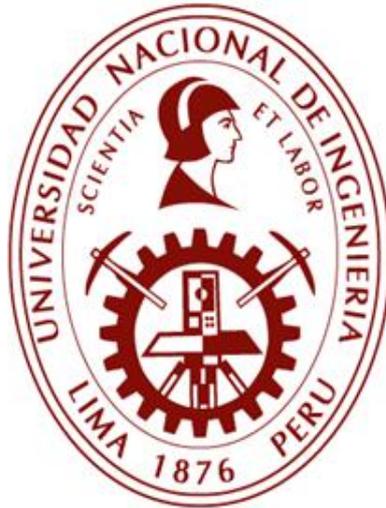


UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL



TESIS

**“REMOCIÓN DE COLIFORMES TERMOTOLERANTES DEL
EFLUENTE DEL REACTOR UASB UTILIZANDO OZONO”**

PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO SANITARIO

ELABORADO POR:

LEONARDO ANYOSA TORRES

ASESOR:

ING. OTTO BRUNO ROSASCO GERKES

LIMA – PERÚ

2019

DEDICATORIA

A mis padres, por sus consejos y apoyo en cada etapa de mi vida.

A mis hermanos por enseñarme a ser mejor persona. A mis amigos por los ánimos de superación. A mis compañeros de estudio, por el apoyo académico que me prestaron.

AGRADECIMIENTO

Agradezco principalmente ha:

- A mi padre, Santos Anyosa Luján, que gracias a sus enseñanzas he podido afianzar mis conocimientos en la especialidad.
- Al ingeniero Otto Rosasco Gerkes, que como mi asesor, desempeñó un rol importante en el desarrollo de esta investigación. Siempre afianzando en mí, el espíritu de un buen investigador.
- A la Dra. R. E. Yaya Beas, que gracias a sus indicaciones me permitió direccionar adecuadamente la presentación de mi investigación.
- A Anthony Poquioma Diego, egresado de la especialidad de ingeniería sanitaria. El cual, con su ayuda me permitió realizar los monitoreos y ensayos en el laboratorio.
- A Cesar Martín Rocky del Río Ricce y Jonatan Rojas Torres, quienes con sus experiencias como tesisistas me orientaron y enseñaron en mi investigación.
- A Noé Pérez Ayala, quien amablemente me orientó y ayudó en los inicios de mi investigación, gracias a sus aportes científicos en México.
- Al personal técnico y administrativo del laboratorio de investigación del agua de la Facultad de Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional de Ingeniería por su colaboración.

RESUMEN

La presente tesis de investigación trató de evaluar principalmente la eficiencia de remoción de los coliformes termotolerantes, cuando el agua residual del efluente de un reactor UASB es sometido a un tratamiento con gas ozono. Así como evaluar el cumplimiento del requerimiento microbiológico del Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM, referido al ítem de coliformes termotolerantes para el riego no restringido (parques públicos y áreas verdes) de la categoría 3.

La metodología de trabajo empleado, consistió en el monitoreo del tratamiento de muestras extraídas del efluente del reactor UASB, durante 5 meses, que fueron sometidas al tratamiento con tres dosificaciones de gas ozono. Y se midieron los parámetros físicos, químicos, bioquímicos y microbiológicos, antes y después del tratamiento. Finalmente se evaluó dicho tratamiento y la transferencia de gas ozono al agua residual durante el tratamiento en el reactor tipo Bach que se usó para la investigación.

La investigación obtuvo como resultados el tiempo de tratamiento necesario y la dosificación adecuada del gas ozono para las muestras del efluente del reactor UASB. Para lograr reducir la carga bacteriana según lo establecido en el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM, referido al ítem de coliformes termotolerantes para el riego no restringido (parques públicos y áreas verdes) de la categoría 3.

ABSTRACT

This research thesis is about the evaluating of the removal efficiency of thermotolerant coliforms when the residual water of the UASB reactor effluent was treated with ozone gas. As well as to evaluate the fulfillment of the microbiological requirement of the Supreme Decree N ° 004-2017-MINAM, referred to the item of thermotolerant coliform for the unrestricted irrigation (public parks and green areas) of the category 3.

The work methodology employed consisted of monitoring the treatment of samples extracted from the UASB reactor effluent, for 4 months. These samples were treated with ozone. And the physical, chemical, biochemical and microbiology parameters were measured before and after the treatment. Finally, this treatment was evaluated and the capacity of transference of ozone gas to waste water during the treatment in the Bach reactor, used in the investigation.

The investigation obtained as a result the time necessary for the treatment and the adequate dosage of the ozone for the UASB reactor effluent samples. All it for to reduce the bacterial load according to the provisions of Supreme Decree N ° 004-2017-MINAM, referring to the thermotolerant coliform item for unrestricted irrigation (public parks and green areas) of category 3.

PROLOGO

La presente investigación, tesis para optar el título profesional de ingeniero sanitario titulado: “REMOCIÓN DE COLIFORMES TERMOTOLERANTES DEL EFLUENTE DEL REACTOR UASB UTILIZANDO OZONO”. Tiene como objetivo evaluar la eficiencia de remoción de coliformes termotolerantes presentes en el afluente del reactor UASB mediante una oxidación química, con ozono, en tres dosificaciones de este gas. Utilizando para ello un reactor tipo Batch.

En los 12 capítulos presentados en la tesis se desarrollan diferentes puntos, detallados a continuación.

En el primer capítulo se presenta una introducción, el contexto, antecedentes, hipótesis y justificación en el que se desarrolló la investigación. Así mismo se da a conocer la identificación y formulación del problema. En el segundo y tercer capítulo se introduce los aspectos teóricos, definiciones de los términos utilizados y el aspecto legal en la que se fundamenta y desarrolla la investigación respectivamente. En el cuarto y quinto capítulo se muestran los objetivos que se plantearon al inicio de la experimentación así también materiales y métodos utilizados en su desarrollo. En el sexto y séptimo capítulo se presentan los resultados y su discusión respectivamente. En el octavo, noveno y décimo capítulo se muestran las conclusiones, observaciones y recomendaciones respectivas para la investigación realizada.

En los dos últimos capítulos se tiene la bibliografía y los anexos los cuales muestran las referencias de libros, documentos y/o recursos web así como tablas de los monitoreos, cálculos respectivamente utilizados para la elaboración de la investigación.

CAPITULO I: INTRODUCCIÓN.....	1
I.1.INTRODUCCIÓN.....	1
I.2.IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA.....	2
I.3.FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	2
I.4.ANTECEDENTES.....	2
I.5.HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN.....	4
I.6.JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	4
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO.....	5
II.1. AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS.....	5
II.1.1. COLIFORMES TERMOTOLERANTES.....	9
II.1.2. CONTAMINACIÓN POR COLIFORMES TERMOTOLERANTES.....	10
II.2. OXIDACIÓN QUÍMICA AVANZADA.....	11
II.3. GAS OZONO Y SUS APLICACIONES EN TRATAMIENTOS DE AGUAS RESIDUALES.....	14
II.3.1. PROCESO DE COLIFORMES TERMOTOLERANTES.....	22
II.4. LÍMITES DE EXPOSICIÓN AL GAS OZONO EN SERES HUMANOS.....	23
CAPITULO III: MARCO LEGAL.....	25
III.1.MARCO LEGAL.....	25
CAPITULO IV: OBJETIVOS.....	28
IV.1.OBJETIVO PRINCIPAL.....	28

IV.1.1.OBJETIVOS SECUNDARIOS.....	28
CAPITULO V: MATERIALES Y METODOS.....	29
V.1. UBICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	29
V.2. DESCRIPCIÓN DEL REACTOR DE TRATAMIENTO CON OZONO.....	30
V.3. ETAPAS DE INVESTIGACIÓN EN EL LABORATORIO.....	32
V.4. MATERIALES, EQUIPOS E INSUMOS UTILIZADOS EN LA INVESTIGACIÓN.....	33
V.5. PARÁMETROS EVALUADOS.....	35
V.5.1 PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS.....	35
V.5.2 PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS.....	35
V.5.3 PARÁMETROS BIOQUÍMICOS.....	35
V.5.4 OTROS PARÁMETROS.....	36
V.6. PUNTOS DE MONITOREOS, FRECUENCIA DE MONITOREO Y CONDICIONES DE MONITOREO DE PARÁMETROS.....	36
V.7. CRONOGRAMA DE MONITOREOS DE LABORATORIO.....	37
V.8. MÉTODOS ANALÍTICOS UTILIZADOS.....	39
V.8.1. ANÁLISIS FÍSICOS QUÍMICOS.....	39
V.8.1.1. TEMPERATURA.....	39
V.8.1.2. PH.....	39
V.8.1.3. OXÍGENO DISUELTO.....	39
V.8.1.4.CONDUCTIVIDAD.....	39
V.8.1.5. TURBIEDAD.....	39

V.8.1.6. SÓLIDOS TOTALES.....	39
V.8.1.7. SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES.....	40
V.8.1.8. SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES.....	40
V.8.1.9. SÓLIDOS SEDIMENTABLES.....	40
V.8.2. ANÁLISIS BIOQUÍMICOS.....	40
V.8.2.1. DEMANDA BIOLÓGICA DE OXÍGENO.....	40
V.8.3. ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS.....	40
V.8.2.2. COLIFORMES TERMOTOLERANTES (Procedimiento de filtro de membrana).....	40
V.8.2.2. COLIFORMES TERMOTOLERANTES (Procedimiento de tubos múltiples).....	40
V.8.4. OTROS ANÁLISIS.....	41
V.8.4.1. YODOMETRÍA (Transferencia de gas ozono al agua residual durante el proceso de ozonización).....	41
CAPITULO VI: RESULTADOS.....	42
CAPITULO VII: DISCUSIÓN.....	46
VII.1. TEMPERATURA.....	46
VII.2. PH.....	48
VII.3. OXÍGENO DISUELTO.....	50
VII.4. CONDUCTIVIDAD.....	52
VII.5. TURBIEDAD.....	53
VII.6. SÓLIDOS.....	55
VII.7. COLIFORMES TERMOTOLERANTES.....	58
VII.8. DBO.....	60

VII.9. TRANSFERENCIA DE GAS OZONO AL AGUA RESIDUAL DURANTE EL PROCESO DE OZONIZACIÓN	62
VII.10. ACERCA DEL CUMPLIMIENTO DEL MARCO LEGAL.....	63
CAPITULO VIII: CONCLUSIONES.....	65
CAPITULO IX: OBSERVACIONES.....	68
CAPITULO X: RECOMEDACIONES.....	69
CAPITULO XI: BIBLIOGRAFÍA.....	71
CAPITULO XII: ANEXOS.....	74

CAPITULO I: INTRODUCCIÓN

I.1. INTRODUCCIÓN

Para cumplir con los diferentes parámetros contemplados en los estándares de calidad ambiental para el agua (Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM), existen múltiples métodos de tratamiento de las aguas hoy en día. Incluso estas aguas pueden ser aguas residuales de origen doméstico o industrial. Las cuales requieren de técnicas más avanzadas para lograr cumplir los ECA propuestos.

Actualmente el rápido crecimiento poblacional trae consigo el aumento de la demanda del agua para diferentes usos. Ya sean estos poblacional, agrícola, recreacional, etc. Las nuevas políticas de Estado hacen referencia a la reutilización de las aguas residuales. Por ello esta tesis de investigación basa su propósito, en buscar una alternativa de tratamiento de las aguas residuales domésticas, para su reaprovechamiento. Principalmente en el riego de áreas verdes.

La presente investigación aborda una alternativa para la remoción de cargas de coliformes termotolerantes o fecales en el efluente de un reactor UASB del Centro de Investigación de Tratamiento de Aguas Residuales y Residuos Peligrosos utilizando ozono; el cual es generado a partir del gas oxígeno contenido en el aire. Realizando así, un tratamiento en las aguas residuales.

Los coliformes termotolerantes son un grupo de bacterias que están presentes en las aguas residuales de origen doméstico. Y es un indicador de contaminación por heces humanas y/o animales. Para poder reutilizar las aguas residuales domésticas para el riego no restringido, es necesario remover parte de la concentración de coliformes termotolerantes exigidos por la normativa vigente (Categoría 3 según DS N° 004-2017-MINAM).

Las muestras de aguas residuales analizadas fueron extraídas del Centro de Investigación en Tratamiento de Aguas Residuales y Residuos Peligrosos

“Remoción de Coliformes Termotolerantes del Efluente del Reactor UASB Utilizando Ozono”

(CITRAR), que dentro de sus instalaciones posee una planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) para el tratamiento de aguas residuales domésticas.

Cuando el ozono, entra en contacto con la fase líquida (agua residual), ocurren una serie de interacciones físicas, químicas y biológicas; Las cuales fueron explicadas y evaluadas en el presente estudio y se encuentran citadas en el capítulo II y VII. Teniendo como uno de los objetivos principales la capacidad de remoción de coliformes termotolerantes, presentes en las muestras antes y después del tratamiento.

Mediante el proceso de oxidación se pretendió cumplir el requerimiento microbiológico del Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM, cuyo resultado se puede utilizar para el riego no restringido (parques públicos y áreas verdes) de la categoría 3. Referido al ítem de coliformes termotolerantes. Que establece cargas menores o iguales a 1000 NMP/100 ml.

I.2. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

En el Perú principalmente se utiliza agua contaminada con aguas residuales, para el riego de áreas verdes públicas; extraídas de ríos cercanos a las ciudades. Así también se realiza el riego con agua potable. No se realiza un tratamiento previo para las aguas contaminadas para poder ser reutilizadas para riego.

I.3. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Son pocas las investigaciones realizadas en el tratamiento de aguas residuales domésticas con ozono, para el reaprovechamiento de este tipo de aguas para otros fines como el riego de áreas verdes.

