingreso de Diseño.**

Esta figura muestra la cantidad de sólidos suspendidos totales (SST) presentes en el agua residual que ingresa al sistema. Estos sólidos influyen en el rendimiento del sedimentador primario y del reactor biológico, donde son reducidos mediante sedimentación y oxidación.



**Ilustración V. Sólidos Suspendidos totales de ingreso a Caudal Medio.**

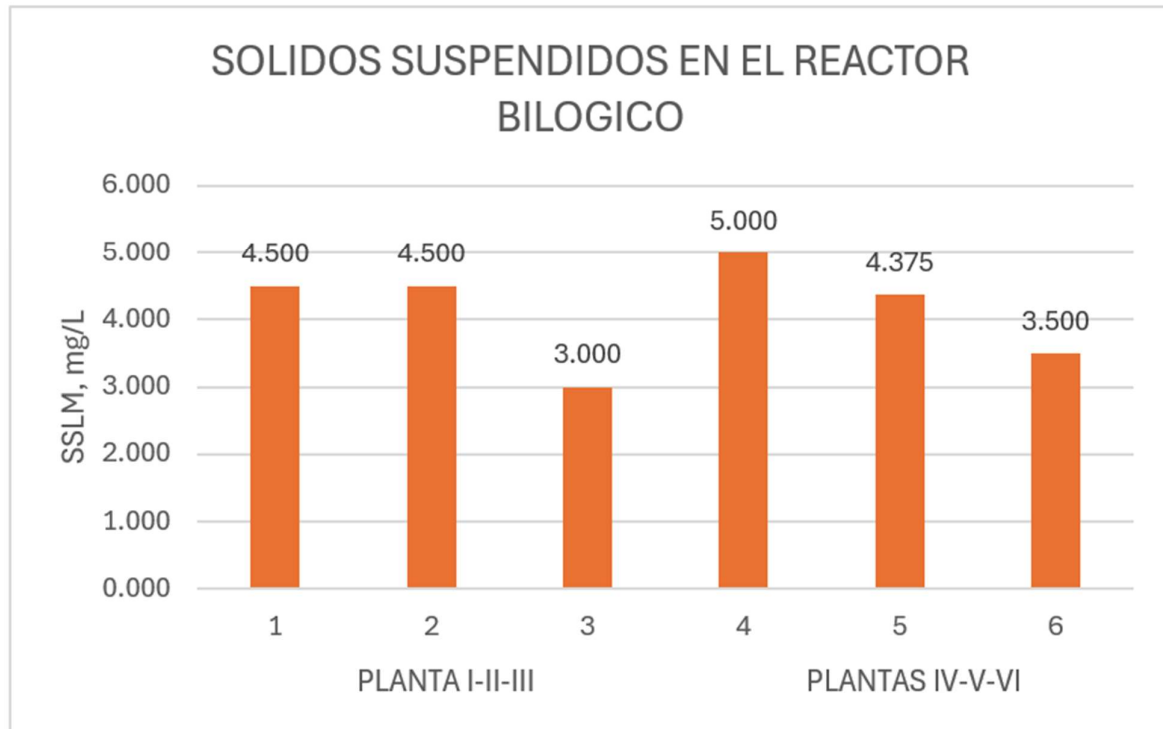
La ilustración V permite identificar la variación del contenido de sólidos en función del caudal medio y evaluar la eficiencia esperada en la remoción física.

Los pH mostrados en los parámetros de diseño se encuentran entre 6-8. El pH influye directamente en la actividad microbiana y la estabilidad del proceso biológico. Valores fuera de este rango pueden inhibir la nitrificación o provocar floculación deficiente.

Los sólidos suspendidos en el reactor (Ilustración VI) muestran variabilidad en el diseño entre plantas: Plantas I y II mantienen 4500 mg/L, mientras que Planta VI opera con apenas 3500 mg/L. Esta diferencia puede influir en el tiempo de retención celular, sedimentabilidad y eficiencia de clarificación, impactando en los parámetros cinéticos

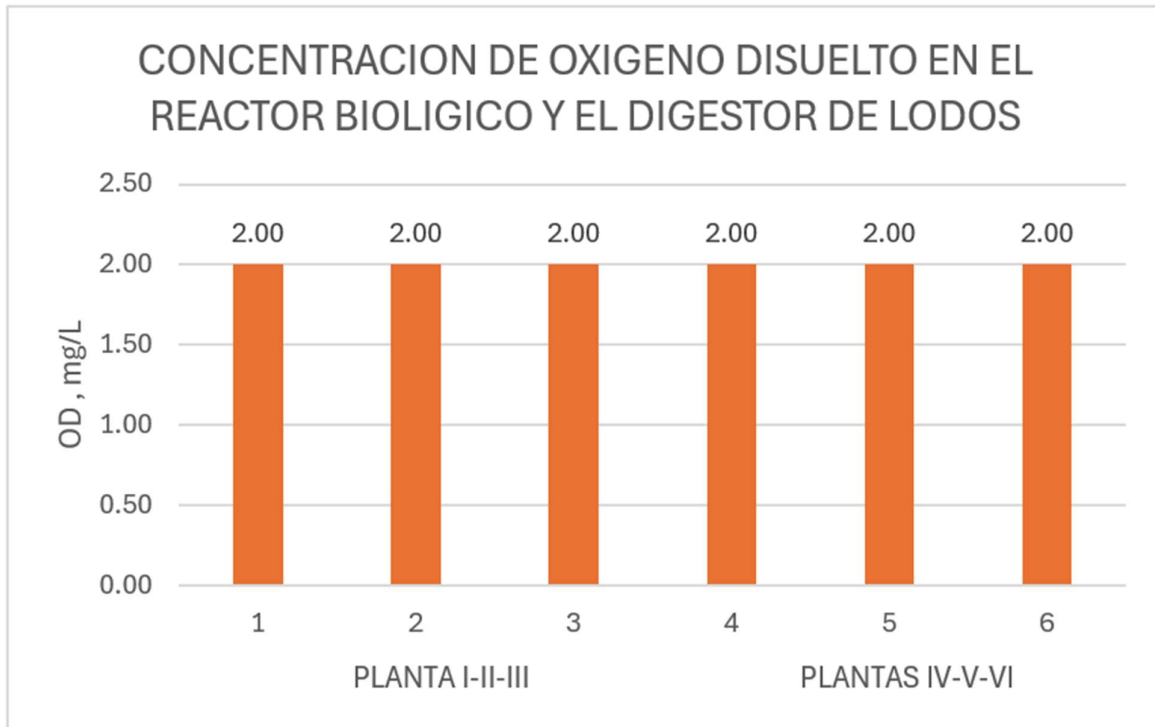
estimados. Gráfico que muestra la concentración de Sólidos Suspendidos en el Licor de Mezcla (SSLM), que representa la biomasa activa en el reactor.

El rango recomendado para sistemas de aireación prolongada es 3.5–4.5 g/L, según la Guía de Diseño. Un control adecuado de este parámetro asegura una relación alimento/microorganismo (F/M) estable y un buen rendimiento en la eliminación de DBO.



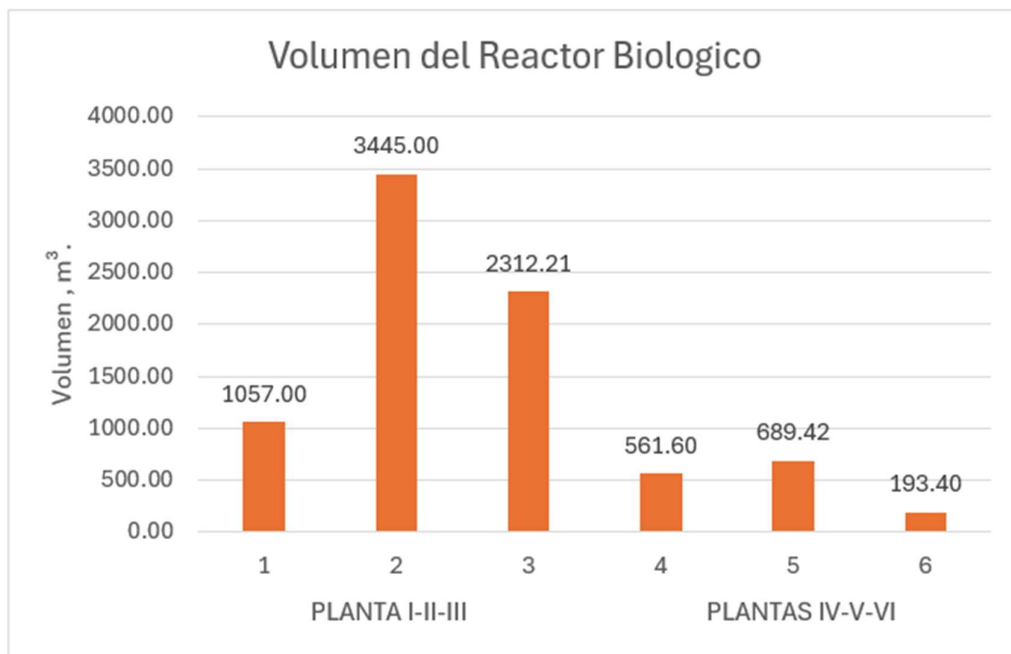
**Ilustración VI. Sólidos Suspendidos en el Reactor Biológico.**

La concentración de oxígeno disuelto (OD) en el reactor biológico mostrados en la Ilustración VII, nos indica que debe mantenerse por encima de 2 mg/L. El oxígeno es indispensable para la respiración de los microorganismos y la degradación de la materia orgánica. En la Ilustración VIII muestra la eficiencia del sistema de aireación y garantiza que el proceso biológico se mantenga en condiciones aerobias controladas.