I.4. ANTECEDENTES

En el año 2008, se realizó una investigación acerca del tratamiento anaeróbico del reactor UASB integradas con el proceso de oxidación de ozonización. En el cual los autores A. Yasar y A. Bari obtuvieron resultados sobre una mejor eficiencia de oxidación cuando se eleva el pH y una reducción de remoción cuando la temperatura aumenta a valores mayores a 30°C.

“Remoción de Coliformes Termotolerantes del Efluente del Reactor UASB Utilizando Ozono”

En el año 2011 se investigó a escala piloto el tratamiento por ozonización en diferentes efluentes de aguas residuales en Francia (Xu, Janex, Savoye, Cockx, Lazarova, 2001). Las variaciones en las condiciones operativas mostraron que un tiempo de retención hidráulica muy bajo (2 min) fue suficiente para una inactivación eficaz de coliformes fecales, siempre que se transfiriera una dosis suficiente de ozono al efluente. Por lo tanto, la dosis de ozono transferida parece ser el parámetro crítico para el diseño de la desinfección de aguas residuales

Los resultados experimentales obtenidos a escala piloto en diferentes efluentes de aguas residuales confirman la eficiencia de la ozono para la desinfección de aguas residuales. Dependiendo de la calidad del efluente, fue necesario un dosificación de entre 2 y 15 mg / L para cumplir con el estándar de la OMS para irrigación (1000 coliformes fecales por 100 ml).

En el año 2015 en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la Universidad de São Paulo en Brasil se estudió la secuencia de tratamiento del efluente de un reactor UASB mediante ozono y ozono-cloro para la inactivación de *E. coli*. Así también se estudió la formación de subproductos de tratamiento con ozono en aguas residuales domésticas. Las dosis aplicadas fueron de 5, 8 y 10 mg.O₃/L, seguido con una dosis de cloro aplicada de 10, 20 y 30 mg/L respectivamente. (Da Silva, Bruning y Gerrity, 2015) Luego del tratamiento se presenció una remoción del DQO de 9 a 37%. El rango de inactivación de coliformes totales fueron de 1.59 a 3.73 unidades logarítmicas. Hubo una transferencia de gas ozono al agua residual de 81.2, 88.8 y 92.3 % para las dosificaciones utilizadas. El pH al finalizar la ozonización incrementó su valor de un rango inicial de 6.4-7.0 a 6.7-7.3. Siendo su incremento probablemente por la oxidación de ácidos. La reducción de concentración de *E. coli* al finalizar la ozonización fue de 1.90.10E+5, 3.05E+5 y 2.40E+5 con respecto a la concentración de inicio de 1.30+E7, 9.40+E6 y 1.30+E7 respectivamente, en las tres pruebas realizadas.

En 2018, se realizó una investigación de la remoción de sólidos disueltos totales para aguas residuales en Indonesia mediante ozonización, en la que el efluente inicial poseía 472 mg/l, 428 mg/l y 431 mg/l. Fue tratado con 100 mg/l, 200 mg/l y 300 mg/l de dosificación de gas ozono, al finalizar 120 minutos de tratamiento se

“Remoción de Coliformes Termotolerantes del Efluente del Reactor UASB Utilizando Ozono”

obtuvieron reducciones de 7.6%, 5% y 4.9% respectivamente (Dianawati, Wahyuningsih y Nur, 2018).

I.5. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

Aplicando ozonización en el efluente del reactor anaerobio de manto de lodos y flujo ascendente de CITRAR, la concentración de coliformes termotolerantes disminuye en 6 unidades logarítmicas, mediante determinadas condiciones de tiempo, y dosificación de gas ozono.

I.6. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Frente a la necesidad de reutilizar las aguas residuales domésticas y reducir la contaminación cuando estas son dispuestas en cuerpos naturales de agua, es necesario implementar o recurrir a alternativas de tratamiento de aguas residuales que permitan cumplir tales objetivos y estén en conformidad con lo establecido en los ECA del agua (Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM).

Es por ello que la presente investigación se basa en la remoción de coliformes termotolerantes en las aguas residuales domésticas, para poder así reaprovecharla en el riego de áreas verdes y/o parques públicos. Y con ello reducir el uso de agua potable para tales fines o el riego con aguas extraídas de ríos contaminadas con aguas residuales.

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

II.1. AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS

Las aguas residuales son el tipo de aguas, las cuales han sufrido un cambio en su composición física, química y biológica por actividades antropogénicas. Debido a la intromisión de diferentes agentes, como sustancias químicas, sólidos y bacterias. Principalmente de origen cloacal humano y/o animal. También pueden poseer un origen industrial. Pero independientemente del origen, estas aguas necesitan ser descargadas a un cuerpo de agua o en efecto ser reutilizadas en alguna actividad. Previamente realizando un tipo de tratamiento, que depende de la calidad del agua residual que se tenga. La cual puede consistir desde un tratamiento simple hasta el uso de tecnologías altamente complejas y/o costosas para reducir su contaminación. (Amy et al., 2008)

En ese sentido, las aguas residuales domésticas son aquellas aguas residuales que provienen básicamente de residenciales, zonas comerciales e institucionales que contienen desechos fisiológicos y otros provenientes de las actividades humanas domésticas tales como lavado de alimentos e higiene personal. (ANA, 2017)

Las aguas residuales presentan características importantes en su composición, algunas de ellas que se puede citar son: (Noriega, 1999)

a) Características físicas:

- La temperatura
- La concentración
- Sólidos presentes

No son de tanto interés el color y el sabor que pueda tener este. La temperatura en las aguas residuales, desempeña un rol importante en las interacciones que pueda tener los microorganismos presentes en ella, es decir, una mayor temperatura provocará una menor concentración de O.D. (oxígeno disuelto). Esto debido a la mayor actividad metabólica de los microorganismos en la descomposición de la materia orgánica y/o

“Remoción de Coliformes Termotolerantes del Efluente del Reactor UASB Utilizando Ozono”

inorgánica. Cabe resaltar que también disminuye la capacidad de solubilidad de gases como el oxígeno u otros, que pueden estar presentes.

La densidad, viscosidad y tensión superficial son también influenciadas con la variación de la temperatura, estos afectan directamente a diferentes procesos biológicos de transferencia de oxígeno para el tratamiento de aguas residuales. (Noriega, 1999)

Los sólidos presentes pueden ser de tres tipos básicamente, están los disueltos, suspendidos y los coloidales. Cada uno de ellos posee una metodología para determinarlo en laboratorio, y es un proceso que se realiza secuencialmente. La existencia de los sólidos en las aguas residuales provoca diferentes efectos dependiendo en donde estas aguas residuales son dispuestas. Los sólidos orgánicos o inorgánicos se oxidan consumiendo parte del oxígeno disuelto en el agua. Finalmente parte de ellos se depositan o sedimentan en el fondo provocando en consecuencia fenómenos tales como la eutrofización, que es debido a la descarga de nutrientes (nitratos, fosfatos, etc.) o de compuestos orgánicos limitantes (vitaminas) presentes en las aguas residuales. (Capó, 2007)

b) Características químicas:

Las características químicas de las aguas residuales básicamente son atribuidas a la presencias de sales orgánicas o inorgánicas. Estas son adicionadas a las aguas por los desechos fisiológicos humanos y/o animales y las actividades domésticas que se realizan en un hogar. Sin embargo también pueden ser añadidas por actividades industriales. En términos generales las aguas residuales pueden contener los siguientes compuestos:

- **Compuestos Orgánicos:**

Principalmente representada por:

- ✓ Hidratos de carbono
- ✓ Proteínas
- ✓ Grasas
- ✓ Celulosa
- ✓ Lignina

“Remoción de Coliformes Termotolerantes del Efluente del Reactor UASB Utilizando Ozono”

- ✓ Orgánicos sintéticos

La determinación de los compuestos orgánicos básicamente se realiza por la determinación de concentración de oxígeno para los procesos de oxidación en conjunto o en efecto con la determinación total de carbono. (Noriega, 1999)

- Compuestos Inorgánicos:

Los compuestos inorgánicos son añadidos a las aguas residuales mediante procesos que pueden ser realizados en un hogar hasta en una escala industrial. Básicamente pueden ser:

- ✓ Sales

- ✓ Nutrientes, como los compuestos fosforados y/o nitrogenados los cuales contribuyen al crecimiento de ciertos organismos en las aguas receptoras. Tales como los organismos autótrofos.

- ✓ Trazas, estos pueden ser partículas de minerales que fueron desechados mediante actividades domésticas y/o procesos industriales, como aquellas sustancias que contienen dentro de su composición. Tales como Manganeso, cobre, sodio, potasio. Estos Son importantes en la actividad metabólica de ciertos microorganismos contenidos en las aguas industriales. Y tienen un efecto en los procesos de tratamiento de estos.

- ✓ Sustancias tóxicas, básicamente son representadas por trazas de compuestos sintéticos o sintetizados en laboratorio. Ejemplo de ellos son los productos farmacéuticos o sustancias químicas corrosivas. Estas son desechadas inclusive en hogares mediante el uso de productos de limpieza. Entre los más comunes se tienen al Plomo, Cromo, zinc, ácidos o bases fuertes, insecticidas, sustancias farmacéuticas, etc. (Noriega, 1999)

“Remoción de Coliformes Termotolerantes del Efluente del Reactor UASB Utilizando Ozono”

- Gases:

Los gases presentes en las aguas residuales son principalmente los siguientes:

- ✓ Oxígeno, este se encuentra disuelto. Y por acción de la presión atmosférica, de la acción de mezcla cuando el agua escurre o simplemente como resultado de la actividad de las organismos vegetales como las algas, que están en el agua. Generalmente el oxígeno disuelto en las aguas residuales posee valores muy cercanos al cero.
- ✓ Dióxido de carbono, metano, amoníaco, sulfuro hidrogenado, monóxido de carbono. Estos gases principalmente son originados por la actividad anaeróbica microbiana en las aguas residuales y también depende del pH del agua. El hidrogeno sulfurado es uno de los gases corrosivos que se producen por condiciones anaeróbicas cuando predomina la formación de ácidos y hay carencia de metano. (Noriega, 1999)

c) Características biológicas:

En las aguas residuales existen diferentes tipos de microorganismos como pueden ser, parásitos, bacterias, protozoarios, hongos, algas, virus, etc. Sin embargo dependiendo de las concentraciones de determinadas sustancias, las condiciones de temperatura y pH, estos se desarrollarán.

Entre las bacterias se pueden citar a los: (R. Noriega, 1999)

- ✓ *Escherichia Coli*
- ✓ *Pseudomonas*
- ✓ *Salmonella*
- ✓ *Aeromonas*

Entre los géneros de algas más conocidas se pueden citar a los:

- ✓ *Anabema*
- ✓ *Euglena*
- ✓ *Chlorella*

“Remoción de Coliformes Termotolerantes del Efluente del Reactor UASB Utilizando Ozono”

Entre los protozoos se pueden citar a los:

- ✓ Flagelados
- ✓ Ciliados

Las aguas residuales domésticas, contienen en su composición altas cargas de microorganismos que se pueden determinar a través de análisis microbiológicos. Principalmente los microorganismos que se pueden encontrar son los de origen fecal, como son los coliformes termotolerantes Este grupo de bacteria es tomada como un indicador de contaminación fecal, en diferentes cuerpos de agua. Está presente en las aguas residuales y entre sus diferentes géneros y cepas, esta puede producir enfermedades a los seres humanos cuando se encuentran en contacto. (García, 2003)

II.1.1. COLIFORMES TERMOTOLERANTES

Las bacterias coliforme termotolerantes o fecales son aquellas bacterias gram-negativas capaces de fermentar la lactosa con producción de ácido y gas a una temperatura de $44.5\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ dentro de 24 ± 2 horas. Estas incluyen a los generos *Klebsiella* y *Escherichia*, los cuales están relacionados con la contaminación fecal por animales. La termotolerancia se conoce como el mecanismo de adaptación a altas temperaturas, características del tracto intestinal. La mayor especie en el grupo es la *Escherichia coli*, con sus diferentes cepas. Es el principal indicador para catalogar si una agua está contaminada o no. Los coliformes termotolerantes son tan pequeños, que a simple vista es imposible visualizarlos. Para ello se tienen que tomar muestras puntuales y realizar una serie de disoluciones, dependiendo del grado de carga de contaminación que tenga el agua de procedencia. Luego mediante metodologías de laboratorio se puede realizar un cultivo con determinados agares o medios y visualizar crecimiento o producción de gas a determinadas condiciones de tiempo y temperatura. (García, 2003)

La *Escherichia coli* es uno de los coliformes termotolerantes más representativos, se clasifica en cepas, la mayoría de ellas no causan enfermedades. Pero la parte principal de infección es el tracto intestinal, causando síntomas como diarreas, náuseas, mareos, fiebre y vómitos. Aunque su hábitat se encuentra en los intestinos, este puede contaminar otros órganos como los riñones, sangre o el

“Remoción de Coliformes Termotolerantes del Efluente del Reactor UASB Utilizando Ozono”

sistema nervioso. Provocando enfermedades graves. La ruta de transmisión de este tipo de bacterias es fecal-oral. Y pueden encontrarse en alimentos y agua contaminados. Existen diferentes tipos de cepas de la *Escherichia coli* que pueden o no producir enfermedades (C. Rock, 2014). Entre las cepas que causan enfermedades se describen en la tabla 2.2 Así mismo, se resume el modo de transmisión de las principales cepas de *Escherichia coli*.

Cuadro N° 2.1. Modo de transmisión de las principales cepas de E. coli tóxicas

Cepas de E. Coli	Modo de transmisión
Enterotoxigénico ETEC	La ingestión de alimentos o agua contaminados, el contacto humano directo o indirecto
Enteropatógenos EPEC	
Enterohemorrágico EHEC	
Enteroinvasivo EIEC	

(Fuente: College of agriculture and life sciences, 2014)

II.1.2. CONTAMINACIÓN POR COLIFORMES TERMOTOLERANTES

La presencia de coliformes termotolerantes es un indicador de contaminación fecal. Siendo la *Escherichia coli* el género más representativo, se presentan las diferentes cepas patógenas las cuales están relacionadas a actividades recreacionales en agua. Como por ejemplo la natación (C. Rock, 2014). A continuación se muestra una tabla de las enfermedades provocadas de las diferentes cepas presentadas líneas arriba:

Cuadro N° 2.2. Enfermedades provocadas de las principales cepas de E. coli tóxicas

Cepas de E. Coli	Enfermedad
Enterotoxigénico ETEC	Provoca diarrea sin fiebre, Es común en los bebés y es a menudo la causa de diarrea en viajeros.

“Remoción de Coliformes Termotolerantes del Efluente del Reactor UASB Utilizando Ozono”

Cepas de E. Coli	Enfermedad
Enteropatógenos EPEC	Causa diarrea acuosa, a veces con sangre. Es una causa común de diarrea infantil en los países subdesarrollo.
Enterohemorrágico EHEC	Causa diarrea con sangre y a veces pueden dañar los riñones y el progreso al síndrome urémico hemolítico potencialmente fatal. Este tipo de cepas ha causado graves epidemias alrededor del mundo. La más conocida es la O157:H7
Enteroinvasivo EIEC	Causa disentería, como la diarrea. La fiebre es un síntoma común.

(Fuente: College of agriculture and life sciences, 2014)

II.2. OXIDACIÓN QUÍMICA AVANZADA.

Las aguas residuales en general presentan diferentes tipos de sustancias en su composición ya sean estas orgánicas o inorgánicas. Estas al entrar en contacto en el medio circundante, originan ciertos problemas ambientales. Es por ello que a este tipo de aguas se les debe tratar. Para ello existen múltiples métodos y criterios. Las cuales combinan los principios de las reacciones e interacciones físicas y químicas. Estas pueden ser, oxidación química, absorción, etc. (Osorio et al., 2010)

Cuando se utiliza una combinación entre estos métodos para reducir el tiempo de contacto, concentración, cantidad de la sustancia a utilizar, etc. Se denomina procesos de oxidación avanzada (AOP: advanced oxidation process, por sus siglas en ingles). (Osorio et al., 2010)

Generalmente los AOP, son utilizados para oxidar los compuestos orgánicos disueltos que pueden encontrarse en las aguas residuales. Los AOP modifican la estructura química de los compuestos, pudiendo así reducir a formas más simples que pueden ser desintegradas por otros procesos posteriores. Entre los procesos

“Remoción de Coliformes Termotolerantes del Efluente del Reactor UASB Utilizando Ozono”

de oxidación avanzada se puede clasificar de la siguiente manera: (Osorio et al., 2010)

- Procesos de oxidación avanzada homogéneos con aporte de energía mediante radiación UV.
 - Ozono y radiación ultravioleta
 - Peróxido de hidrógeno y radiación ultravioleta
 - Ozono, peróxido de hidrógeno y radiación ultravioleta
 - Foto-Fenton
- Procesos homogéneos con aporte de energía mediante ultrasonidos
 - Ozonización y ultrasonidos
 - Peróxido de hidrógeno y ultrasonidos
- Procesos homogéneos con aporte de energía mediante electricidad
 - Oxidación electroquímica
 - Oxidación anódica
 - Electro-Fenton
- Procesos homogéneos sin aporte de energía
 - Ozonización en medio alcalino
 - Ozonización con peróxido de hidrogeno
 - Peróxido de hidrogeno y catalizador
- Procesos heterogéneos
 - Ozonización catalítica
 - Ozonización foto catalítica
 - Fotocatálisis heterogénea

A continuación se muestra una gráfica en la cual, se presenta el AOP de acuerdo al caudal y el carbono orgánico total (COT) de la agua residual a tratar. Principalmente que contenga compuestos orgánicos.

“Remoción de Coliformes Termotolerantes del Efluente del Reactor UASB Utilizando Ozono”

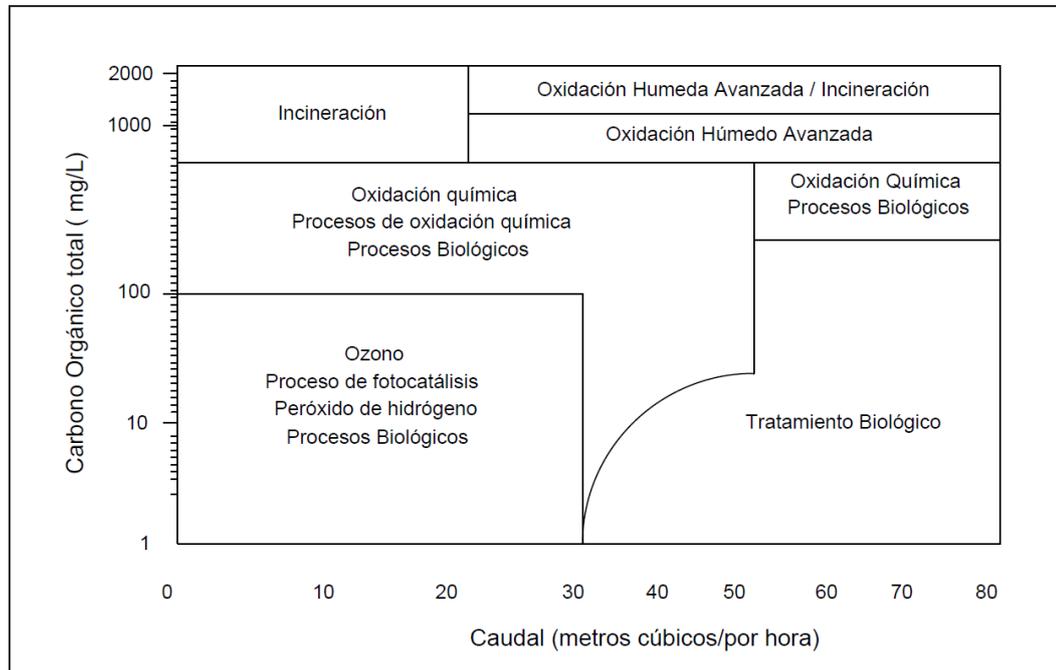


Imagen N° 2.1. Procesos AOP de acuerdo al caudal y COT del agua residual.

(Fuente: Forero et al., 2005)

Cuadro N° 2.3. Principales tecnologías de AOP

• Ozonización	• Oxidación en agua sub/ supercrítica
• Ozono/peróxido de hidrógeno	• Fotólisis ultravioleta del vacío
• Procesos Fenton	• Ultravioleta/peróxido de hidrógeno
• Oxidación electroquímica	• Ultravioleta/ozono
• Plasma no térmico	• Fotólisis/fenton
• Ultrasonido	• Foto catálisis Heterogénea

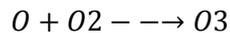
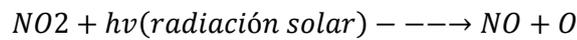
(Fuente: Forero et al., 2005)

Los procesos de oxidación avanzada basan su acción principalmente al poder oxidante del ion hidroxilo (HO⁻), el cual es obtenido a partir de diferentes métodos. La obtención y/o formación de este radical oxidante, depende mucho de la temperatura, pH y determinadas concentraciones de las sustancias que se pueden encontrar en las aguas residuales. Es por ello que estos parámetros son estudiados ampliamente, en diferentes estudios. Tratando de establecer rangos de valores óptimos de estos cambiantes parámetros.

“Remoción de Coliformes Termotolerantes del Efluente del Reactor UASB Utilizando Ozono”

II.3. GAS OZONO Y SUS APLICACIONES EN TRATAMIENTOS DE AGUAS RESIDUALES

El ozono es un gas, químicamente definido por tres moléculas de oxígeno. Es una variedad alotrópica del oxígeno. Está presente en la atmósfera formando una capa que reduce la entrada de rayos ultravioleta, sin embargo este gas se puede formar por reacciones entre las radiaciones ultravioletas, luz solar y los diferentes gases que provienen de la contaminación por parte del parque automotor. Como óxidos de nitrógeno y dióxido de azufre. Una reacción se muestra a continuación: (Gillespie, 1990)



En el siguiente cuadro se muestran las características físicas y químicas del gas ozono:

Cuadro N° 2.4. Propiedades físicas y químicas del ozono.

Descripción	Valor
Densidad (a 0 °C y 101,3 KPa)	2.154 g/L
Peso Molecular	48 g/mol
Punto de Ebullición (a 101.3 KPa)	-111.9 °C
Punto de Fusión del O3 Sólido	-192.5 °C
Umbral Olfativo	0.02 ppm
Potencial Redox	2.07 V
Solubilidad en agua 0°C	20 mg/L
Solubilidad en agua 30°C	1.5 mg/L

(Fuente: Rodríguez, 2003)

La corta permanencia del gas ozono disuelta en el agua, es de unos minutos (aproximadamente 15 – 20 minutos) y depende básicamente de la temperatura y la presión parcial de este en la fase gaseosa. (Weber, 1979). Es por ello la generación del gas ozono es *in situ*, para diferentes procesos

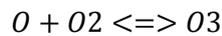
“Remoción de Coliformes Termotolerantes del Efluente del Reactor UASB Utilizando Ozono”

a. Generación de gas ozono.

La generación del gas ozono puede realizarse de diferentes formas dependiendo su uso, principalmente se puede resumir la formación mediante la siguiente ecuación química:



La formación de la molécula de ozono, básicamente es por la generación de radicales de oxígeno (radical atómico). Este último reacciona con el oxígeno diatómico y forma la molécula ozono.



A continuación se presenta una tabla con las principales formas de generar ozono (Rodríguez, 2003):

Cuadro N° 2.5. Principales métodos de generación de ozono.

Método	Descripción
Electrólisis	Mediante la electrólisis del ácido sulfúrico o perclórico concentrado, no es usado habitualmente.
Generación fotoquímica	Mediante una reacción entre la luz ultravioleta y el gas oxígeno. La producción de ozono es bajo y el consumo de energía elevado, por ende no es utilizado industrialmente
Generación radioquímica	Mediante la radicación gamma, beta de isótopos radiactivos. No es utilizado por la complejidad del proceso
Descarga eléctrica de alto voltaje	Esta técnica de producción es a partir de la generación de plasma frío o no termal, la cual se forma cuando se somete al gas oxígeno a grandes diferencias de potencial (15 kV

“Remoción de Coliformes Termotolerantes del Efluente del Reactor UASB Utilizando Ozono”

Método	Descripción
	aproximadamente). Ahí se generan especies químicas excitadas como iones, radicales, átomos, radiaciones, etc. Que finalmente forman el ozono.

(Fuente: Rodríguez, 2003)

b. Aplicación del ozono en tratamiento de aguas

➤ **Ozonización**

Gracias al potencial de oxidación que posee el ozono, es utilizado ampliamente en el tratamiento de aguas, ya sean estas para la producción de agua de consumo humano o como tratamiento terciario en aguas residuales.

Generalmente el proceso de ozonización es usado como desinfección en el proceso de tratamiento de aguas, pudiendo tener inclusive aplicación en distintos puntos como la pre-ozonización, ozonización intermedia y post-ozonización dependiendo de las sustancias contaminantes del agua. Entre algunos procesos se pueden citar: (Vidal, 2003)

- Desinfección y control de algas
- Oxidación de sustancias inorgánicas (Fe y Mn)
- Oxidación de compuestos orgánicos (eliminación de olores, sabor, fenoles, insecticidas, etc.)
- Oxidación de materia orgánica (reducción de la turbiedad y color)
- Mejorar procesos dentro del tratamiento como la coagulación, floculación y filtración.

Este proceso de ozonización también es usado en el tratamiento de aguas residuales, como un proceso de oxidación y/o reducción de compuestos como tratamiento terciario. Se utilizan de 0.6804 a 1.14 Kg de ozono por cada Kg de materia orgánica disuelta en las aguas residuales a oxidar. Este proceso es muy efectivo para aguas que poseen sustancias fenólicas en su composición. El tiempo de

“Remoción de Coliformes Termotolerantes del Efluente del Reactor UASB Utilizando Ozono”

contacto usualmente es menor a 30 minutos. (Nemerow y Dasgupta, 1998).

El ozono puede emplearse principalmente para el tratamiento de aguas residuales domésticas bajo dos fines:

- Desinfección parcial del agua residual que fue tratada previamente, la eficiencia de este proceso está limitada por la turbiedad del agua residual tratada. Finalmente se puede utilizar esta agua para riego de áreas verdes y recarga de acuíferos.
- Eliminación de la materia orgánica del agua residual, consiguiendo en parte una disminución del DQO. Como parte de los AOP consigue disminuir compuestos fenólicos e insecticidas. Y favorece a posteriores tratamientos. (Rodríguez, 2003)

La ozonización es un proceso que depende de muchos factores, una vez que el ozono entra en contacto con las sustancias y organismos presentes en el agua interactúa formando diferentes compuestos y reduciendo la carga de microorganismos (EPA, 1999). A continuación se muestra las reacciones y sus constantes de velocidad que tiene el ozono al interactuar con diferentes especies químicas, presentes en el proceso de ozonización (Quicaño, 2014).



Se presenta un diagrama de la descomposición del ozono una vez que este interactúa con el agua (Forero et al., 2005).