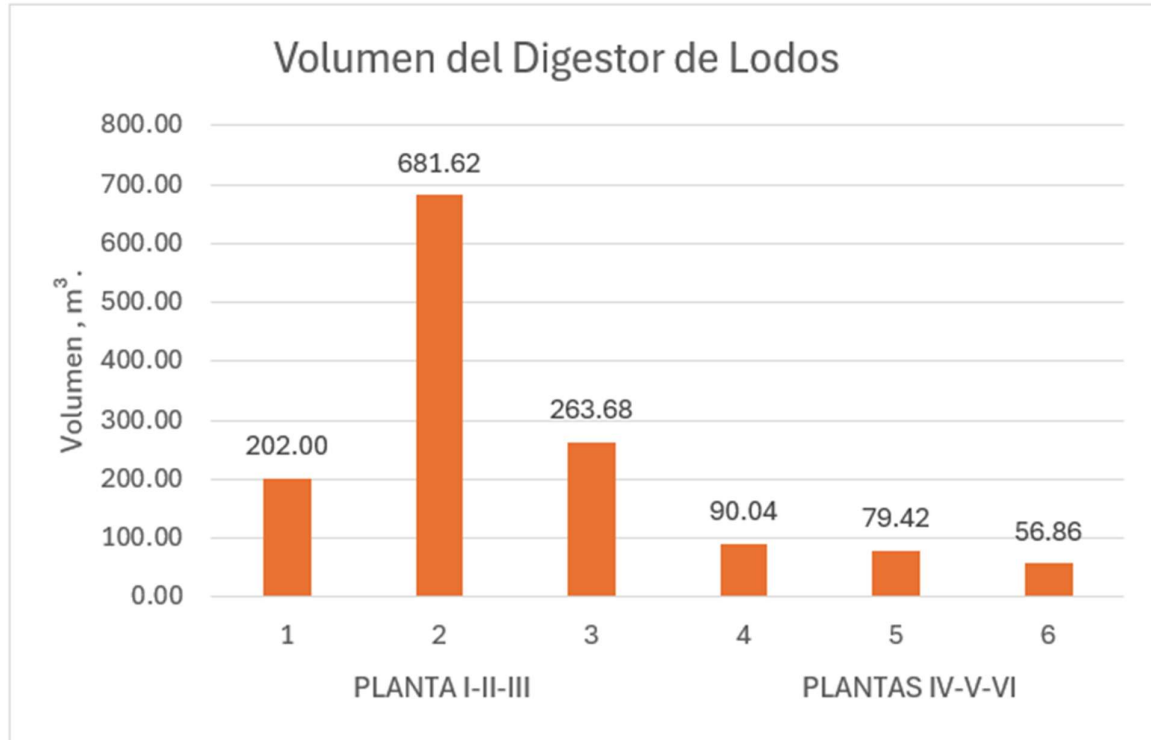


**Ilustración VII. Concentración de oxígeno disuelto esperada en el Reactor Biológico.**

A continuación se muestran los volumens colocados para el Reactor Biologico y el Digestor de Lodos disponibles para cada Planta de Tratamiento.



**Ilustración VIII. Volumen propuesto del Reactor Biológico.**



**Ilustración IX. Volumen propuesto del Digestor de Lodos.**

En esta etapa se reduce la materia orgánica y el volumen de lodo mediante oxidación biológica, antes de pasar a los lechos de secado. La ilustración permite estimar el espacio requerido para el tratamiento de lodos, garantizando su disposición final sanitaria.

El volumen del reactor biológico (Ilustración VIII) guarda una estrecha relación con la carga aplicada y el tiempo de retención hidráulico requerido. Plantas como la II y III muestran volúmenes importantes (3445 m³ y 2312.21 m³ respectivamente), lo que respalda su capacidad para manejar caudales significativos con tiempos de residencia adecuados.

A su vez, los digestores de lodo (Ilustración IX) están correctamente dimensionados para dar tiempo a la estabilización del lodo antes de su disposición final. Esta relación volumétrica es clave para evitar sobrecargas en el sistema biológico y mantener una kd baja.

### 3.2 Parámetros de Operación

Los resultados presentados a continuación fueron proporcionados por la empresa operadora Interagua, encargada de la gestión de las plantas de tratamiento evaluadas durante el período enero–septiembre de 2025.

Esta información permite realizar un análisis detallado del comportamiento operativo real de las plantas bajo condiciones controladas de monitoreo y operación.

**Tabla 5. Eficiencia de remoción de la DBO y SST Planta I.**

<b>DBO</b>			
<b>FECHA DEL MUESTREO</b>	<b>ENTRADA AL SISTEMA DE TRATAMIENTO (mg/L)</b>	<b>SALIDA DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO (mg/L)</b>	<b>EFICIENCIA EN REMOCIÓN</b>
ENERO	143.30	7.50	94.77%
FEBRERO	340.20	12.10	96.44%
MARZO	312.30	8.40	97.31%
ABRIL	259.00	10.80	95.83%
MAYO	280.20	2.30	99.18%
JUNIO	263.70	8.10	96.93%
JULIO	251.60	3.20	98.73%
AGOSTO	307.50	4.60	98.50%
SEPTIEMBRE	178.30	16.10	90.97%
<b>SST</b>			
<b>FECHA DEL MUESTREO</b>	<b>ENTRADA AL SISTEMA DE TRATAMIENTO (mg/L)</b>	<b>SALIDA DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO (mg/L)</b>	<b>EFICIENCIA EN REMOCION</b>
ENERO	48.00	22.00	54.17%
FEBRERO	134.00	164.00	-22.39%
MARZO	144.00	72.00	50.00%
ABRIL	74.00	4.00	94.59%
MAYO	60.00	6.00	90.00%
JUNIO	86.00	2.00	97.67%
JULIO	136.00	8.00	94.12%
AGOSTO	142.00	16.00	88.73%
SEPTIEMBRE	100.00	32.00	68.00%

**Tabla 6. Eficiencia de remoción de la DBO y SST Planta II.**

<b>DBO</b>			
<b>FECHA DEL MUESTREO</b>	<b>ENTRADA AL SISTEMA DE TRATAMIENTO (mg/L)</b>	<b>SALIDA DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO (mg/L)</b>	<b>EFICIENCIA EN REMOCION</b>
ENERO	312.20	4.10	98.69%
FEBRERO	182.90	2.10	98.85%
MARZO	192.80	7.70	96.01%
ABRIL	312.80	10.60	96.61%
MAYO	355.00	16.10	95.46%
JUNIO	430.20	0.00	100.00%
JULIO	306.60	4.30	98.60%
AGOSTO	234.80	6.10	97.40%
SEPTIEMBRE	504.20	7.50	98.51%
<b>SST</b>			
<b>FECHA DEL MUESTREO</b>	<b>ENTRADA AL SISTEMA DE TRATAMIENTO (mg/L)</b>	<b>SALIDA DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO (mg/L)</b>	<b>EFICIENCIA EN REMOCION</b>
ENERO	108.00	8.00	92.59%
FEBRERO	56.00	8.00	85.71%
MARZO	72.00	12.00	83.33%
ABRIL	88.00	4.00	95.45%
MAYO	152.00	14.00	90.79%
JUNIO	180.00	10.00	94.44%
JULIO	228.00	16.00	92.98%
AGOSTO	140.00	38.00	72.86%
SEPTIEMBRE	-	-	-

**Tabla 7. Eficiencia de remoción de la DBO y SST Planta III.**

<b>DBO</b>			
<b>FECHA DEL MUESTREO</b>	<b>ENTRADA AL SISTEMA DE TRATAMIENTO (mg/L)</b>	<b>SALIDA DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO (mg/L)</b>	<b>EFICIENCIA EN REMOCION</b>
ENERO	266.60	10.30	96.14%
FEBRERO	143.10	9.50	93.36%
MARZO	53.50	2.10	96.07%
ABRIL	180.60	37.00	79.51%
MAYO	326.90	4.90	98.50%
JUNIO	271.00	3.20	98.82%
JULIO	312.90	8.30	97.35%
AGOSTO	287.50	1.70	99.41%
SEPTIEMBRE	325.50	4.70	98.56%
<b>SST</b>			
<b>FECHA DEL MUESTREO</b>	<b>ENTRADA AL SISTEMA DE TRATAMIENTO (mg/L)</b>	<b>SALIDA DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO (mg/L)</b>	<b>EFICIENCIA EN REMOCION</b>
ENERO	96.00	18.00	81.25%
FEBRERO	66.00	18.00	72.73%

MARZO	22.00	6.00	72.73%
ABRIL	130.00	6.00	95.38%
MAYO	120.00	6.00	95.00%
JUNIO	118.00	6.00	94.92%
JULIO	168.00	2.00	98.81%
AGOSTO	74.00	6.00	91.89%
SEPTIEMBRE	122.00	6.00	95.08%

**Tabla 8. Eficiencia de remoción de la DBO y SST Planta IV.**

DBO			
FECHA DEL MUESTREO	ENTRADA AL SISTEMA DE TRATAMIENTO (mg/L)	SALIDA DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO (mg/L)	EFICIENCIA EN REMOCIÓN
ENERO	566.50	11.20	98.02%
FEBRERO	155.80	8.10	94.80%
MARZO	164.60	7.90	95.20%
ABRIL	23.90	68.30	-185.77%
MAYO	253.00	63.20	75.02%
JUNIO	263.30	3.30	98.75%
JULIO	337.10	5.60	98.34%
AGOSTO	293.50	4.10	98.60%
SEPTIEMBRE	350.40	19.10	94.55%
SST			
FECHA DEL MUESTREO	ENTRADA AL SISTEMA DE TRATAMIENTO (mg/L)	SALIDA DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO (mg/L)	EFICIENCIA EN REMOCION
ENERO	230.00	26.00	88.70%
FEBRERO	76.00	8.00	89.47%
MARZO	118.00	18.00	84.75%
ABRIL	52.00	24.00	53.85%
MAYO	74.00	146.00	-97.30%
JUNIO	170.00	18.00	89.41%
JULIO	138.00	4.00	97.10%
AGOSTO	132.00	14.00	89.39%
SEPTIEMBRE	182.00	102.00	43.96%

**Tabla 9. Eficiencia de remoción de la DBO y SST Planta V.**

DBO			
FECHA DEL MUESTREO	ENTRADA AL SISTEMA DE TRATAMIENTO (mg/L)	SALIDA DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO (mg/L)	EFICIENCIA EN REMOCION
ENERO	370.30	1.50	99.59%
FEBRERO	155.70	3.80	97.56%
MARZO	173.40	1.70	99.02%
ABRIL	208.20	12.80	93.85%
MAYO	262.00	10.00	96.18%
JUNIO	317.10	8.00	97.48%

JULIO	375.50	7.20	98.08%
AGOSTO	327.90	0.60	99.82%
SEPTIEMBRE	298.10	1.40	99.53%
SST			
FECHA DEL MUESTREO	ENTRADA AL SISTEMA DE TRATAMIENTO (mg/L)	SALIDA DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO (mg/L)	EFICIENCIA EN REMOCION
ENERO	142.00	10.00	92.96%
FEBRERO	18.00	4.00	77.78%
MARZO	48.00	10.00	79.17%
ABRIL	40.00	4.00	90.00%
MAYO	146.00	6.00	95.89%
JUNIO	180.00	62.00	65.56%
JULIO	108.00	20.00	81.48%
AGOSTO	100.00	16.00	84.00%
SEPTIEMBRE			#DIV/0!