“Remoción de Coliformes Termotolerantes del Efluente del Reactor UASB Utilizando Ozono”

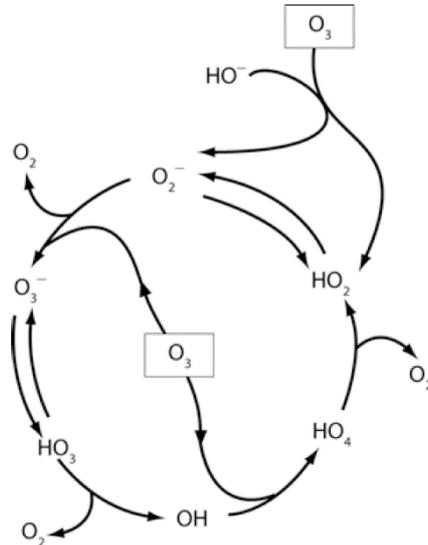
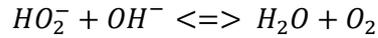


Imagen N° 2.2. Principales especies formadas por la interacción química del ozono y del agua

(Fuente: Forero et al., 2005)

Las reacciones de las sustancias que se encuentran en el agua junto al ozono se dan principalmente por el ion hidroxilo (OH^-). La cual interactúa con las especies químicas nucleofílicas, caracterizado por contener en su estructura O, N, S, F. Debido a esto algunos compuestos como las aminas, pesticidas y fenoles pueden ser convertidas a sustancias más simples. Se muestra una tabla donde se compara el potencial oxidante del ozono con diversas especies químicas:

Cuadro N° 2.6. Potenciales Redox de especies químicas oxidantes

Especie química	Eo(V) – 25°C	Especie química	Eo(V) – 25°C
Flúor	3.03	Radical Perhidróxilo	1.7
Radical hidroxilo	2.8	Permanganato	1.68
Oxígeno Atómico	2.42	Dióxido de cloro	1.57
Ozono	2.07	Ácido hipocloroso	1.49
Peróxido de hidrógeno	1.78	Cloro	1.36

(Fuente: Forero et al., 2005)

“Remoción de Coliformes Termotolerantes del Efluente del Reactor UASB Utilizando Ozono”

Sin embargo la ozonización presenta disminución en su eficiencia dependiendo el tipo de agua a tratar y diferentes factores como los descritos a continuación:

- Concentración de sólidos en suspensión
- Concentración de determinados compuestos orgánicos en la resistencia de determinados organismos.
- Formación de subproductos.
- Existencia de compuestos inhibidores, que consumen las especies químicas a partir del ozono (OH^\cdot), Entre ellos están iones carbonatos y bicarbonato, grupo de alquilo y alcoholes terciarios. (Forero, 2005)

Se muestra comparación entre los subproductos formados por otros agentes oxidantes y el ozono.

Cuadro N° 2.7. Subproductos de oxidación química de desinfectantes

Desinfectante	Subproducto	Desinfectante	Subproducto	Desinfectante	Subproducto
Cloro	Trihalometanos (THM)	Cloraminas	Ácidos Haloacéticos (HAA)	Ozono	Bromato
	Ácidos Haloacéticos (HAA)		Nitrito/Nitrato		Carbón orgánico disuelto biodegradable
	Halopícrina		Cloruro y bromuro de cianógeno		Aldehídos y acetonas
	Halocetonas		1,1 dicloropropanona		Cetoácidos
	Clorofenoles		Trihalometanos (THM)		Bromoformo y compuestos bromados
	Cloruro y bromuro de cianógeno		Organocloraminas		Peróxidos
	Hidrato de cloral				Epóxidos
	Aldehídos de bajo peso molecular				Nitrosaminas
	Haloacetinilos (HAN)				

(Fuente: Osorio et al., 2010)

El ozono puede reaccionar de diferentes formas con los compuestos presentes en las aguas residuales, principalmente bajo dos principios:

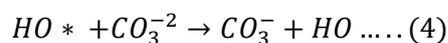
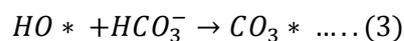
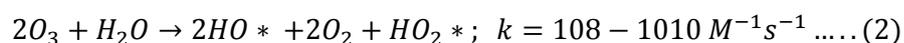
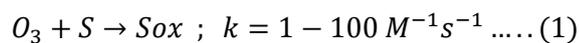
“Remoción de Coliformes Termotolerantes del Efluente del Reactor UASB Utilizando Ozono”

- ✓ Reacción del ozono molecular
- ✓ Reacción de las especies químicas formadas por el ozono y la interacción en el agua (radicales libres).

Cuando se da principalmente por acción de radicales libres formadas por el ozono, el mecanismo de acción se basa en la formación del ion hidroxilo. Es entonces existen tres tipos de sustancias que promueven o inhiben a esta formación, siendo estas las siguientes:

- Iniciadores, compuestos orgánicos o inorgánicos que inducen la producción del ion súper óxido (O_2^-). Estos generalmente son el ácido glioxálico, ácido fórmico o sustancias húmicas y iones hidroxilo, iones hidroperóxido, cationes respectivamente.
- Promotores, los cuales reaccionan con los radicales libres (OH^\cdot) para regenerar el ion súper óxido (O_2^-). Entre aquellos orgánicos que promueven esto son los compuestos de alcoholes primarios, ácidos húmicos, ácido glioxálico, ácido fórmico y los grupos arilo. Y entre los compuestos inorgánicos los compuestos a base de fósforo.
- Inhibidores, los cuales consumen los radicales OH^\cdot , no generándose el ion súper óxido.

Las reacciones por radicales libres es menos selectiva que las reacciones directas por ozono, pero posee velocidades de reacciones más rápidas que la directa. Lo cual es importante en los tratamientos de aguas residuales. Así mismo tratar de reducir las cantidades de sustancias inhibitoras, beneficia en la cantidad dosificada que se tiene que dar de ozono para el tratamiento. A continuación se presenta las reacciones químicas de una reacción directa del ozono con un compuesto orgánico (1), la reacción de un radical libre en medio alcalino (2) y una reacción por radicales libres con un inhibidor (3) y (4). Así mismo un cuadro donde se muestra las velocidades de reacción del hidroxilo y el ozono. (Forero, 2005)



“Remoción de Coliformes Termotolerantes del Efluente del Reactor UASB Utilizando Ozono”

Cuadro N° 2.8. Constantes de velocidad de reacción del ozono y el hidroxilo para compuestos orgánicos.

Compuesto	Radical HO*	Ozono (O3)
	(L. mol ⁻¹ . s ⁻¹)	
Fenoles	10 ⁹ -10 ¹⁰	10 ³
Alquenos Clorados	10 ⁹ -10 ¹¹	10 ⁻¹ -10 ³
Aromáticos	10 ⁸ -10 ¹⁰	1-10 ²
Cetonas	10 ⁹ -10 ¹⁰	1
Alcoholes	10 ⁸ -10 ⁹	10 ²
Alcanos	10 ⁶ -10 ⁹	10 ⁻²

(Fuente: Forero, 2005)

En los diferentes procesos presentados como AOP, se requiere una determinada cantidad de energía la cual debe ser suministrada dependiendo los fines y objetivos que se requieran para el agua tratada. Sin embargo estos procesos pueden ser comparados mediante un parámetro de consumo de energía denominado “Energía eléctrica requerida para remover un contaminante por orden de magnitud en un metro cúbico de agua residual” (EE/O). Este tiene una relación empírica (Bolton, Bircher, Tumas y Tolman, 1995)

$$\frac{EE}{O} \left(\frac{kWh}{m^3} \right) = \frac{P * t * 1000}{V * 60 * \log \left(\frac{C_i}{C_f} \right)} \quad \dots (1)$$

Donde P es la potencia en (kW), t es el tiempo de tratamiento u oxidación, V es el volumen de agua residual (L) y Ci, Cf son las concentraciones iniciales y finales respectivamente.

“Remoción de Coliformes Termotolerantes del Efluente del Reactor UASB Utilizando Ozono”

Cuadro N° 2.9. Comparación de consumo de energía, entre diferentes AOP, eficiencia en remoción de color y DQO.

Proceso	Color		DQO	
	EE/O	Eficiencia de Remoción (%)	EE/O	Eficiencia de Remoción (%)
Ozono	8	96	12.5	89
UV	160	79	295	57
UV/H ₂ O ₂	86	91	120	82
Proceso Fenton	2.6	69	3.4	60
Proceso Foto Fenton	6	100	11.8	97

(Fuente: Yasar y Tabinda, 2009)

Según este cuadro los procesos de oxidación mediante ozonización es el segundo proceso con un costo eficiencia adecuada.

II.3.1. PROCESO DE ELIMINACIÓN DE COLIFORMES TERMOTOLERANTES

El proceso de ozonización utilizado en la investigación, tiene principalmente como fin la reducción de la carga de microorganismos presentes en las aguas residuales. Pudiendo eliminar inclusive patógenos como coliformes fecales. Los mecanismos de desinfección de los microorganismos patógenos (bacterias, virus, protozoarios, etc.) están dirigidos en caminos específicos en las células biológicas. Estos son (Vidal, 2003):

La reducción de las bacterias se da básicamente por reacciones de oxidación, dándose como primer lugar la desintegración de la membrana celular. Debido a la alteración de la permeabilidad selectiva de la membrana celular en la cual el ozono actúa sobre glicoproteínas, glicolípidos y algunos aminoácidos (triptófano). Ya en la parte interna de las células el ozono actúa atacando al sistema enzimático dependientes del grupo sulfhídrico y al material nuclear (bases púricas y pirimidínicas de los ácidos nucleicos). Así mismo hay pérdida de nutrientes vitales como N₂ y P, alteración de la naturaleza coloidal del protoplasma, debido a la

“Remoción de Coliformes Termotolerantes del Efluente del Reactor UASB Utilizando Ozono”

exposición de calor, radiación, ácidos fuertes y condiciones alcalinas, oxidación y alteración de la estructura química e inactivación de enzimas y daños en el ADN y ARN en la célula y retardo en la reproducción de los organismos. (Vidal, 2003)

En la mayoría de los casos la desactivación de bacterias por parte del proceso de ozonización sigue una cinética según el modelo de Chick-Watson de primer orden. La cual indica una disminución exponencial de los microorganismos frente a la exposición del desinfectante u oxidante. Se tiene la siguiente expresión.

$$N = N_0 e^{-k_{cw} c t} \quad \dots (2)$$

Donde N es la concentración de microorganismos luego de la oxidación, N_0 es la concentración inicial de microorganismos, K_{cw} es la constante de inactivación, “c” la concentración del desinfectante y “t” el tiempo de contacto. Bajo el concepto de desinfección, para la E. Coli la constante de Chick-Watson del ozono es $103 \text{ L.mg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ a $20 \text{ }^\circ\text{C}$ y pH 7. (Fernández, 2018)

II.4. LÍMITES DE EXPOSICIÓN AL GAS OZONO EN SERES HUMANOS

El gas ozono es un gas tóxico a elevadas concentraciones y tiempos de exposición prolongados para los seres humanos. Especialmente cuando no se utilizan las medidas y equipos de seguridad adecuados. Los principales daños que causa el gas ozono son principalmente en el sistema respiratorio. Debido a que la intoxicación se realiza mediante la inhalación de dicho gas. Algunos efectos de la inhalación se manifiestan mediante dolores de cabeza e irritación de las vías respiratorias.

Estos efectos realmente dependen de muchos factores, tales como, si la persona se encuentra realizando experimentaciones y/o trabajos físicos al aire libre, en ambientes ventilados o no ventilados. La OMS ha establecido rangos para la concentración y tiempo de exposición de gas ozono para los humanos. Los efectos respiratorios están relacionados por exposiciones largas, es por ello que se establece valores de $100\text{-}120 \text{ ug/m}^3$ para 8 horas. En cuadro N° 2.10 se presenta valores de los límites permitidos y tiempo de exposición. Es por ello que cuando se trabaja con exposición al gas ozono es importante portar los equipos de protección, tales como mascararas con cartuchos y filtros que aíslen o disminuyan el ingreso de gas ozono. En la presente investigación se usó una mascarilla 3M

“Remoción de Coliformes Termotolerantes del Efluente del Reactor UASB Utilizando Ozono”

6800 con cartuchos contra vapores orgánicos/ gases tóxicos 6003/07047 3M y filtros para partículas 2097 - P100 3M, con alivio para niveles molestos de vapor orgánico y protección contra el ozono hasta 10 veces lo establecido por los límites permisibles de exposición de la Administración de la seguridad y Salud Ocupacional (OSHA PEL, por sus siglas en inglés).

Cuadro N° 2.10. Exposición del ozono.

Exposición	Límites
Olor detectable tos/irritación	0.01-0.05 ppm
8 min	1 ppm
1 min	10 ppm
Límites OSHA 8h	0.1 ppm
Límites OSHA 15 min	0.3 ppm
Concentración mortal en < 1 minuto	10 000 ppm

(Fuente: OSHA)

CAPITULO III: MARCO LEGAL

III.1. MARCO LEGAL

El marco legal en la cual se desarrolló esta investigación engloba leyes, reglamentos, decretos supremos, artículos, directrices de organismos, etc. Siendo los siguientes descritos a continuación:

- **Ley 29338, Ley de Recursos Hídricos**

En esta ley se encuentra el artículo 82°, la cual tiene como título “Reutilización de agua residual”, aquí asigna a la Autoridad Nacional Agua como el ente que autoriza el reúso del agua. Así como también menciona que el titular de una licencia de uso de aguas residuales está facultado para reutilizar el agua residual que genera, siempre y cuando sea para los fines que fue otorgada la licencia.

- **Decreto Supremo N° 001-2010-AG, Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos**

En este reglamento resalta los siguientes artículos:

- Artículo 147°.- Reúso de aguas residual.
- Artículo 148°.- Autorizaciones de reúso de aguas residuales tratadas, en este artículo se cita en el inciso a), se podrá otorgar el reúso siempre y cuando sea sometido a tratamientos previos y cumplan con los parámetros de calidad establecidos para los usos sectoriales.
- Artículo 149°.- Procedimiento para el otorgamiento de autorizaciones de reúso de aguas residuales tratadas.
- Artículo 150°.- Criterios para evaluar la calidad del agua para reúso. En este artículo, especifica que las solicitudes de autorización serán evaluadas por el ente rector según los valores establecidos por el sector a la actividad que se destinará el reúso de este. Sin embargo también se podrá usar las guías correspondientes a la OMS.

“Remoción de Coliformes Termotolerantes del Efluente del Reactor UASB Utilizando Ozono”

- **Directrices sanitarias sobre el uso de aguas residuales en agricultura y acuicultura.**

Esta guía ofrece directrices técnicas para el reúso de las aguas residuales para actividades como la agricultura, acuicultura y riego de aguas verdes. En conformidad para la protección de la salud humana y ambiental. Las diferentes categorías presentadas y sus restricciones se pueden ver en el cuadro N° 12.3 del anexo N° 1.

- **Ley N° 28611 – Ley General del Ambiente**

Esta ley contiene artículos que presentan los ECA y LMP respectivamente como:

- Artículo 31°, El Estándar de Calidad Ambiental - ECA es la medida que establece el nivel de concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en el aire, agua o suelo, en su condición de cuerpo receptor, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni al ambiente. Según el parámetro en particular a que se refiera, la concentración o grado podrá ser expresada en máximos, mínimos o rangos
- Artículo 32°, El Límite Máximo Permisible - LMP, es la medida de la concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, que caracterizan a un efluente o una emisión, que al ser excedida causa o puede causar daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente. Su cumplimiento es exigible legalmente por la respectiva autoridad competente. Según el parámetro en particular a que se refiera, la concentración o grado podrá ser expresada en máximos, mínimos o rangos.
- Artículo 122°, Tratamiento de residuos líquidos, Las empresas o entidades que desarrollan actividades extractivas, productivas, de comercialización u otras que generen aguas residuales o servidas, son responsables de su tratamiento, a fin de reducir sus niveles de contaminación hasta niveles compatibles con los LMP, los ECA y otros estándares establecidos en instrumentos de gestión ambiental, de conformidad con lo establecido en normas legales

“Remoción de Coliformes Termotolerantes del Efluente del Reactor UASB Utilizando Ozono”

vigentes. El manejo de las aguas residuales o servidas de origen industrial puede ser efectuado directamente por el generador, a través de terceros debidamente autorizados a través de las entidades responsables de los servicios de saneamiento, con sujeción al marco legal vigente sobre la materia.

- **Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM**

Decreto que aprueba límites máximos permisibles para los efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales. Este decreto presenta los valores de los siguientes parámetros: Aceites y grasas, coliformes termotolerantes, DBO, DQO, pH, Sólidos totales en suspensión, temperatura.

En el cuadro N° 12.2 del anexo N° 1 se muestra los LMP exigidos para efluentes de PTAR.

- **Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM**

En el artículo 3, del decreto supremo describe las categorías en las que se presentara los ECA para agua. En la categoría 3, descrita como riego de vegetales y bebida de animales existe una subcategoría D1, relacionado para el riego de vegetales. Esta clasifica al agua para riego restringido de la siguiente forma:

Entiéndase como aquellas aguas cuya calidad permite su utilización en el riego de: cultivos alimenticios que se consumen cocidos (Ej.: habas); cultivos de tallo alto en los que el agua de riego no entra en contacto con el fruto (Ej.: árboles frutales); cultivos a ser procesados, envasados y/o industrializados (Ej.: trigo, arroz, avena y quinua); cultivos industriales no comestibles (Ej.: algodón), y; cultivos forestales, forrajes, pastos o similares (Ej.: maíz forrajero y alfalfa).

En la imagen N° 12.1 del anexo N° 1 se muestra los ECA exigidos para el riego de parques públicos, campos deportivos, áreas verdes y plantas ornamentales.

CAPITULO IV: OBJETIVOS

IV.1. OBJETIVO PRINCIPAL

Evaluar la eficiencia de remoción de coliformes termotolerantes en muestras del efluente del reactor UASB en el Centro de Investigación de Tratamiento de Aguas Residuales y Residuos Peligrosos (CITRAR) mediante tres dosificaciones de gas ozono con respeto a determinados tiempos.

IV.1.1. OBJETIVOS SECUNDARIOS

- Evaluar la relación del tiempo de tratamiento con ozono y la remoción de la concentración de coliformes termotolerantes en las muestras del efluente del reactor UASB.
- Evaluar el cumplimiento de uno los requerimientos microbiológicos del Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM, referido al ítem de coliformes termotolerantes para el riego no restringido (parques públicos y áreas verdes) de la categoría 3. Para el tratamiento de muestras de efluente del reactor UASB con ozono.
- Evaluar la variación de la turbiedad, oxígeno disuelto, pH, conductividad, temperatura, sólidos totales, suspendidos y disueltos contra el tiempo de tratamiento en las muestras de efluente del reactor UASB con ozono.
- Evaluar la DBO de antes y después del tratamiento de las muestras del efluente del reactor UASB en las tres dosificaciones de ozono.
- Determinar la transferencia de gas ozono al agua residual durante el proceso de ozonización en el reactor tipo Batch.

CAPITULO V: MATERIALES Y MÉTODOS

V.1. UBICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

La investigación fue desarrollada en las instalaciones del Laboratorio de Investigación del agua “Otto Bruno Rosasco Gerkes” y el laboratorio de tesis los cuales se encuentra en los interiores de la Facultad de Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional de Ingeniería Ambiental. Las muestras analizadas de agua residual fueron obtenidas del efluente del reactor UASB del Centro de Investigación de Tratamiento de Aguas Residuales y Residuos Peligrosos (CITRAR). Este reactor se encuentra en las coordenadas 276774 E, 8671425 N y una altura de 102 m.s.n.m. Se muestra las fotografías de los laboratorios y del reactor UASB de CITRAR en los anexos.



Imagen N° 5.1. Ubicación del reactor UASB en CITRAR

“Remoción de Coliformes Termotolerantes del Efluente del Reactor UASB Utilizando Ozono”

V.2. DESCRIPCIÓN DEL REACTOR DE TRATAMIENTO CON OZONO

Los reactores que se utilizó para realizar la investigación fueron de dos diferentes configuraciones tipo Batch, Ensamblado en cada tipo prueba y donde se sometía a tratamiento las muestras extraídas del afluente (1 Litro) del reactor del UASB de CITRAR. Los reactores de tratamiento consistían de diferentes instrumentos, materiales y equipos que se pasa a describir a continuación.

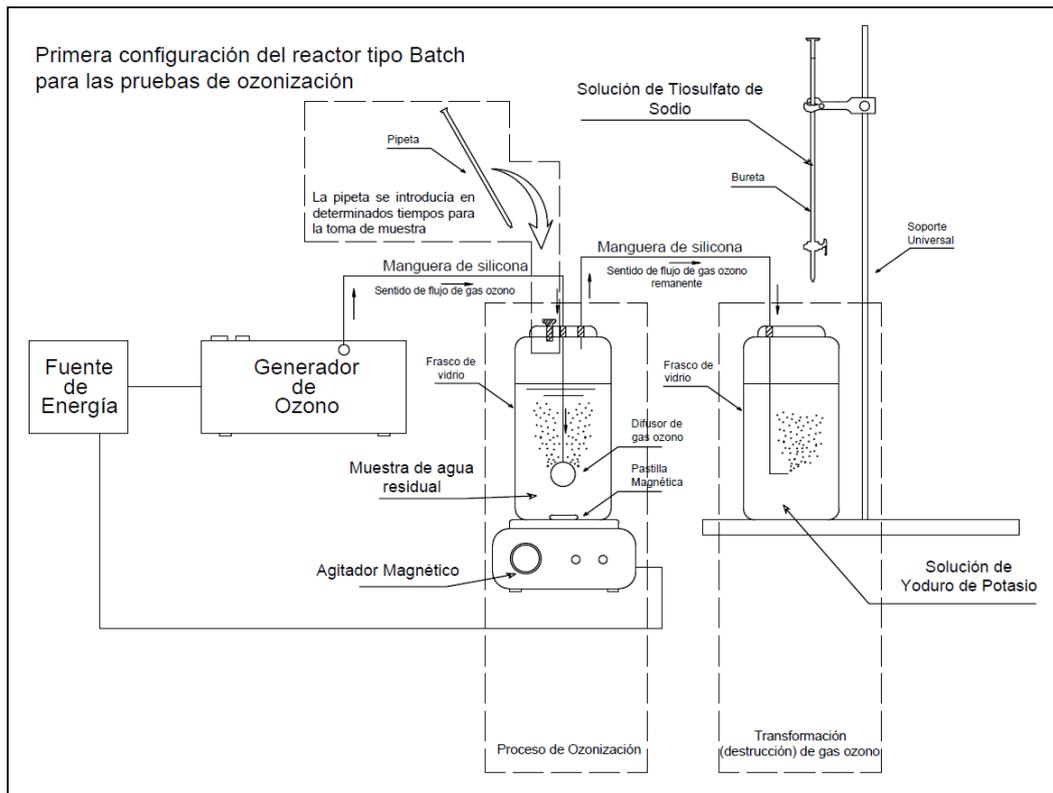


Imagen N° 5.2. Primera configuración - Reactor 1 tipo Batch de ozonización

“Remoción de Coliformes Termotolerantes del Efluente del Reactor UASB Utilizando Ozono”

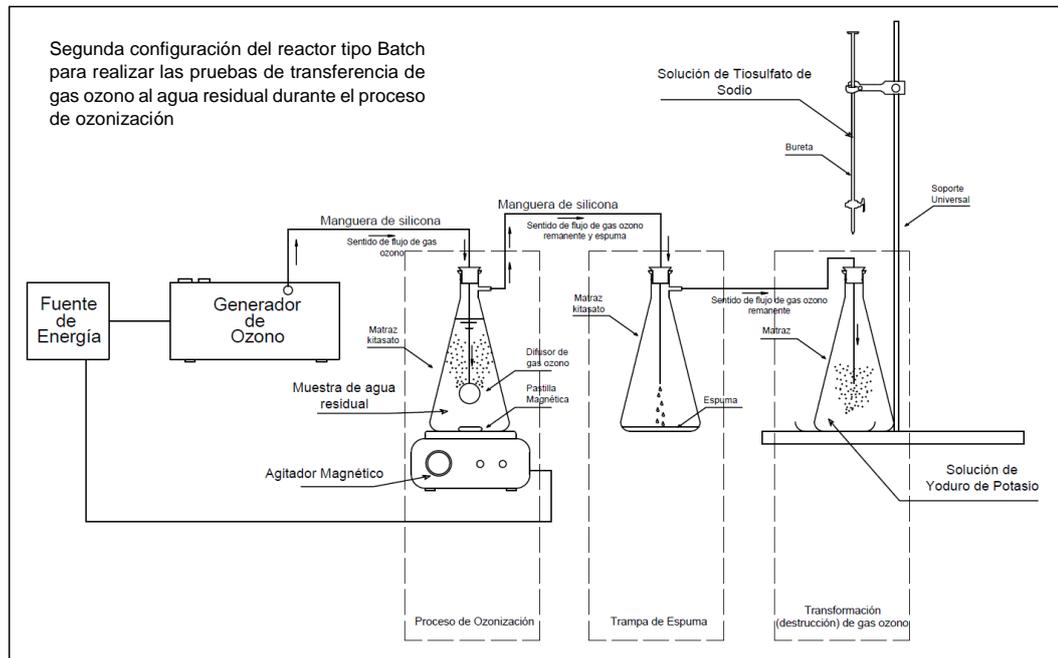


Imagen N° 5.3. Segunda Configuración - Reactor 2 tipo Batch de ozonización

- **Equipo generador de ozono:** Este es un equipo fabricado por OZONO VM INTECSERES INGENIEROS S.A.C. y es el modelo MOD.3GVM BASIC, que genera ozono en un rango de dosificaciones 0.15 g/h – 3 g/h. Para esta investigación se trabajó con tres dosificaciones 2.1 g/h, 2.7 g/h y 3 g/h. Así mismo para la investigación realizada se trabajó a un caudal de salida de 10 L/min de mezcla gaseosa. La forma de generación de ozono de este equipo fue mediante descarga eléctrica de alto voltaje. Algunas características del equipo se muestran a continuación.

Cuadro N° 5.1. Características del equipo generador de ozono.

Producción de Ozono	0.15 – 3 g/h +/- 4%
Enfriamiento	Aire forzado
Potencia	75 W
Caudal	10 L/min +/- 5%
Tensión	220/240 V AC 50/60 Hz
Nivel de ruido	<40 dBA
Filtro de absorción de humedad	Silica Gel

(Fuente: INTECSERES INGENIEROS S.A.C.)

“Remoción de Coliformes Termotolerantes del Efluente del Reactor UASB Utilizando Ozono”

- **Agitador Magnético:** Es un equipo que consiste en un cápsula rotatoria y una placa en la cual se tiene un magneto que gira circularmente. Con ello se genera un campo magnético y la cápsula empieza a girar en su eje. Generando así una agitación en el frasco donde se encuentra la muestra de agua residual.
- **Frascos:** Estos frascos son de material de vidrio para la primera configuración del reactor tipo Batch, para la segunda configuración se utilizó matraces kitasato de vidrio borosilicatado. En estos se depositaba 1 L de muestra de agua residual extraído del afluente del reactor UASB para someterlos a las pruebas de ozonización.
- **Difusor de piedra:** El difusor utilizado es un difusor de piedra mineral de 5 cm de diámetro y una altura de 7.5 cm. Posee una entrada de acero inoxidable de 4 mm de diámetro. Por este ingresa el ozono para el proceso de ozonización de la muestra.
- **Mangueras:** Las mangueras utilizadas fueron de material de silicona, de un diámetro interno de aproximado de 1 cm, aunque se utilizaron de diferentes diámetros dependiendo el uso y ubicación de estas.