**Tabla 10. Eficiencia de remoción de la DBO y SST Planta VI.**

DBO			
FECHA DEL MUESTREO	ENTRADA AL SISTEMA DE TRATAMIENTO (mg/L)	SALIDA DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO (mg/L)	EFICIENCIA EN REMOCIÓN
ENERO	285.50	2.50	99.12%
FEBRERO	270.30	14.90	94.49%
MARZO	173.30	8.20	95.27%
ABRIL	157.20	29.80	81.04%
MAYO	113.20	0.90	99.20%
JUNIO	273.10	1.10	99.60%
JULIO	278.30	6.10	97.81%
AGOSTO	207.50	7.00	96.63%
SEPTIEMBRE	250.40	8.20	96.73%
SST			
FECHA DEL MUESTREO	ENTRADA AL SISTEMA DE TRATAMIENTO (mg/L)	SALIDA DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO (mg/L)	EFICIENCIA EN REMOCION
ENERO	144.00	16.00	88.89%
FEBRERO	110.00	4.00	96.36%
MARZO	56.00	4.00	92.86%
ABRIL	134.00	36.00	73.13%
MAYO	64.00	6.00	90.63%
JUNIO	108.00	2.00	98.15%
JULIO	178.00	4.00	97.75%
AGOSTO	102.00	8.00	92.16%
SEPTIEMBRE	96.00	2.00	97.92%

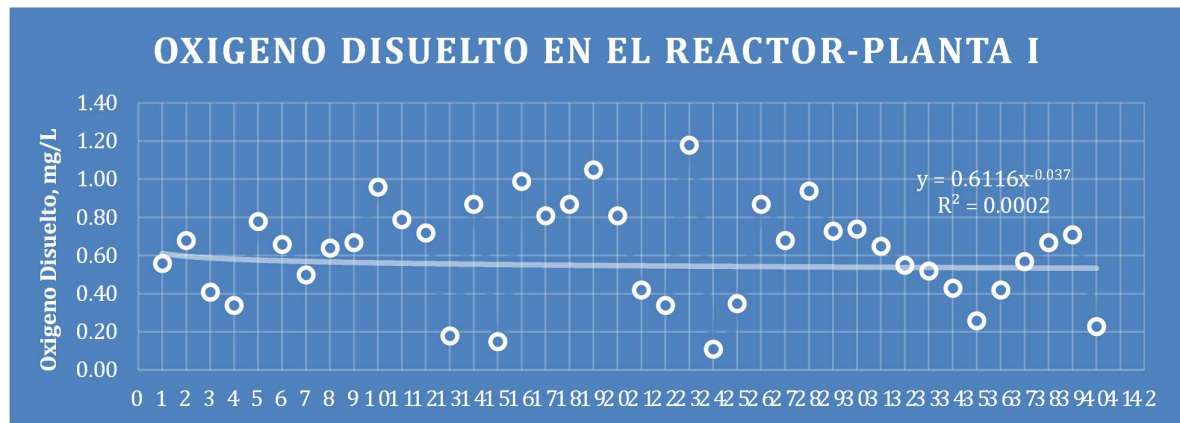
A continuación, se muestran los resultados del seguimiento al oxígeno disuelto (OD) y al índice volumétrico de lodos (IVL) en el reactor biológico de la Planta I, parámetros

fundamentales para evaluar la eficiencia del proceso biológico y la calidad del lodo activado.

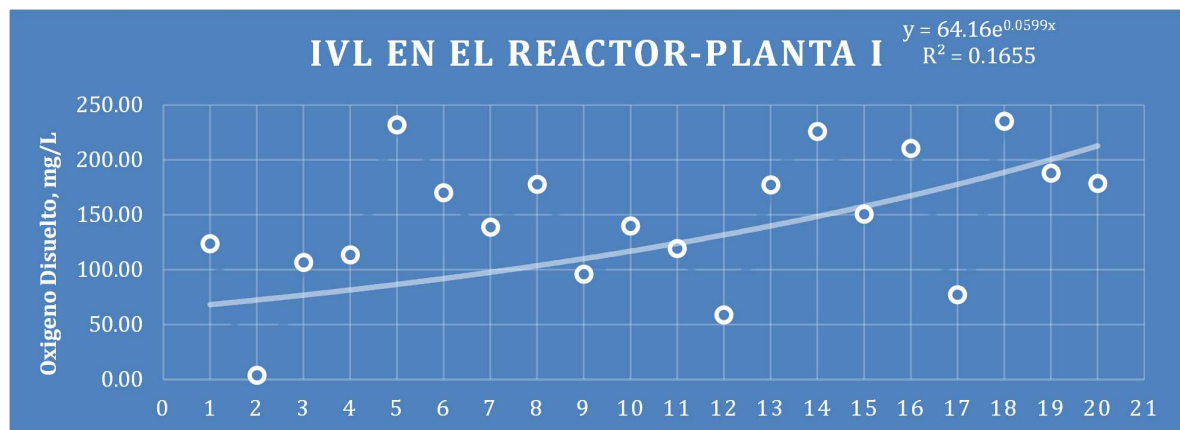
Estas gráficas comparan los **niveles de oxígeno disuelto (OD)** y el **Índice Volumétrico de Lodos (IVL)** en seis plantas analizadas.

- Un **IVL menor a 150 mL/g** indica buena sedimentabilidad.
- Niveles estables de **OD entre 2–4 mg/L** reflejan un proceso aeróbico eficiente.

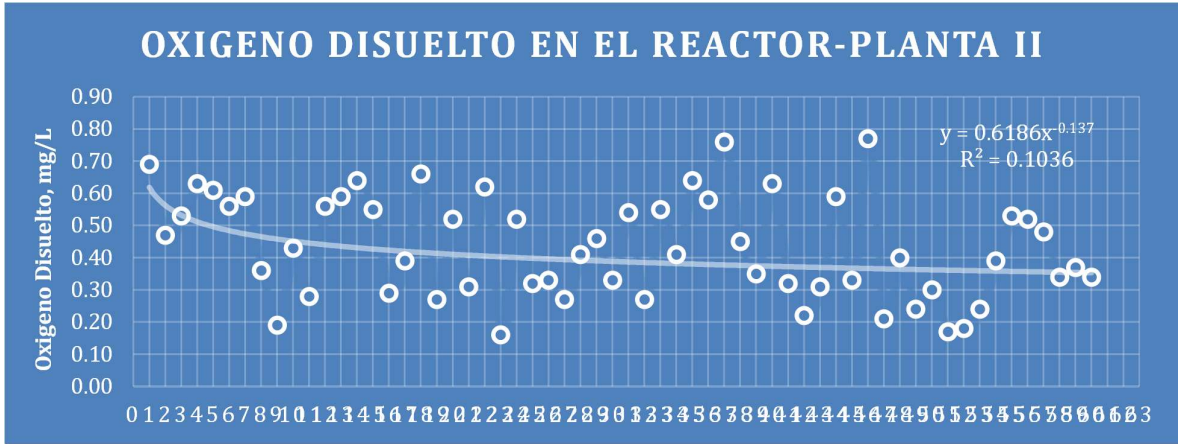
*Estas ilustraciones permiten evaluar la eficiencia de operación de las plantas, identificar sobrecargas o deficiencias de aireación y verificar el comportamiento de los lodos activados.*



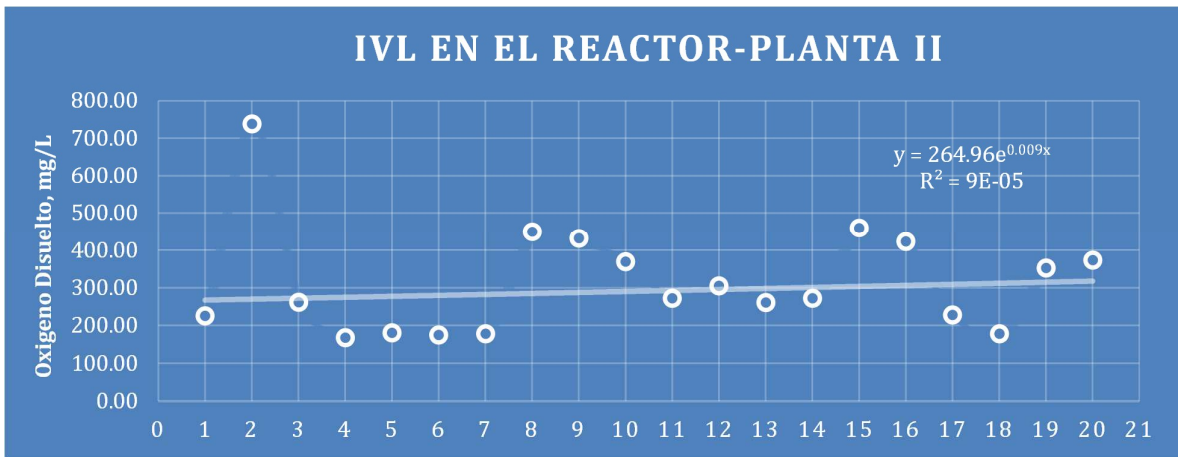
**Ilustración X. Oxígeno disuelto en el Reactor Biológico de la Planta I.**



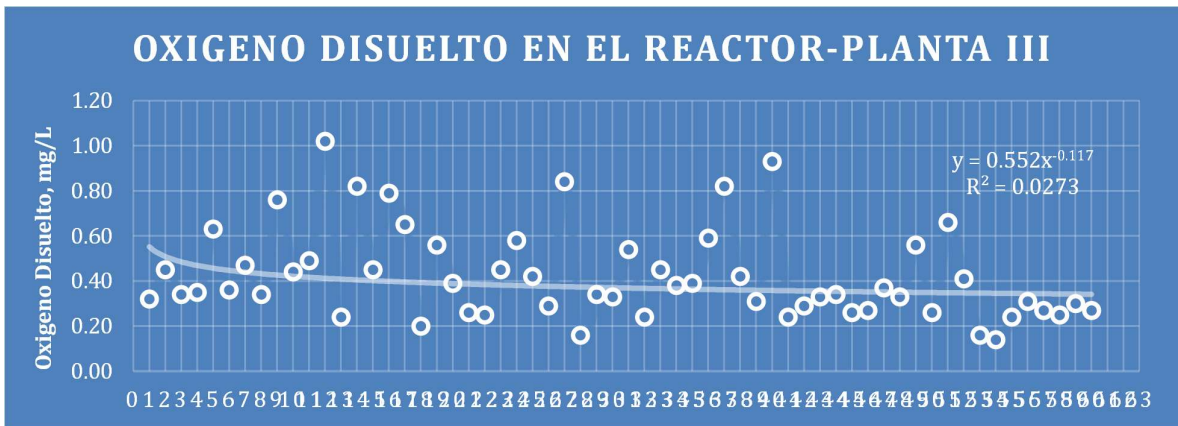
**Ilustración XI. Índice volumétrico del Reactor Biológico de la Planta I.**



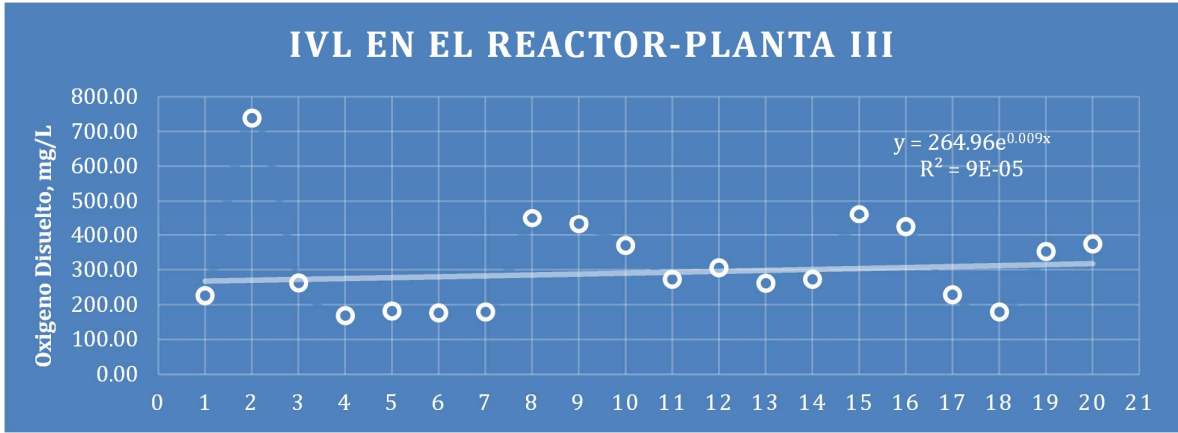
**Ilustración XII. Oxígeno disuelto en el Reactor Biológico de la Planta II.**