El ensamble de todos los componentes formaba los dos tipos de configuración de los reactores tipo Batch de ozonización. Fotografías de estas configuraciones son mostradas en el anexo como lo es la N° 11.6.

V.3. ETAPAS DE LA INVESTIGACIÓN EN EL LABORATORIO

La parte experimental consistió en dos etapas, las cuales se citan a continuación:

- ✓ La primera etapa consistió, en contrastar la dosificación de ozono y tiempo de tratamiento a muestras de agua residual con los valores de las investigaciones antecedentes. Estos valores fueron aumentando con la finalidad de remover la concentración los coliformes termotolerantes hasta cumplir con lo señalado en requerimientos microbiológicos del Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM para el riego no restringido (parques públicos y áreas verdes) de la categoría 3 (concentraciones iguales o menores de 1000 NMP/100 ml), referido al ítem de coliformes termotolerantes. Esta búsqueda de dosificaciones y tiempo fueron realizadas en una semana y media. Finalmente las dosificaciones que

“Remoción de Coliformes Termotolerantes del Efluente del Reactor UASB Utilizando Ozono”

cumplían lo requerido fueron 2.1, 2.7 y 3 g/h, para un tiempo de ozonización de 35 minutos. Las dosis eran producidas por el equipo de generación de ozono.

- ✓ La segunda etapa consistió en la evaluación de los parámetros físicos y químicos al finalizar los 35 minutos del proceso de ozonización y la evaluación del parámetro biológico en tiempos determinados durante el proceso de ozonización, el cual se realizó mediante la extracción de muestras de agua residual ozonizada para su posterior análisis. Así también el cálculo de la eficiencia de consumo de ozono por parte del reactor Batch en el proceso de ozonización.

V.4. MATERIALES, EQUIPOS E INSUMOS UTILIZADOS EN LA INVESTIGACIÓN

En la siguiente tabla se describe los equipos, materiales e insumos utilizados durante la etapa de laboratorio de la investigación es nombrada a continuación:

Cuadro N° 5.2. Equipos, materiales e insumos utilizados

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
EQUIPOS	CANTIDAD
Equipo generador de ozono / marca OZONO VM / modelo MOD.3GVM BASIC	1
Oxímetro / marca HACH / modelo HQ40d multi	1
Turbidímetro / marca HACH / modelo 2100N TURBIDIMETER	1
Conductímetro / marca HACH / modelo HQ40d multi	1
pH metro / marca HACH / modelo HQ440D multi	1
Rampas de filtración con bomba de vacío kit laboratorio	1
Incubadora refrigerada para pruebas de DBO / marca Thermo scientific	1
Balanza científica / marca SHIMADZU / modelo AY120	1
Plato calentador	1
Horno	1
Plancha de evaporación / marca Barnstead – Thermolyne / modelo Type 2200 Hot Plate	1
Mufla / marca Thermo scientific / Thermolyne	1
Estufa de cultivo	1
Agitador Magnético / marca FISHER SCIENTIFIC CO.	1

**“Remoción de Coliformes Termotolerantes del Efluente del Reactor UASB
Utilizando Ozono”**

Destilador de agua portátil / Agua pure	1
Baño María de Laboratorio, marca Lab. Companion, modelo BW-20G	1
Autoclave	1
MATERIALES DE MUESTREO	CANTIDAD
Brazo de muestreo	1
Galón para muestreo	1
Detergente	1
Gel Conservante 250 g	2
Caja de tecnopor	1
MATERIALES DE LABORATORIO	CANTIDAD
Gradilla para tubos de ensayos	1
Tubos de ensayos 16x150 Pírex c/s tapa	40 cu
Filtros de nitrocelulosa cuadrículados estériles de 0.45 ± 0.02µm de diámetro de poro. Libre de glicerina y sin áreas hidrofóbicas.	4 cajas
Filtro de fibra de vidrio para prueba de sólidos	1 Caja
Frascos de vidrio 50 mL	3
Manguera de silicona (metros)	3
Difusor de gas de piedra mineral de 5 cm de diámetro y una altura de 7.5 cm, entrada de acero inoxidable de 4 mm de diámetro.	1
Placas Petri	22
Pipetas (10 ml)	28
Pera	1
Cápsulas	12
Cepillos de lavado	2
Probeta (50 ml)	1
Gradilla de pipetas	1
Papel toalla	3
Soporte universal	1
Bureta	1
Vasos de precipitados	4
Botellas Winkler	25
Cono inhoff	4
INSUMOS	CANTIDAD
Agar M-FC para realizar la prueba: SMEWW-APHA-AWWA-WEF” Parte 9222 D, 22ª Edición, 2012 / 500 g	1

**“Remoción de Coliformes Termotolerantes del Efluente del Reactor UASB
Utilizando Ozono”**

Medium A1 para realizar la prueba: SMEWW-APHA-AWWA-WEF” Parte 9221 E, 22ª Edición, 2012 / 500 g	1
Solución para calibrar equipo	1
Solución para lavar equipos	1
Yoduro de Potasio (30 g)	30 g
Tiosulfato de sodio (30 g)	30 g
Agua destilada	1L/prueba
EQUIPOS DE PROTECCIÓN PERSONAL	CANTIDAD
Caja de Guantes de látex	2
Caja de Mascarillas	2
Mandil	1
Lentes de seguridad	1
Mascarilla 3M 6800	1
Cartuchos contra vapores orgánicos/ gases tóxicos 6003/07047 3M	2
Filtros para partículas 2097 - P100 3M	2

(Fuente: Elaboración propia)

V.5. PARÁMETROS EVALUADOS

V.5.1. PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS

- ✓ Temperatura
- ✓ pH
- ✓ Oxígeno Disuelto
- ✓ Conductividad
- ✓ Turbiedad
- ✓ Sólidos Totales
- ✓ Sólidos Suspendidos totales
- ✓ Sólidos Disueltos totales
- ✓ Sólidos Sedimentables

V.5.2. PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS

- ✓ Coliformes termotolerantes

V.5.3. PARÁMETROS BIOQUÍMICOS

- ✓ DBO

“Remoción de Coliformes Termotolerantes del Efluente del Reactor UASB Utilizando Ozono”

V.5.4. OTROS PARÁMETROS

- ✓ Transferencia de gas ozono al agua residual durante el proceso de ozonización

V.6. PUNTOS DE MONITOREO, FRECUENCIA DE MONITOREO Y CONDICIONES DE MONITOREO DE PARÁMETROS

Los tiempos en el cual se monitoreó durante los procesos de ozonización para diferentes parámetros fueron de la siguiente manera:

- Para los parámetros fisicoquímicos y bioquímico se monitoreó al antes e inmediatamente después de los 35 minutos del proceso de ozonización para las tres dosificaciones de gas ozono.
- Para el parámetro microbiológico, se tomó 1 ml (mediante pipeteo) de la muestra de agua residual al inicio y durante el proceso de ozonización en los tiempos 2, 4, 6, 8, 10, 15, 20, 25, 30, 35 minutos. Priorizando los tiempos de 10 y 15 minutos en los monitoreos, para las tres dosificaciones de gas ozono. Esto permitió determinar la concentración de los coliformes termotolerantes en dichos tiempos

“Remoción de Coliformes Termotolerantes del Efluente del Reactor UASB Utilizando Ozono”

Cuadro N° 5.3. Frecuencia de monitoreo

	Parámetro	Frecuencia
Parámetros físicoquímicos	Temperatura, pH, Oxígeno disuelto, Conductividad, Turbiedad	4 monitoreos por semana
	Sólidos Totales, Sólidos Suspendidos totales, Sólidos Disueltos totales, Sólidos Sedimentables	mensual
Parámetro Microbiológico	Coliformes termotolerantes	4 monitoreos por semana (quincenalmente)
Parámetro Bioquímico	DBO	mensual
Otros Parámetros	Transferencia de gas ozono al agua residual durante el proceso de ozonización	mensual

V.7. CRONOGRAMA DE MONITOREOS EN EL LABORATORIO

La investigación en el laboratorio se realizó durante 17 semanas distribuidas en 5 meses (Noviembre – Marzo). En cada semana se monitoreó la medición de los parámetros los días Martes y Jueves, en la mañana (9:30 a.m.) y tarde (2:30 p.m.).

En decir, para las condiciones planteadas, se realizó 33 monitoreos en la mañana y 33 monitoreos en la tarde, sumando un total de 66 monitoreos en total. Los monitoreos físico químicos se realizaron semanalmente y los monitoreos microbiológicos se realizaron quincenalmente, respectivamente en la mañana (9:30 a.m.) y tarde (2:30 p.m.) de los días martes y jueves. El DBO, sólidos y Transferencia de gas ozono al agua residual durante el proceso de ozonización se monitoreaba mensualmente. A continuación se muestra un cuadro detallando la frecuencia de cada prueba.

V.8. MÉTODOS ANALÍTICOS UTILIZADOS

V.8.1. ANÁLISIS FÍSICOS QUÍMICOS

V.8.1.1. TEMPERATURA

La medición de la temperatura en la investigación fue realizada bajo el procedimiento establecido por el “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater-APHA-AWWA-WEF” Parte 2550 B, 22^a Edición, 2012.

V.8.1.2. PH

La medición del pH, en la investigación fue realizada bajo el procedimiento establecido por el “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater-APHA-AWWA-WEF” Parte 4500-H⁺ B, 22^a Edición, 2012.

V.8.1.3. OXÍGENO DISUELTO

La medición del oxígeno disuelto, en la investigación fue realizada bajo el procedimiento establecido por el “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater-APHA-AWWA-WEF” Parte 4500-O G, 22^a Edición, 2012.

V.8.1.4. CONDUCTIVIDAD

La medición de la conductividad, en la investigación fue realizada bajo el procedimiento establecido por el “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater-APHA-AWWA-WEF” Parte 2510 B, 22^a Edición, 2012.

V.8.1.5. TURBIEDAD

La medición de la turbiedad, en la investigación fue realizada bajo el procedimiento establecido por el “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater-APHA-AWWA-WEF” Parte 2130 B, 22^a Edición, 2012.

V.8.1.6. SÓLIDOS TOTALES

La determinación de los sólidos totales, se realizó bajo el procedimiento establecido por el “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater-APHA-AWWA-WEF” Parte 2540 B, 22^a Edición, 2012.

V.8.1.7. SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES

La determinación de los sólidos suspendidos, se realizó bajo el procedimiento establecido por el “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater-APHA-AWWA-WEF” Parte 2540 D, 22ª Edición, 2012.

V.8.1.8. SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES

La determinación de los sólidos disueltos, se realizó bajo el procedimiento establecido por el “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater-APHA-AWWA-WEF” Parte 2540 C, 22ª Edición, 2012.

V.8.1.9. SÓLIDOS SEDIMENTABLES

La determinación de los sólidos sedimentables, se realizó bajo el procedimiento establecido por el “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater-APHA-AWWA-WEF” Parte 2540 F, 22ª Edición, 2012.

V.8.2. ANÁLISIS BIOQUÍMICOS

V.8.2.1. DEMANDA BIOLÓGICA DE OXÍGENO

La determinación de la demanda biológica de oxígeno, se realizó bajo el procedimiento establecido por el “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater-APHA-AWWA-WEF” Parte 5210 B, 22ª Edición, 2012.

V.8.3. ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS

V.8.3.1. COLIFORMES TERMOTOLERANTES (Procedimiento de filtro de membrana)

La determinación de coliformes termotolerantes fue determinada bajo el procedimiento establecido por el “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater-APHA-AWWA-WEF” Parte 9222 D, 22ª Edición, 2012.

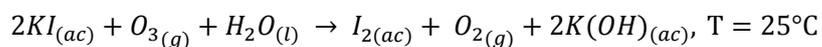
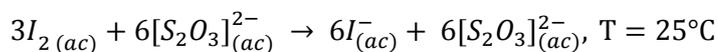
V.8.3.2. COLIFORMES TERMOTOLERANTES (Procedimiento de tubos múltiples)

La determinación de coliformes termotolerantes fue determinada bajo el procedimiento establecido por el “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater-APHA-AWWA-WEF” Parte 9221 E, 22ª Edición, 2012.

V.8.4. OTROS ANÁLISIS

V.8.4.1. YODOMETRÍA (Transferencia de gas ozono al agua residual durante el proceso de ozonización)

Es una técnica para medir ozono basado en un análisis yodométrico, la cual consta en la oxidación de yoduro con ozono y la posterior evaluación del yodo producido o su ion en la disolución. Este método utiliza reactivos redox primarios y el análisis del yodo se realiza por titulación con una solución de tiosulfato de sodio ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) (Gottardi 1998), de acuerdo a las reacciones:



Un cálculo de la Transferencia de gas ozono al agua residual durante el proceso de ozonización es presentado en el anexo N° 4, cuadro N° 12.21.

CAPITULO VI: RESULTADOS

A continuación, se presenta los resultados con sus respectivas desviaciones estándares obtenidos luego del procesamiento estadístico de la data registrada de la investigación en el laboratorio.

Cuadro N° 6.1. Resultados del monitoreo de parámetros físicos, químicos y bioquímicos.

Parámetro	Hora de monitoreo	Antes de ozonización	Después de ozonización		
		Efluente de reactor UASB	Dosificación 1 (2.1 g/h)	Dosificación 2 (2.7 g/h)	Dosificación 3 (3.0 g/h)
pH	Mañana (9:30 a.m.)	7.49 ± 0.31	8.20 ± 0.30	8.12 ± 0.26	8.04 ± 0.28
	Tarde (2:30 a.m.)	7.57 ± 0.29	8.01 ± 0.31	8.11 ± 0.35	8.18 ± 0.30
Temperatura (°C)	Mañana (9:30 a.m.)	26.23 ± 2.17	27.73 ± 2.26	27.19 ± 2.17	27.24 ± 2.29
	Tarde (2:30 a.m.)	27.13 ± 2.62	28.33 ± 2.45	28.40 ± 2.79	28.28 ± 2.72
Oxígeno Disuelto (mg/L)	Mañana (9:30 a.m.)	0.76 ± 0.17	8.21 ± 0.32	8.13 ± 0.27	7.99 ± 0.36
	Tarde (2:30 a.m.)	0.81 ± 0.18	8.00 ± 0.31	8.11 ± 0.35	7.89 ± 0.37

(Fuente: Elaboración propia)

“Remoción de Coliformes Termotolerantes del Efluente del Reactor UASB Utilizando Ozono”

Parámetro	Hora de monitoreo	Antes de ozonización	Después de ozonización		
		Efluente de reactor UASB	Dosificación 1 (2.1 g/h)	Dosificación 2 (2.7 g/h)	Dosificación 3 (3.0 g/h)
Conductividad (uS/cm)	Mañana (9:30 a.m.)	1069.74 ± 100.54	1109.10 ± 173.33	1054.55 ± 73.64	1053.23 ± 94.62
	Tarde (2:30 a.m.)	1098.17 ± 109.54	1112.38 ± 118.84	1046.34 ± 53.96	1092.41 ± 108.58
Turbiedad (UNT)	Mañana (9:30 a.m.)	45.55 ± 23.79	33.16 ± 7.55	29.90 ± 9.15	27.47 ± 6.37
	Tarde (2:30 a.m.)	47.46 ± 30.64	32.69 ± 7.66	29.49 ± 8.27	26.86 ± 7.34
Sólidos totales (mg/L)	Mañana (9:30 a.m.)	429.00 ± 270.13	634.75 ± 407.13	623.10 ± 315.30	773.50 ± 204.87
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	Mañana (9:30 a.m.)	40.50 ± 9.84	34.75 ± 9.34	26.75 ± 15.75	26.75 ± 12.64
Sólidos disueltos totales (mg/L)	Mañana (9:30 a.m.)	482.50 ± 240.89	605.50 ± 413.59	588.25 ± 290.79	499.25 ± 71.60
Sólidos Sedimentables (mg/L)	Mañana (9:30 a.m.)	NSRPP	NSRPP	NSRPP	NSRPP
DBO (mg/L)	Mañana (9:30 a.m.)	97.18 ± 7.34	23.01 ± 1.16	22.50 ± 1.14	12.15 ± 0.88
Transferencia de gas ozono al agua residual durante el proceso de ozonización	Mañana (9:30 a.m.)	No correspondió medición de este parámetro antes del proceso de ozonización.	98.53% ± 0.72%	98.81% ± 0.25%	97.90% ± 1.83%

(Fuente: Elaboración propia)

Nota: - NSRPP: No se registró presencia del parámetro.

“Remoción de Coliformes Termotolerantes del Efluente del Reactor UASB Utilizando Ozono”

Cuadro N° 6.2. Resultados del monitoreo de parámetro microbiológico mediante procedimiento de filtro de membrana.

Tiempo (minutos)	Coliformes Termotolerantes (UFC/100mL) - Procedimiento de filtro de membrana					
	Ozonización					
	Monitoreo 9:30 a.m.			Monitoreo 2:30 p.m.		
	Dosificación 1 (2.1 g/h)	Dosificación 2 (2.7 g/h)	Dosificación 3 (3.0 g/h)	Dosificación 1 (2.1 g/h)	Dosificación 2 (2.7 g/h)	Dosificación 3 (3.0 g/h)
0 (efluente UASB)	1.14E+09 ± 1.78E+09	1.14E+09 ± 1.78E+09	1.14E+09 ± 1.78E+09	1.05E+09 ± 1.51E+09	1.05E+09 ± 1.51E+09	1.05E+09 ± 1.51E+09
2	3.77E+08 ± 2.21E+08	2.55E+08 ± 1.73E+08	3.02E+08 ± 3.04E+08	3.32E+08 ± 2.94E+08	2.72E+08 ± 2.52E+08	2.47E+08 ± 1.30E+08
4	1.34E+08 ± 8.61E+07	1.67E+08 ± 9.94E+07	4.48E+07 ± 2.83E+07	4.66E+07 ± 3.19E+07	4.68E+07 ± 1.44E+07	1.66E+07 ± 1.18E+07
6	6.60E+07 ± 4.94E+07	6.73E+07 ± 5.54E+07	3.67E+07 ± 2.78E+07	1.85E+07 ± 1.21E+07	1.31E+07 ± 1.61E+07	2.73E+06 ± 2.43E+06
8	3.66E+06 ± 4.84E+06	1.91E+06 ± 1.34E+06	1.46E+06 ± 8.62E+05	1.26E+07 ± 1.47E+07	3.61E+06 ± 2.90E+06	2.36E+06 ± 2.88E+06
10	1.09E+06 ± 9.49E+05	7.63E+05 ± 5.84E+05	1.02E+06 ± 1.54E+06	1.50E+06 ± 2.08E+06	6.69E+05 ± 5.54E+05	4.58E+05 ± 2.78E+05
15	1.38E+06 ± 2.22E+06	3.40E+05 ± 3.15E+05	9.92E+04 ± 1.64E+05	1.06E+06 ± 1.65E+06	3.94E+05 ± 3.60E+05	3.98E+04 ± 3.12E+04
20	7.72E+04 ± 7.31E+04	5.03E+04 ± 2.82E+04	1.60E+04 ± 1.14E+04	2.65E+04 ± 1.61E+04	6.17E+04 ± 1.84E+04	1.61E+04 ± 1.76E+04
25	6.26E+04 ± 5.19E+04	2.09E+04 ± 7.95E+03	7.78E+03 ± 7.90E+03	4.68E+03 ± 1.38E+03	4.38E+03 ± 1.35E+03	4.33E+03 ± 1.72E+03
30	6.71E+03 ± 4.72E+03	6.40E+03 ± 4.25E+03	4.11E+03 ± 3.17E+03	5.47E+03 ± 1.95E+03	2.33E+03 ± 4.11E+02	5.33E+02 ± 3.87E+02
35	4.95E+03 ± 4.32E+03	1.04E+03 ± 2.70E+02	2.78E+02 ± 2.56E+02	3.85E+03 ± 2.42E+03	5.25E+02 ± 1.12E+02	3.00E+02 ± 1.60E+02
Nota: Los valores correspondientes al tiempo cero, son los resultados de la concentración de coliformes termotolerantes en el afluente del UASB						

(Fuente: Elaboración propia)

“Remoción de Coliformes Termotolerantes del Efluente del Reactor UASB Utilizando Ozono”

Cuadro N° 6.3. Resultados del monitoreo de parámetro microbiológico mediante procedimiento de tubos múltiples.

Tiempo (minutos)	Coliformes Termotolerantes (NMP/100mL) - Procedimiento de tubos múltiples					
	Ozonización					
	Monitoreo 9:30 a.m.					
	Dosificación 1 (2.1 g/h)		Dosificación 2 (2.7 g/h)		Dosificación 3 (3.0 g/h)	
0 (efluente UASB)	1.20E+09	± 5.00E+08	9.00E+07	± 5.00E+07	1.10E+08	± 3.00E+07
2	4.10E+08	± 1.00E+07	1.60E+08	± 4.00E+07	8.40E+07	± 1.40E+07
4	1.59E+08	± 1.42E+08	1.30E+08	± 1.00E+07	3.00E+07	± 0.00E+00
6	4.05E+07	± 2.95E+07	2.10E+07	± 9.00E+06	1.35E+07	± 2.50E+06
8	8.00E+06	± 1.00E+06	2.10E+06	± 7.00E+05	9.00E+05	± 2.00E+05
10	4.35E+06	± 2.65E+06	7.45E+05	± 6.55E+05	2.09E+05	± 1.92E+05
15	6.55E+05	± 5.45E+05	1.00E+05	± 1.00E+04	3.00E+04	± 1.00E+04
20	3.20E+05	± 9.00E+04	2.45E+04	± 5.50E+03	6.50E+04	± 4.50E+04
25	5.25E+04	± 7.50E+03	1.33E+04	± 1.75E+03	3.40E+03	± 5.00E+02
30	2.55E+04	± 1.45E+04	8.00E+03	± 1.00E+03	2.00E+03	± 3.00E+02
35	4.20E+03	± 2.80E+03	9.00E+02	± 2.00E+02	7.70E+02	± 1.30E+02
Nota: Los valores correspondientes al tiempo cero, son los resultados de la concentración de coliformes termotolerantes en el afluente del UASB						

(Fuente: Elaboración propia)

“Remoción de Coliformes Termotolerantes del Efluente del Reactor UASB Utilizando Ozono”

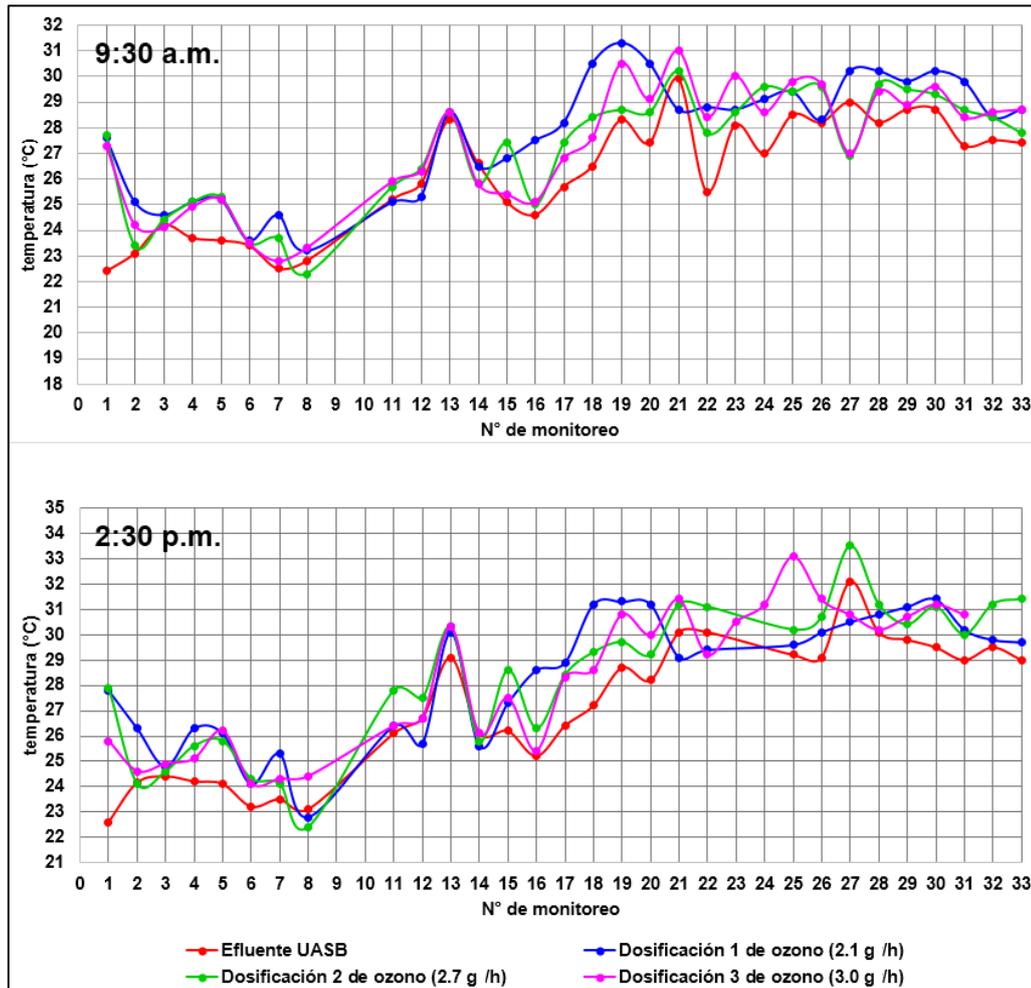
CAPITULO VII: DISCUSIÓN

En este capítulo se presenta el análisis, así como la discusión de resultados que fueron producto de los meses de experimentación y monitoreo. Así mismo se compara los resultados obtenidos con lo descrito en las investigaciones antecedentes y el marco legal ubicado en el capítulo I y III, respectivamente.

VII.1. TEMPERATURA

Este parámetro evaluado en el presente estudio, constituyó un indicador importante en las interacciones físicas, químicas y biológicas que ocurrieron en los análisis en laboratorio así como en los procesos de ozonización (Rodríguez, 2003).

Gráfica N° 7.1. Variación de la temperatura durante el tiempo de monitoreo



“Remoción de Coliformes Termotolerantes del Efluente del Reactor UASB Utilizando Ozono”

Según la gráfica N° 7.1, se evidencia un aumento de temperatura del efluente del reactor UASB, conforme transcurrió la investigación. Esto es debido a que los meses de enero, febrero y marzo fueron meses veraniegos en la ciudad de Lima. Propiciando un aumento de la temperatura del agua residual analizada. Este aumento influyó en la acción del ozono con los procesos biológicos, inhibiendo a los coliformes termotolerantes (Amy et al., 2003), debido a que el incremento de la velocidad de reacción del ozono con los constituyentes de los microorganismos (Rodríguez, 2003). Lo cual favoreció en la investigación, ya que permitió remover la carga microbiana.