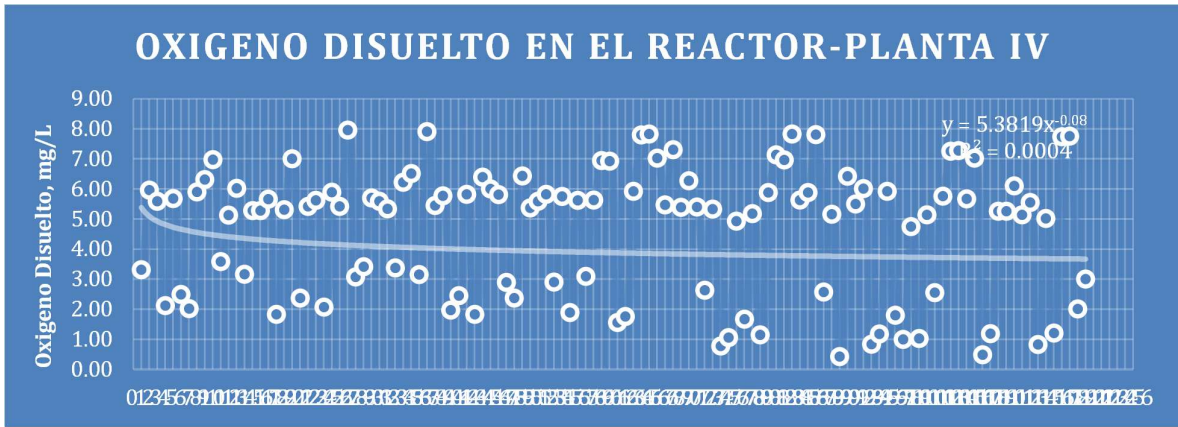
**Ilustración XIII. Índice volumétrico del Reactor Biológico de la Planta II.**



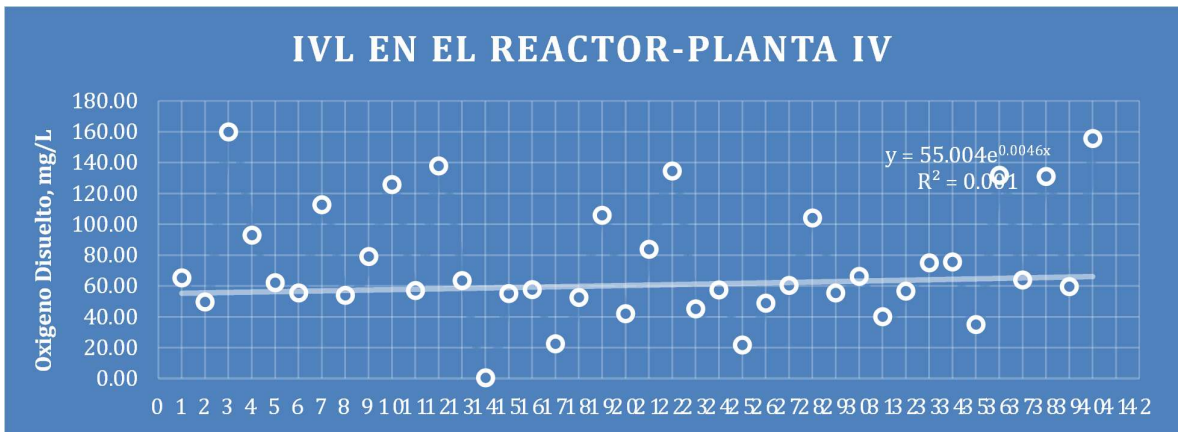
**Ilustración XIV. Oxígeno disuelto en el Reactor Biológico de la Planta III.**



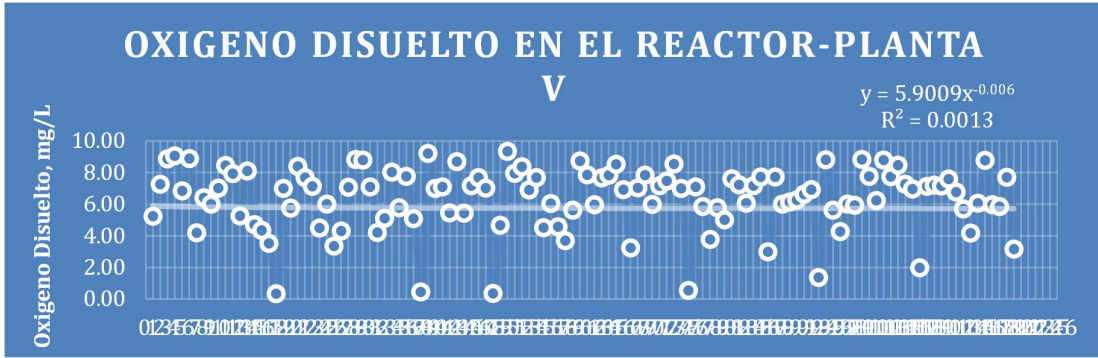
**Ilustración XV. Índice volumétrico del Reactor Biológico de la Planta III.**



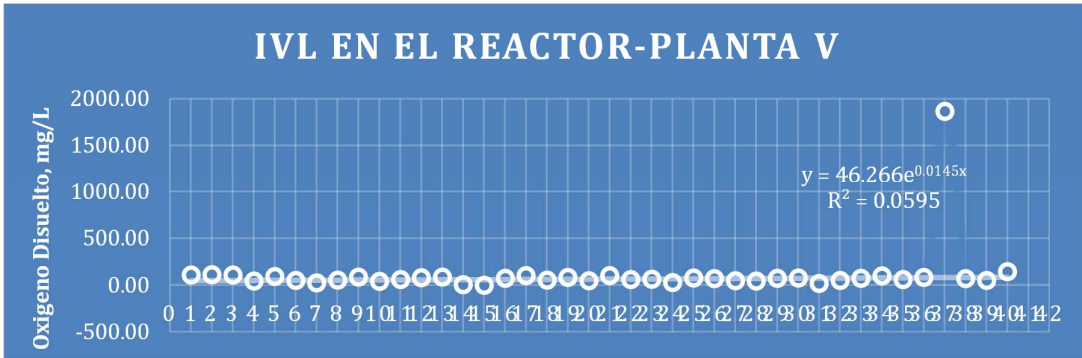
**Ilustración XVI. Oxígeno disuelto en el Reactor Biológico de la Planta IV.**



**Ilustración XVIII. Índice volumétrico del Reactor Biológico de la Planta IV.**



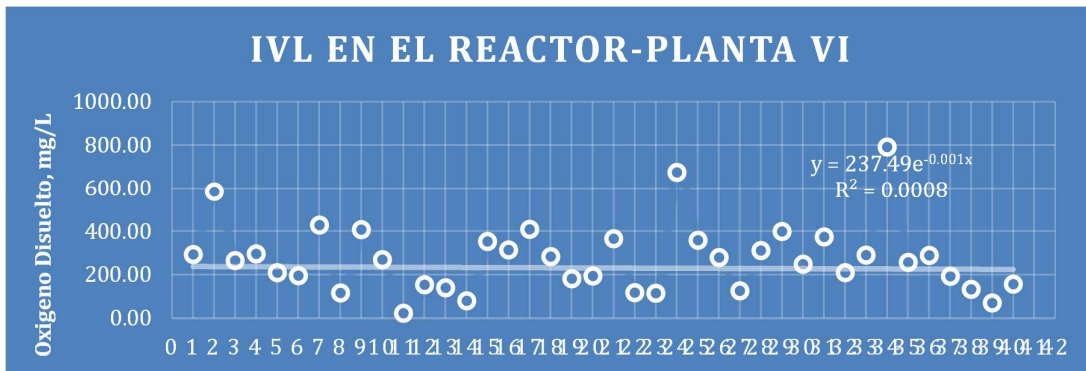
**Ilustración XVII. Oxígeno disuelto en el Reactor Biológico de la Planta V.**



**Ilustración XVIII. Índice volumétrico del Reactor Biológico de la Planta V.**



**Ilustración XIX. Oxígeno disuelto en el Reactor Biológico de la Planta VI.**



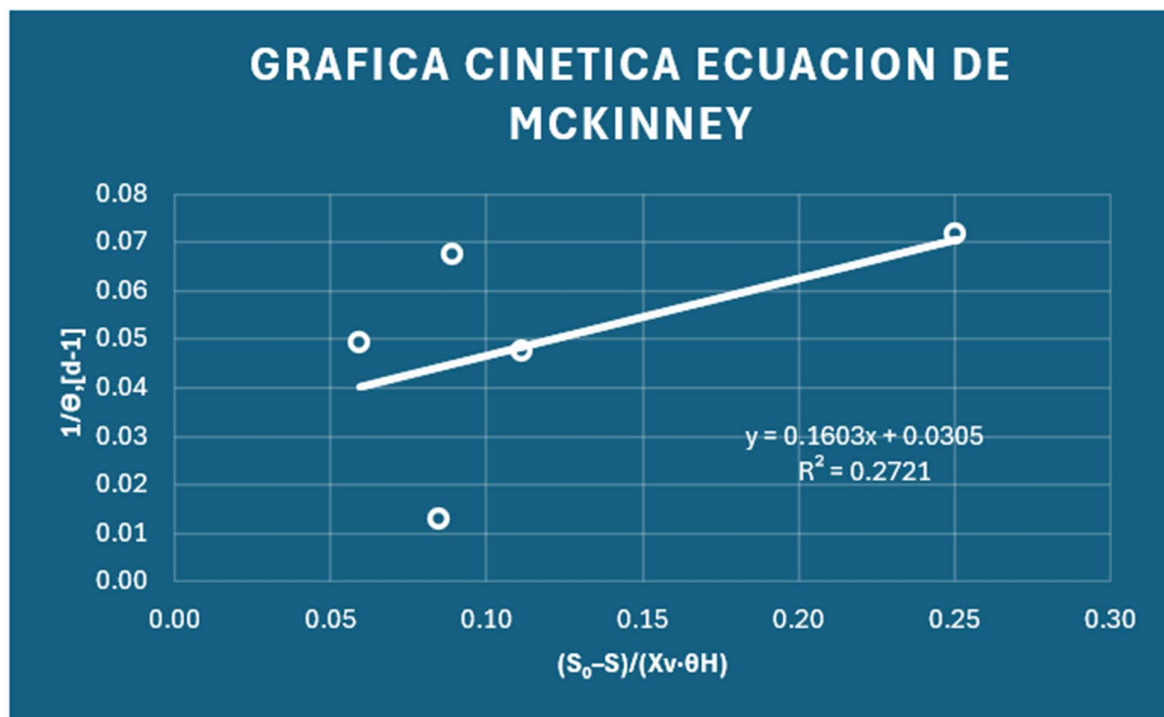
**Ilustración XX. Índice volumétrico del Reactor Biológico de la Planta VI.**

### 3.3 Resultados

Se procedió a realizar según las indicaciones del MetCalf/Eddy y con los datos de operación obtenidos por Interagua, las curvas para la de los parámetros cinéticos de diseño aplicando la ingeniería inversa.

- **Y (rendimiento celular):** cantidad de biomasa generada por unidad de DBO eliminada.
- **Kd (constante de decaimiento):** pérdida de biomasa por respiración endógena. Estos parámetros se obtuvieron para cada planta tipo (I a VI) y constituyen los **factores locales de diseño** que propone el estudio.

*Las ilustraciones muestran la calibración experimental del modelo de lodos activados, adaptado a las condiciones reales de Guayaquil.*



**Ilustración XXI. Tendencia Línea para la obtención de los coeficientes  $y$  y  $K_d$  de la Planta tipo I.**

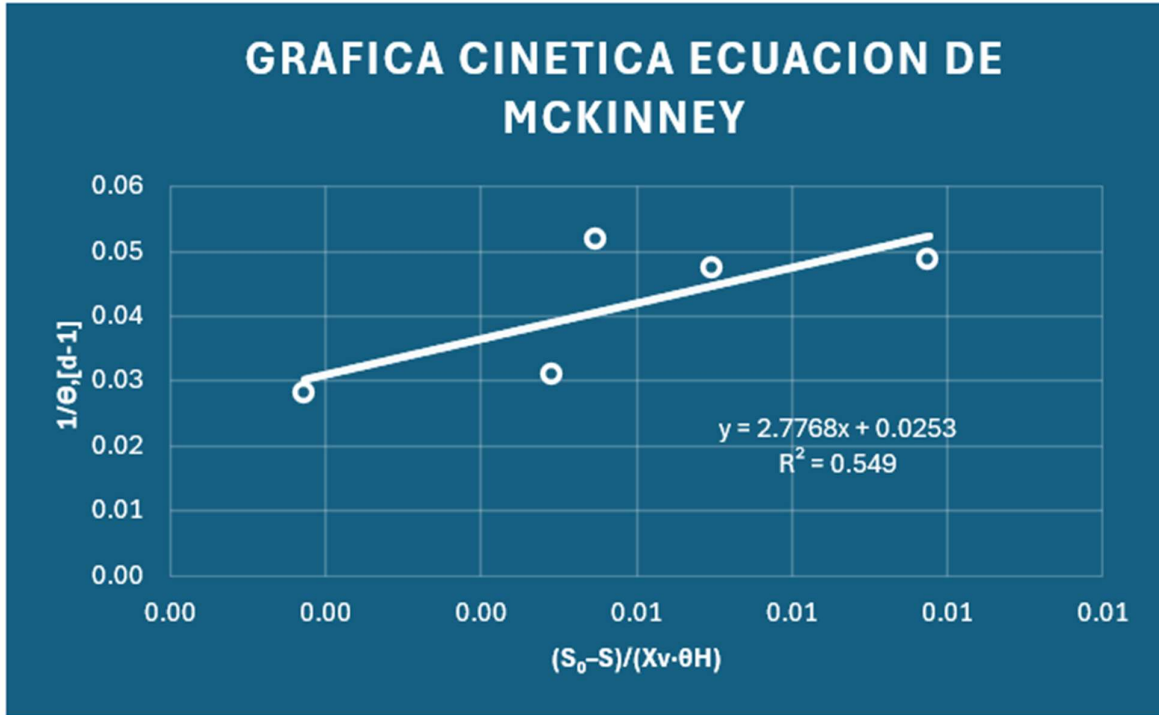


Ilustración XXII. Tendencia Línea para la obtención de los coeficientes  $y$  y  $K_d$  de la Planta tipo II.

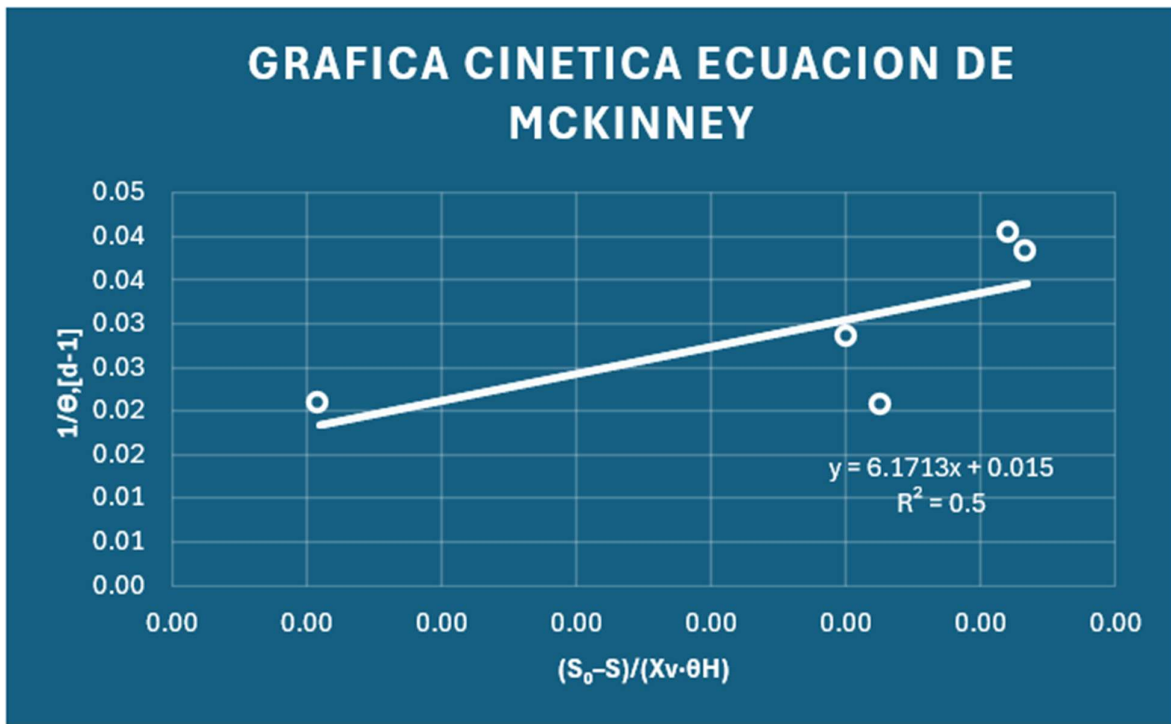


Ilustración XXIII. Tendencia Línea para la obtención de los coeficientes  $y$  y  $K_d$  de la Planta tipo III.

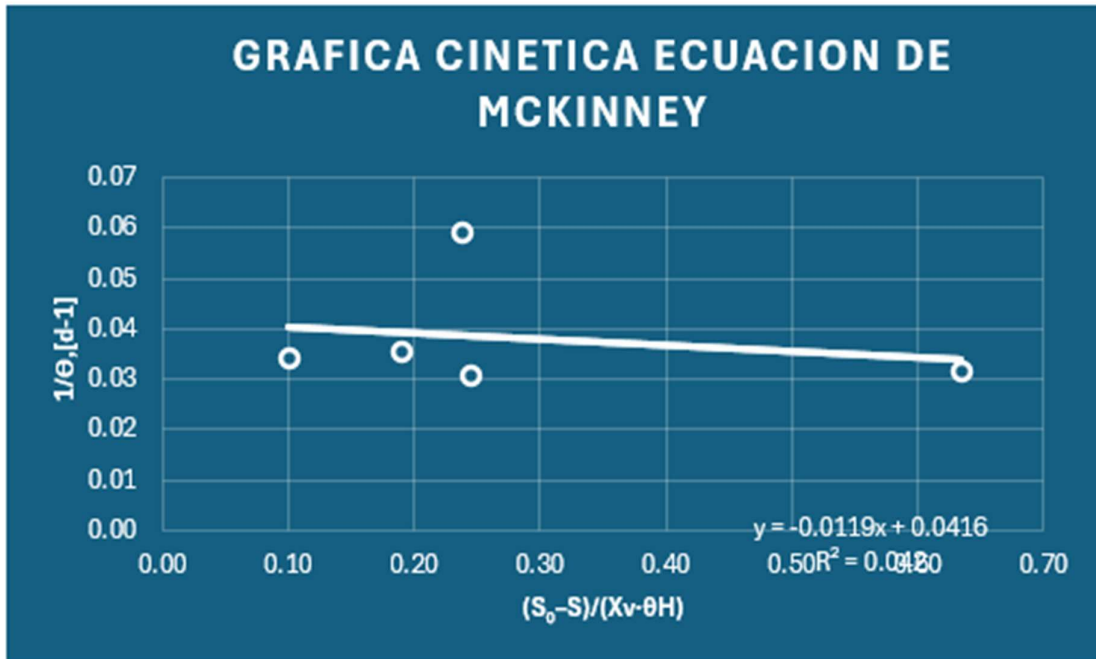


Ilustración XXIV. Tendencia Línea para la obtención de los coeficientes  $y$  y  $K_d$  de la Planta tipo IV.

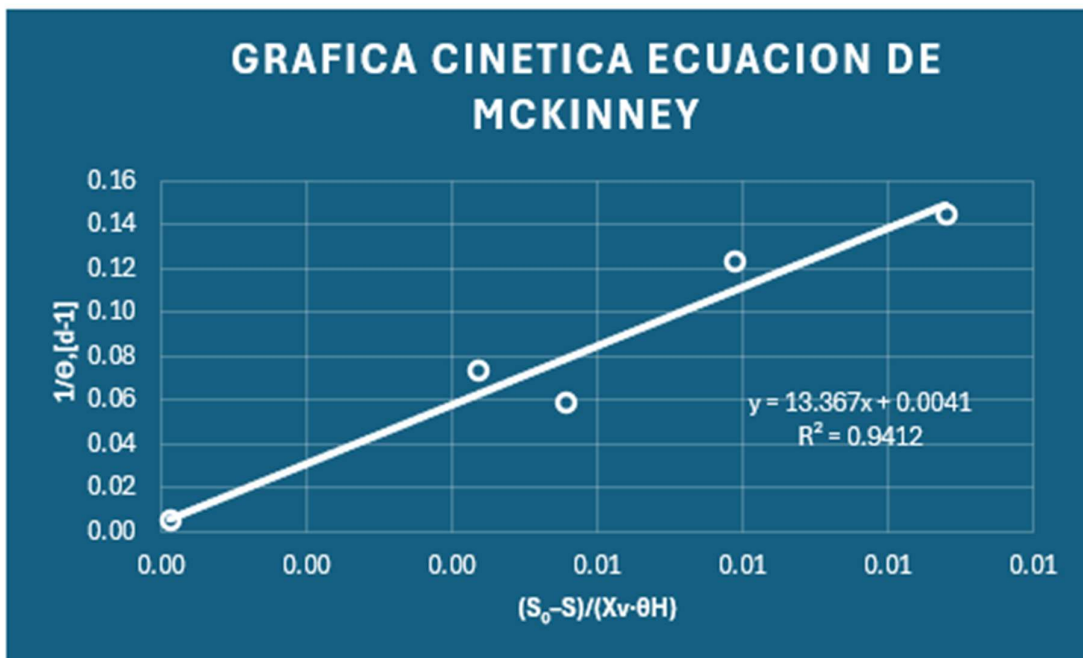


Ilustración XXV. Tendencia Línea para la obtención de los coeficientes  $y$  y  $K_d$  de la Planta tipo V.

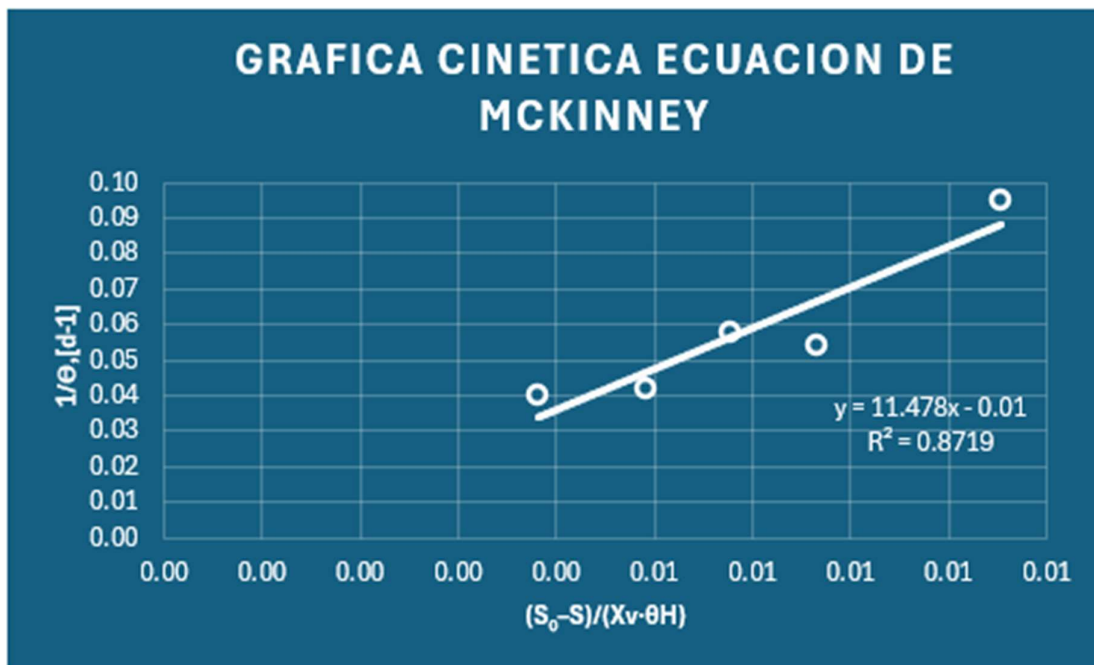


Ilustración XXVI. Tendencia Línea para la obtención de los coeficientes  $y$  y  $K_d$  de la Planta tipo VI.

### 3.4 Análisis de resultados

Tabla 11. Parámetros operativos promedio de las Plantas 1, 2 y 3

Parámetro	Planta 1	Planta 2	Planta 3
DBO entrada promedio (mg/L)	259.12	316.61	240.23
DBO salida promedio (mg/L)	8.90	6.17	9.74
Eficiencia promedio (%)	96.20%	97.77%	94.98%
SST entrada promedio (mg/L)	108.44	115.25*	104.00
SST salida promedio (mg/L)	26.00	13.50*	8.00
Eficiencia SST promedio (%)	78.41%	89.15%*	89.43%

\*Nota: Planta 2 no presenta datos de septiembre.

**Nota.** Los valores representan promedios aritméticos calculados para el periodo enero-septiembre 2025.

**Tabla 12. Parámetros operativos de las Plantas 4, 5 y 6.**

<b>Parámetro</b>	<b>Planta 4</b>	<b>Planta 5</b>	<b>Planta 6</b>
DBO entrada promedio (mg/L)	272.15	265.91	223.89
DBO salida promedio (mg/L)	21.83	5.39	8.40
Eficiencia DBO promedio (%)	87.62%	98.01%	95.76%
SST entrada promedio (mg/L)	130.00	104.89	121.33
SST salida promedio (mg/L)	49.33	16.00	10.67
Eficiencia SST promedio (%)	70.29%	84.41%	92.19%

**Nota.** El promedio de Planta 5 en SST excluye septiembre por falta de datos.

**Tabla 13. Eficiencias de remoción de DBO por planta (Resumen anual).**

<b>Planta</b>	<b>% Remoción Promedio DBO</b>
Planta 1	96.20%
Planta 2	97.77%
Planta 3	94.98%
Planta 4	87.62%
Planta 5	98.01%
Planta 6	95.76%

**Tabla 14. Comparación cinética global entre Plantas 1–6.**

<b>Planta</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>Observaciones</b>
Planta 1	Bajo (<0.30)	Alta dispersión, cinética inestable
Planta 2	Medio (≈0.85)	Operación estable, buen ajuste
Planta 3	Bajo (<0.30)	Variabilidad de carga
Planta 4	Alto (>0.87)	Buen comportamiento lineal
Planta 5	Alto (>0.87)	Mayor estabilidad cinética
Planta 6	Medio-Alto (≈0.80)	Tendencia lineal aceptable

A continuación, se muestran los resultados obtenidos:

Planta	Ecuación	Y	Kd	R <sup>2</sup>
Planta I	$y = 0.1603x + 0.0305$	0.1603	-0.0305	0.2721
Planta II	$y = 2.7768x + 0.0253$	2.7768	-0.0253	0.549
Planta III	$y = -0.0119x + 0.0416$	-0.0119	-0.0416	0.043
Planta IV	$y = 13.367x + 0.0041$	13.367	-0.0041	0.9412
Planta V	$y = 11.478x - 0.0100$	11.478	0.01	0.8719
Planta VI	$y = 2.7768x + 0.0253$	2.7768	-0.0253	0.549

**Ilustración XXVII. Resumen de los Coeficientes cinéticos obtenidos.**

El análisis de los resultados obtenidos muestra una alta dispersión entre los valores de Y y Kd para las seis plantas evaluadas, lo que indica que no existe una correlación uniforme ni una tendencia generalizable entre los sistemas. Las diferencias observadas pueden atribuirse a variaciones operativas, condiciones hidráulicas, cargas orgánicas y eficiencia biológica propias de cada planta.

Si bien algunas plantas (como la IV y la V) presentaron buenos ajustes al modelo de McKinney (R<sup>2</sup> superiores a 0.87), otras, como la I y la III, mostraron bajos coeficientes de determinación, reflejando comportamientos no lineales o inconsistentes en su cinética de crecimiento microbiano.

Por tanto, con los datos disponibles no es posible establecer una guía de diseño o extrapolar parámetros cinéticos representativos para todo el conjunto de plantas, ya que los resultados no siguen un patrón que permita definir valores promedio o intervalos de diseño confiables. Cada planta presenta su propio comportamiento biológico y operacional, lo cual sugiere que los parámetros Y y Kd deben ser determinados individualmente para cada sistema en función de sus condiciones específicas de carga, aireación y retención de biomasa.

## **CAPÍTULO 4**

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1 Conclusiones

- Los resultados obtenidos en la aplicación del modelo cinético de McKinney evidencian una alta variabilidad entre las plantas analizadas, tanto en los valores de rendimiento celular ( $Y$ ) como en los coeficientes de respiración endógena ( $K_d$ ). Esta dispersión demuestra que no existe una relación directa ni un comportamiento uniforme entre los sistemas biológicos evaluados.
- Las diferencias observadas en los coeficientes  $Y$  y  $K_d$  se deben principalmente a las condiciones operativas particulares de cada planta, tales como el tiempo de retención hidráulico, la carga orgánica aplicada, la concentración de biomasa y la eficiencia en los procesos de aireación y purga de lodos.
- A pesar de que algunas plantas, como la IV y la V, presentaron un buen ajuste al modelo ( $R^2 > 0.87$ ), otras mostraron correlaciones muy bajas ( $R^2 < 0.3$ ), lo que evidencia una falta de consistencia en la respuesta cinética de los sistemas. Esto impide definir un modelo predictivo común o un conjunto de parámetros de diseño aplicables de manera general.
- En consecuencia, no es posible establecer una guía de diseño actualizada basada en los parámetros obtenidos, ya que los resultados no siguen una tendencia reproducible ni presentan una relación funcional entre el rendimiento biológico y las condiciones operacionales de las plantas.

### 4.2 Recomendaciones

- Se recomienda que los parámetros cinéticos sean determinados individualmente para cada planta, bajo condiciones de operación controladas, a fin de garantizar que el modelo de McKinney o Michaelis-Menten represente adecuadamente el comportamiento real del sistema.
- Es necesario incrementar la frecuencia de monitoreo y estandarizar los métodos de muestreo, para reducir la dispersión de los datos y mejorar la confiabilidad estadística de las regresiones lineales.

- Se sugiere implementar ensayos a escala piloto o de laboratorio para cada sistema, con el objetivo de obtener curvas cinéticas específicas y valores representativos de  $Y$  y  $K_d$  que puedan servir como base para futuras calibraciones o simulaciones de diseño.
- Finalmente, se recomienda mantener registros operativos uniformes y digitalizados en todas las plantas, con el fin de facilitar el análisis comparativo y establecer bases de datos útiles para la optimización de parámetros de diseño y operación.
- Actualizar el análisis propuesto en este estudio, pero no promediando los valores obtenidos por mes, si no hacer cada dato diario para que la curva de los coeficientes se pueda replantear y obtener nuevos resultados.
- De Momento seguir utilizando la guía de diseño de INTERAGUA, aunque es conservadora, permite cumplir con los parámetros de descarga a un cuerpo de agua dulce.

## BIBLIOGRAFÍA

- Cortacans Torre, J. A. (2014). Fangos activos: Eliminación biológica de nutrientes. Madrid: Garceta Grupo Editorial.
- Corona, F. (2006). Ingeniería conceptual, básica y de detalle. Ingeniería Química. Recuperado el 4 de julio de 2019, de <http://www.ingenieriaquimica.net/noticias/155-ingenieria-conceptual-basica-y-de-detalle>
- Loayza Proaño, S. R., & Campoverde Pineda, L. E. (2015). Determinación de los coeficientes cinéticos de obtención y producción de biomasa para el tratamiento de las aguas residuales de la descarga del Batán por el proceso de lodos activados. Quito: Universidad Central del Ecuador.
- LIPATA – UNAM, G. U. (s. f.). Manual técnico sobre tecnologías biológicas aerobias aplicadas al tratamiento de aguas residuales industriales. Universidad Nacional Autónoma de México.
- OCDE. (2012). Mejores políticas para un desarrollo incluyente. Recuperado de [https://www.oecd.org/mexico/Mexico2012FINALSEP\\_eBook.pdf](https://www.oecd.org/mexico/Mexico2012FINALSEP_eBook.pdf)
- Activated sludge process control calculations. (s/f). Efcnetwork.org. Recuperado el 10 de noviembre de 2025, de <https://efcnetwork.org/wp-content/uploads/2022/05/AS-process-control-pdf.pdf>
- De aguas residuales en una industria cervecera, R. de U. P. de T. (s/f). ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL. Edu.ec. Recuperado el 10 de noviembre de 2025, de [ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas PROYECTO INTEGRADOR Previo la obtención](#)
- González, L. (2007). Estudio comparativo de un proceso biológico convencional y un proceso mediante biomembranas para el tratamiento de aguas residuales urbanas. Universidad de Cádiz. Recuperado de <https://rodin.uca.es/xmlui/bitstream/handle/10498/6556/33727259.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- (S/f). Ethz.ch. Recuperado el 10 de noviembre de 2025, de [Guidelines for Using Activated Sludge Models](#)
- Molina, A., Pozo, M., & Serrano, J. (2018). Agua, saneamiento e higiene: Medición de los ODS en Ecuador. Recuperado de <https://www.ecuadorencifras.gob.ec>
- Ramirez, E. (n.d.). Fundamentos del proceso de lodos activados. Retrieved from <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/018834/MEMORIAS2004/Capitulo1/Fundamentosdelprocesodelodosactivados.pdf>
- Rodríguez Fernández-Alba, A., Letón, P., Roberto, G., García, R., Dorado, M., Susana, V., ... Sanz García, J. M. (2006). Tratamientos avanzados de aguas residuales industriales. Retrieved from [www.madrimasd.org](http://www.madrimasd.org)

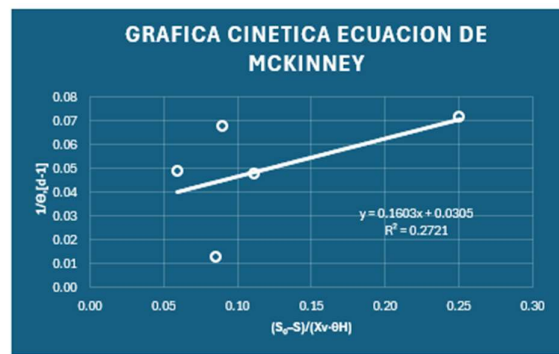
Sperling, M. von. (2007a). Activated Sludge and Aerobic Biofilm Reactors. Retrieved from <https://www.iwapublishing.com/sites/default/files/ebooks/9781780402123.pdf>

Tchobanoglous, G., Burton, F. L. (Franklin L.), & Metcalf & Eddy. (1991). Wastewater engineering: Treatment, disposal, and reuse. McGraw-Hill.

# **ANEXOS**

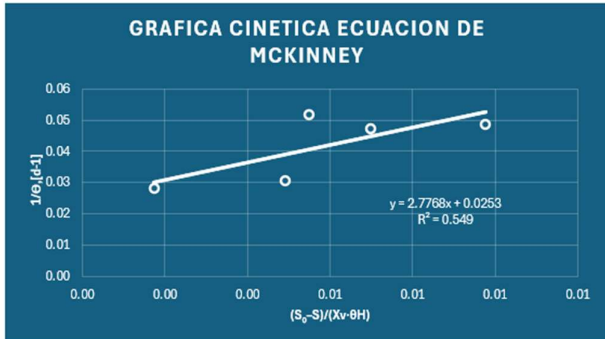
# PLANTA 1

DESCRIPCIÓN	2025				
	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO
CAUDAL [m <sup>3</sup> /d]	763.14	1104.56	892.05	489.15	568.25
DBO DE ENTRADA [mg/L]	143.30	340.20	312.30	259.00	280.20
DBO DE SALIDA [mg/L]	7.50	12.10	8.40	10.80	2.30
SSLM [mg/L]	2220.00	1720.00	4073.00	1516.00	2170.00
%VOLATILES EN EL REACTOR [%]	0.74	0.80	0.74	0.85	0.62
SSVLM [mg SV/L]	1649.46	1367.40	3014.02	1282.54	1338.89
VOLUMEN DEL RECTOR BIOLOGICO [m <sup>3</sup> ]	1057.00	1057.00	1057.00	1057.00	1057.00
SS CL [mg/L]	3828.00	4018.00	1563.00	3521.00	3483.00
%VOLATILES EN LA RECIRCULACION [mg/L%]	0.66	0.77	0.77	0.77	0.57
CONCENTRACION DE SSV EN EL CL [mg SV/L]	5072.10	6147.54	2391.39	5422.34	3993.61
VOLUMEN DEL DIGESTOR DE LODOS [m <sup>3</sup> ]	202.00	202.00	202.00	202.00	202.00
CAUDAL DE PURGA [m <sup>3</sup> /d]	16.83	16.83	16.83	16.83	16.83
EDAD DE LODOS EN EL REACTOR [días]	20.420146	13.966870	79.140827	14.852094	21.051563
TIEMPO DE RETENCION HIDRAULICO [días]	1.39	0.96	1.18	2.16	1.86
F/M [kgDBO5/kgSSTdia]	0.063	0.260	0.087	0.093	0.113
CV[kgDBO5/m <sup>3</sup> /d]	0.103	0.356	0.264	0.120	0.151
S-So[mg/L]	135.80	328.10	303.90	248.20	277.90
X.EDAD DE LODOS [mg SV/d .L]	45332.72	24023.02	322340.59	22515.77	45681.89
X.EDAD DE LODOS/S-So [d]	333.82	73.22	1060.68	90.72	164.38
1/f [mg/L <sup>-1</sup> ]	0.1333	0.0826	0.1190	0.0926	0.4348
1/EDAD DE LODOS [d <sup>-1</sup> ]	0.0490	0.0716	0.0126	0.0673	0.0475
(S <sub>e</sub> -S)/(Xv-θH) [mg DBO/mg SV.dia]	0.0594	0.2507	0.0851	0.0896	0.1116
PX [kg SV/d]	85.3804	103.4836	40.2551	91.2761	67.2257
EDAD DE LODOS [d]	33.2415	22.9667	28.4380	51.8619	44.6424



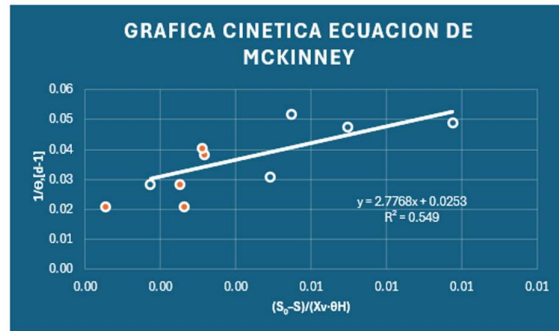
## PLANTA 2

DESCRIPCIÓN	2025				
	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO
CAUDAL [m <sup>3</sup> /d]	484.73	764.93	710.13	1019.43	1160.71
DBO DE ENTRADA [mg/L]	312.20	182.90	192.80	312.80	355.00
DBO DE SALIDA [mg/L]	4.10	2.10	7.70	10.60	16.10
SSLM [mg/L]	1930.00	2930.00	1750.00	2050.00	1630.00
%VOLATILES EN EL REACTOR [%]	0.82	0.77	0.69	0.56	0.67
SSVLM [mg SV/d]	1582.60	2256.10	1207.50	1148.00	1132.30
VOLUMEN DEL RECTOR BIOLÓGICO [m <sup>3</sup> ]	3445.00	3445.00	3445.00	3445.00	3445.00
SS CL [mg/L]	1625.00	2875.00	2285.00	2705.00	1760.00
%VOLATILES EN LA RECIRCULACIÓN [mg/L%]	0.91	0.67	0.83	0.61	0.95
CONCENTRACIÓN DE SSV EN EL CL [mg SV/L]	2357.50	3852.50	3793.10	3300.10	3344.00
VOLUMEN DEL DIGESTOR DE LODOS [m <sup>3</sup> ]	681.62	681.62	681.62	681.62	681.62
CAUDAL DE PURGA [m <sup>3</sup> /d]	56.80	56.80	56.80	56.80	56.80
EDAD DE LODOS EN EL REACTOR [d]	32.454473	35.517619	19.307276	21.098080	20.536356
TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRAULICO [d]	7.11	4.50	4.85	3.38	2.97
F/M [kgDBO5/kgSST/dia]	0.028	0.018	0.033	0.081	0.106
CV[kgDBO5/m <sup>3</sup> /d]	0.044	0.041	0.040	0.093	0.120
S-S <sub>0</sub> [mg/L]	308.10	180.80	185.10	302.20	338.90
X.EDAD DE LODOS [mg SV/d]	62637.13	104066.62	33787.73	43251.06	34706.44
X.EDAD DE LODOS/S-S <sub>0</sub> [d]	203.30	575.59	182.54	143.12	102.41
1/[mg/L·d]	0.2439	0.4762	0.1299	0.0943	0.0621
1/EDAD DE LODOS [d <sup>-1</sup> ]	0.0308	0.0282	0.0518	0.0474	0.0487
(S <sub>0</sub> -S)/(Xv·θH) [mg DBO/mg SV·dia]	0.0049	0.0017	0.0055	0.0070	0.0098
PX [kg SV/d]	167.9903	218.8284	215.4544	187.4512	183.3448
EDAD DE LODOS [d]	170.5632	108.0798	116.4294	81.0934	71.2323



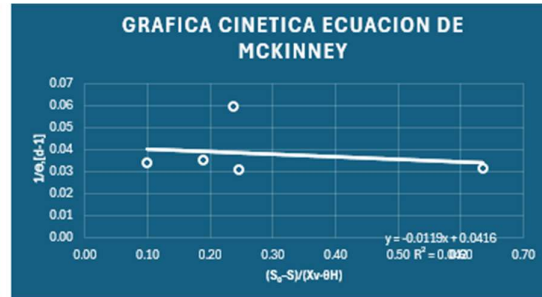
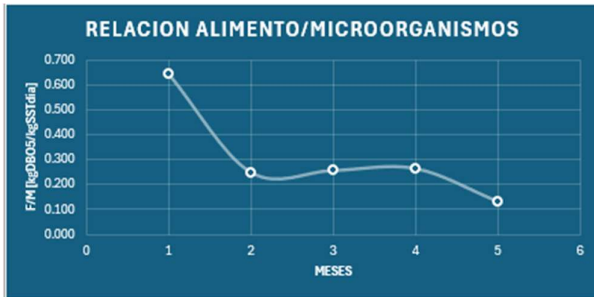
### PLANTA 3

DESCRIPCIÓN	2025				
	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO
CAUDAL [m³/d]	804.86	1446.50	1555.04	1224.55	707.32
DBO DE ENTRADA [mg/L]	266.60	143.10	53.50	180.60	326.90
DBO DE SALIDA [mg/L]	10.30	9.50	2.10	37.00	4.90
SSLM [mg/L]	3090.00	1740.00	1960.00	1630.00	2530.00
%VOLATILES EN EL REACTOR [%]	0.58	0.72	0.76	0.78	0.69
SSVLM [mg SV/L]	1732.20	1252.80	1483.60	1271.40	1745.70
VOLUMEN DEL RECTOR BIOLÓGICO [m³]	2312.21	2312.21	2312.21	2312.21	2312.21
SS CL [mg/L]	3960.00	3810.00	2370.00	2440.00	2920.00
%VOLATILES EN LA RECIRCULACIÓN [mg/L %]	0.91	0.70	0.69	0.78	0.65
CONCENTRACION DE SSV EN EL CL [mg SV/L]	7207.20	5334.00	3270.60	3806.40	3796.00
VOLUMEN DEL DIGESTOR DE LODOS [m³]	263.68	263.68	263.68	263.68	263.68
CAUDAL DE PURGA [m³/d]	21.97	21.97	21.97	21.97	21.97
EDAD DE LODOS EN EL REACTOR [dias]	26.166837	24.714969	47.926263	35.147878	48.392130
TIEMPO DE RETENCION HIDRAULICO [dias]	2.87	1.60	1.49	1.89	3.27
F/M [kgDBO5/kgSSTdia]	0.052	0.071	0.024	0.075	0.057
CV [kgDBO5/m³/d]	0.093	0.090	0.036	0.096	0.100
S-So [mg/L]	256.30	133.60	51.40	143.60	322.00
X.EDAD DE LODOS [mg SV/d .L]	80855.53	43004.05	93935.47	57291.04	122432.09
X.EDAD DE LODOS/S-So [d]	315.47	321.89	1827.54	398.96	380.22
1/θ [mg/L <sup>-1</sup> ]	0.0971	0.1053	0.4762	0.0270	0.2041
1/θ.EDAD DE LODOS [d <sup>-1</sup> ]	0.0382	0.0405	0.0209	0.0285	0.0207
(S <sub>e</sub> -S)/(X <sub>v</sub> θH) [mg DBO/mg SV.dia]	0.0032	0.0031	0.0005	0.0025	0.0026
PX [kg SV/d]	158.3662	117.2058	71.8660	83.6393	83.4108
EDAD DE LODOS [d]	68.9474	38.3637	35.6859	45.3171	78.4554



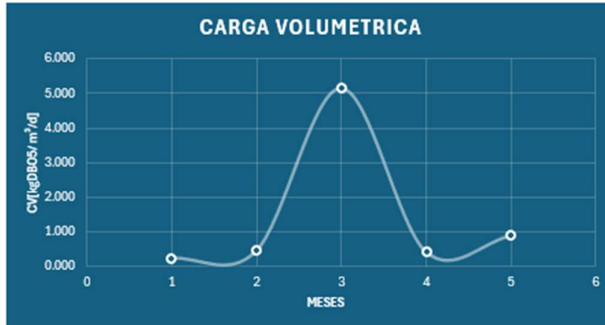
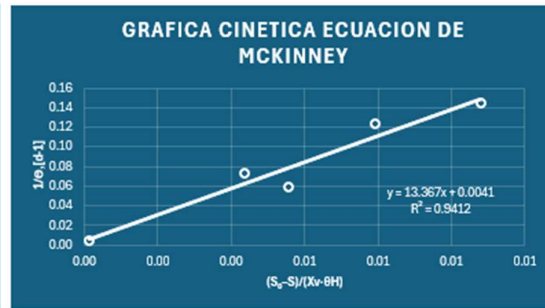
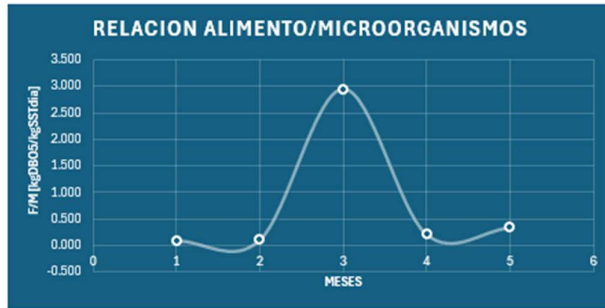
## PLANTA 4

DESCRIPCIÓN	2025				
	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO
CAUDAL [m³/d]	1028.09	879.83	1054.32	1016.86	620.50
DBO DE ENTRADA [mg/L]	566.55	155.80	164.60	239.00	253.00
DBO DE SALIDA [mg/L]	11.20	8.10	7.90	68.30	63.20
SSLM [mg/L]	2390.00	1475.00	1875.00	2295.00	2990.00
%VOLATILES EN EL REACTOR [%]	0.67	0.66	0.64	0.71	0.70
SSVLM [mg SV/L]	1601.30	973.50	1200.00	1629.45	2093.00
VOLUMEN DEL RECTOR BIOLÓGICO [m³]	561.60	561.60	561.60	561.60	561.60
SS CL [mg/L]	2700.00	3180.00	1980.00	3140.00	4300.00
%VOLATILES EN LA RECIRCULACION [mg/L %]	0.70	0.68	0.70	0.69	0.62
CONCENTRACION DE SSV EN EL CL [mg SV/L]	3780.00	4324.80	2772.00	4333.20	5332.00
VOLUMEN DEL DIGESTOR DE LODOS [m³]	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00
CAUDAL DE PURGA [m³/d]	7.50	7.50	7.50	7.50	7.50
EDAD DE LODOS EN EL REACTOR [días]	31.720990	16.855272	32.415584	28.157762	29.393068
TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRAULICO [días]	0.55	0.64	0.53	0.55	0.91
FIM [kgDBO5/kgSS d/a]	0.648	0.251	0.258	0.266	0.134
CV [kgDBO5/m³ d]	1.037	0.244	0.309	0.433	0.280
S-S0 [mg/L]	555.35	147.70	156.70	170.70	189.80
X.EDAD DE LODOS [mg SV/d L]	75813.17	24861.53	60779.22	64622.06	87885.27
X.EDAD DE LODOS-S0 [d]	136.51	168.32	387.87	378.57	463.04
Y [mg L⁻¹]	0.0893	0.1235	0.1266	0.0146	0.0158
Y.EDAD DE LODOS [d⁻¹]	0.0315	0.0593	0.0308	0.0355	0.0340
(S₀-S)/(Xv·θH) [mg DBO⁵/mg SV·día]	0.6349	0.2377	0.2452	0.1897	0.1002
PX [kg SV/d]	28.3500	32.4360	20.7900	32.4990	39.9900
EDAD DE LODOS [d]	13.1101	15.3193	12.7840	13.2549	21.7218



## PLANTA 6

DESCRIPCIÓN	2025				
	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO
CAUDAL [m³/d]	438.59	1976.83	20433.62	1401.58	2317.80
DBO DE ENTRADA [mg/L]	370.30	155.70	173.40	208.20	262.00
DBO DE SALIDA [mg/L]	1.50	3.80	1.70	12.80	10.00
SSLM [mg/L]	3900.00	5970.00	2290.00	3050.00	4240.00
%VOLATILES EN EL REACTOR [%]	0.61	0.66	0.76	0.62	0.61
SSVLM [mg SV/L]	2379.00	3940.20	1740.40	1891.00	2586.40
VOLUMEN DEL RECTOR BIOLÓGICO [m³]	689.42	689.42	689.42	689.42	689.42
SS CL [mg/L]	21435.00	2770.00	29020.00	33760.00	30865.00
%VOLATILES EN LA RECIRCULACION [mg/L %]	0.34	0.37	0.45	0.36	0.32
CONCENTRACION DE SSV EN EL CL [mg SV/L]	14575.80	2049.80	26118.00	24307.20	19753.60
VOLUMEN DEL DIGESTOR DE LODOS [m³]	79.42	79.42	79.42	79.42	79.42
CAUDAL DE PURGA [m³/d]	6.62	6.62	6.62	6.62	6.62
EDAD DE LODOS EN EL REACTOR [dias]	17.001893	200.235935	6.941357	8.103858	13.639067
TIEMPO DE RETENCION HIDRAULICO [dias]	1.57	0.35	0.03	0.49	0.30
F/M [kg DBO <sub>5</sub> /kg SSV dia]	0.099	0.113	2.953	0.224	0.341
CV [kg DBO <sub>5</sub> /m³ dia]	0.236	0.446	5.139	0.423	0.881
S-S <sub>0</sub> [mg/L]	368.80	151.90	171.70	195.40	252.00
X.EDAD DE LODOS [mg SV/d .L]	66307.38	1195408.53	15895.71	24716.77	57829.65
X.EDAD DE LODOS/S-S <sub>0</sub> [d]	179.79	7869.71	92.58	126.49	229.48
Y [mg/L <sup>-1</sup> ]	0.6667	0.2632	0.5882	0.0781	0.1000
Y.EDAD DE LODOS [d <sup>-1</sup> ]	0.0588	0.0050	0.1441	0.1234	0.0733
(S <sub>v</sub> -S)/(X <sub>v</sub> eH) [mg DBO <sub>5</sub> /mg SV.dia]	0.0056	0.0001	0.0108	0.0079	0.0044
PX [kg SV/d]	96.4675	13.5663	172.8576	160.8732	130.7359
EDAD DE LODOS [d]	37.7256	8.3700	0.8097	11.8053	7.1387



## PLANTA 6

DESCRIPCIÓN	2025				
	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO
CAUDAL [m³/d]	67.82	167.29	187.20	145.78	121.47
DBO DE ENTRADA [mg/L]	285.50	270.30	173.30	157.20	113.20
DBO DE SALIDA [mg/L]	2.50	14.90	8.20	29.80	0.90
SSLM [mg/L]	2980.00	2095.00	1670.00	1100.00	1250.00
%VOLATILES EN EL REACTOR [%]	0.77	0.73	0.73	0.70	0.76
SSVLM [mg SV/L]	2294.60	1529.35	1219.10	770.00	950.00
VOLUMEN DEL RECTOR BIOLÓGICO [m³]	193.40	193.40	193.40	193.40	193.40
SS CL [mg/L]	2680.00	2430.00	1960.00	900.00	2360.00
%VOLATILES EN LA RECIRCULACION [mg/L %]	0.70	0.70	0.74	0.74	0.78
CONCENTRACION DE SSV EN EL CL [mg SV/L]	3752.00	3402.00	2900.80	1332.00	3681.60
VOLUMEN DEL DIGESTOR DE LODOS [m³]	56.86	56.86	56.86	56.86	56.86
CAUDAL DE PURGA [m³/d]	4.74	4.74	4.74	4.74	4.74
EDAD DE LODOS EN EL REACTOR [días]	24.961749	18.348621	17.153486	23.594858	10.532170
TIEMPO DE RETENCION HIDRAULICO [días]	2.85	1.16	1.03	1.33	1.59
F/M [kg DBO5/kg SST.día]	0.044	0.153	0.138	0.154	0.075
CV [kg DBO5/m³.d]	0.100	0.234	0.168	0.118	0.071
S-So [mg/L]	283.00	255.40	165.10	127.40	112.30
X.EDAD DE LODOS [mg SV/d.L]	74386.01	38440.36	28646.32	25954.34	13165.21
X.EDAD DE LODOS/S-So [d]	262.85	150.51	173.51	203.72	117.23
Yf [mg/L.¹]	0.4000	0.0671	0.1220	0.0336	1.1111
Y.EDAD DE LODOS [d.¹]	0.0401	0.0545	0.0583	0.0424	0.0949
(Sv-Sl)/(Xv.eH) [mg DBO/mg SV.dia]	0.0038	0.0066	0.0058	0.0049	0.0085
PX [kg SV/d]	17.7782	16.1198	13.7450	6.3115	17.4446
EDAD DE LODOS [d]	68.4400	27.7458	24.7949	31.8398	38.2119