El aumento de temperatura, también fue evidenciado al finalizar los procesos de ozonización para las diferentes dosificaciones, esto se observa en la gráfica N° 7.1. Este fenómeno principalmente se da por la generación de moléculas y subproductos que se producen al interactuar el ozono con la materia orgánica e inorgánica presente en las muestras del efluente del UASB así como las moléculas de agua (Osorio et al., 2010). Estos subproductos son más simples y por lo general presentan reacciones exotérmicas por rompimiento o desprendimiento de sus enlaces. Así mismo se da la reacción inversa a la presentada en el capítulo 2:



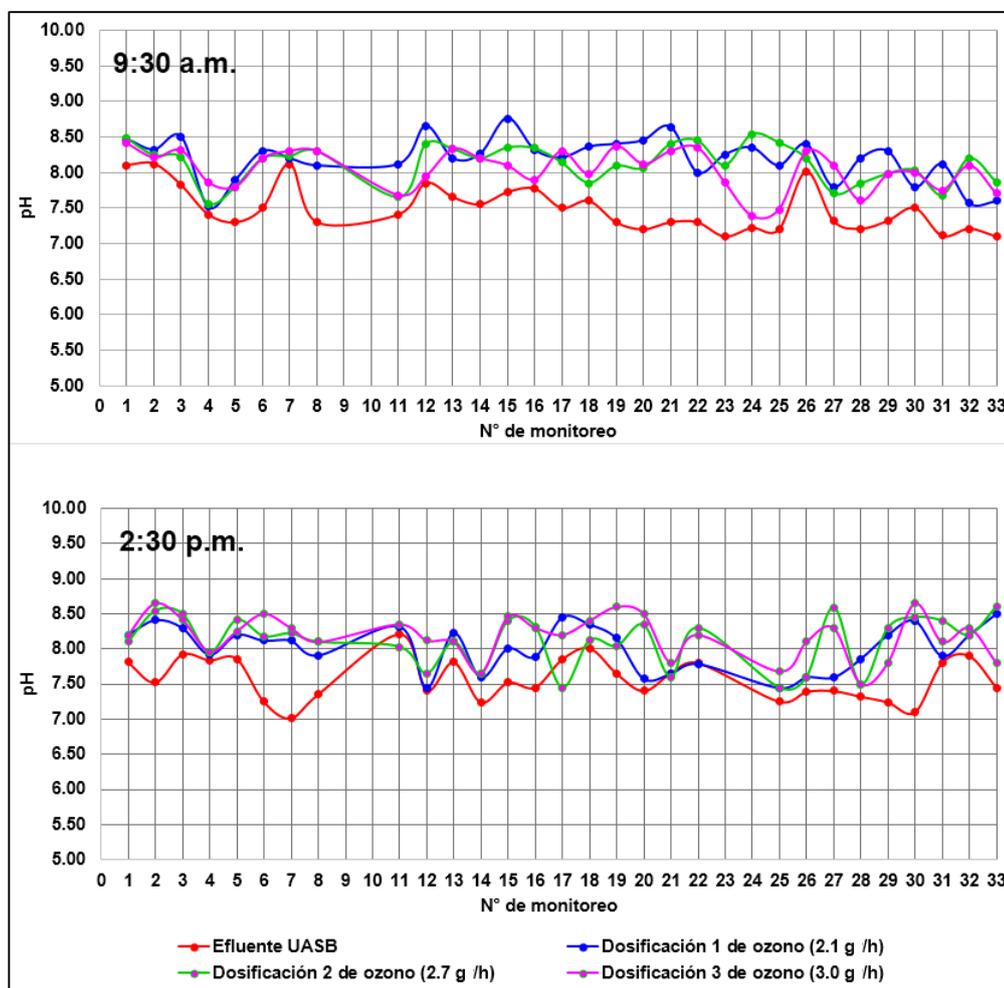
Existieron monitoreos en los cuales se observaron un notable incremento de temperatura entre el efluente del reactor UASB con el agua residual al finalizar la ozonización. Esto se observa en el monitoreo 1 de las 9:30 a.m. y 2:30 a.m. de la gráfica N° 7.1, en el cual se obtuvo 23.7 % de incremento de la temperatura para el efluente del UASB / dosificación 2.7 g/h. Sin embargo en las curvas de la gráfica N° 7.1, se visualiza valores de temperatura de monitoreos de las aguas ozonizadas menores que el efluente del UASB. Esto a causa que hubo un lapso mayor de cinco minutos para el registro de la temperatura al finalizar el proceso de ozonización, provocando una disminución de la temperatura de la muestra ozonizada. Según la investigación de A. Yasar y A. Bari, temperaturas menores a 30°C se observó una mejor eficiencia de remoción en microorganismos por parte del ozono en las aguas residuales. En la presente investigación las temperaturas aumentaron al finalizar la ozonización pero no excedían el límite recomendado por los investigadores.

“Remoción de Coliformes Termotolerantes del Efluente del Reactor UASB Utilizando Ozono”

VII.2. PH

Según los resultados recolectados durante el periodo de experimentación, se obtuvo un valor máximo y mínimo de 8.12 y 7.1 respectivamente del pH, para los monitoreos que se realizaron en la mañana y tarde respectivamente para el efluente del reactor UASB. Esta variabilidad de valores de pH del efluente del reactor UASB depende principalmente de las interacciones de ácidos grasos volátiles y la alcalinidad (Cajigas, Pérez y Torres., 2005)

Gráfica N° 7.2. Variación del pH durante el tiempo de monitoreo



En el proceso de ozonización el valor del pH del el agua residual a tratar es afectado y/o depende de los procesos físicos y químicos que ocurren en el medio. Si bien es cierto para valores elevados de pH (8-10), contribuye en la eficiencia de

“Remoción de Coliformes Termotolerantes del Efluente del Reactor UASB Utilizando Ozono”

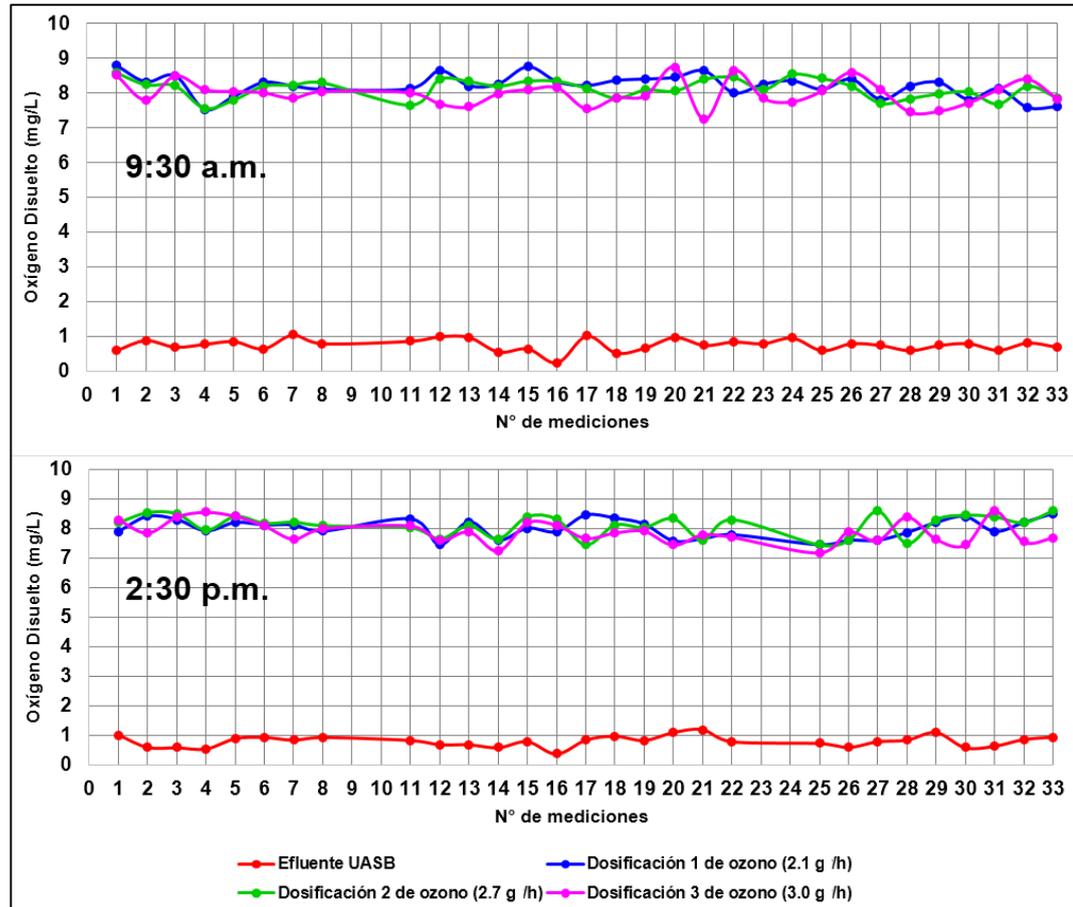
destrucción de microorganismos (Rodríguez, 2003), la auto destrucción del ozono en medio acuoso es promovida por la existencia de iones OH^- , debido a que se generan en la interacción entre el agua y el ozono. Así también a la concentración de sales disueltas. Por ende este aumento del valor del pH del efluente del reactor UASB se debió principalmente por la aparición de formas iónicas como el OH^- luego del proceso de ozonización (Forero et al., 2005), lo cual se visualiza en la gráfica N° 7.2.

Según la gráfica N° 7.2, en la investigación se tuvo una variación porcentual máxima de 21.8 % luego de la ozonización con dosificación “3” (3.00 g/h). Según la investigación realizada en por Da Silva en el año 2015, se utilizó 5, 8 y 10 mg/L de ozono para el tratamiento de efluentes de un reactor UASB consiguiendo al finalizar la ozonización una elevación de los valores de pH de un rango inicial de 6.4-7.0 al rango final de 6.7-7.3, lo cual es concordante con lo experimentado en la investigación.

“Remoción de Coliformes Termotolerantes del Efluente del Reactor UASB Utilizando Ozono”

VII.3. OXÍGENO DISUELTO

Gráfica N° 7.3. Variación del oxígeno disuelto durante el periodo de monitoreo



Según la gráfica N° 7.3 para el efluente del reactor UASB se muestra una curva con una tendencia de valores por debajo de 1 mg/L, debido a que el pretratamiento desarrollado, basa su principio en la descomposición de la materia orgánica por la vía anaerobia. Produciéndose mecanismos de digestión de la materia orgánica e inorgánica del agua residual finalmente liberándose gases y gran parte del consumo del oxígeno disuelto del agua residual (Solera del río et al, 2014)

Durante el proceso de ozonización, las muestras del efluente del reactor UASB fueron sometidas a una aireación de mezcla de gases y ozono a tres diferentes dosificaciones. El ozono reacciona produciendo moléculas de oxígeno gaseoso

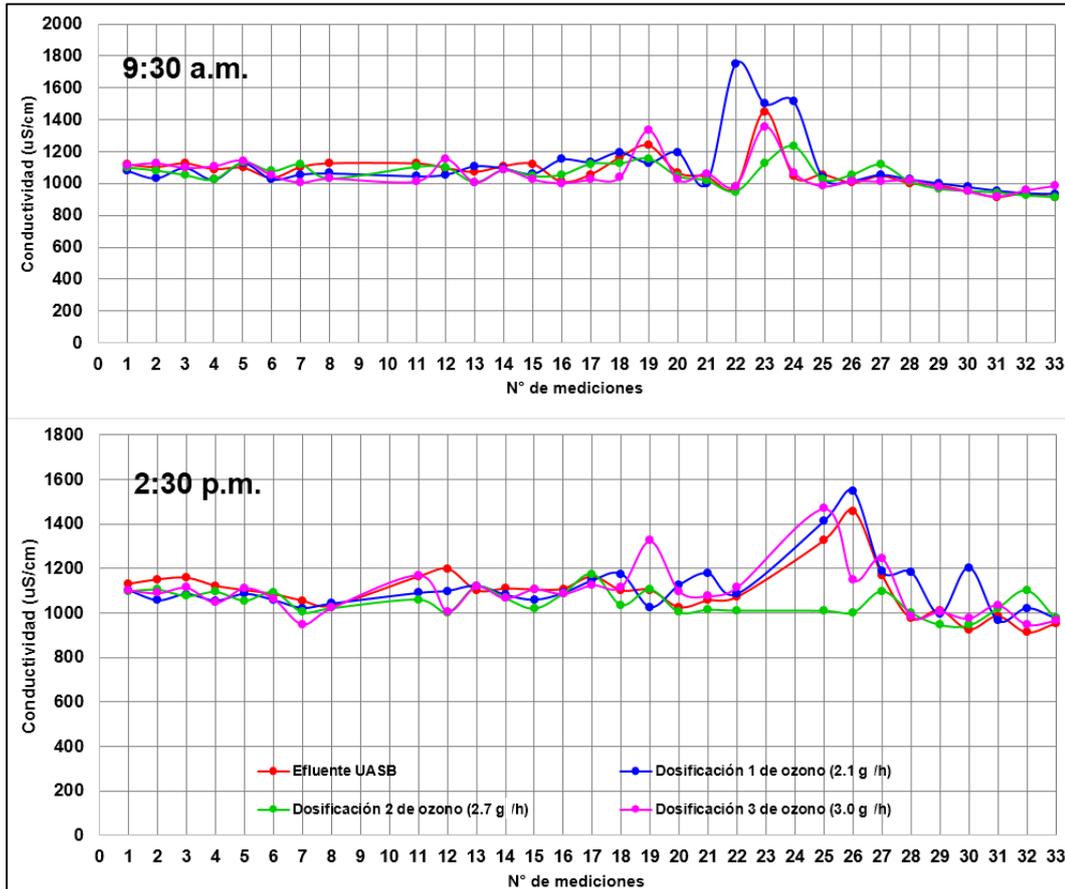
“Remoción de Coliformes Termotolerantes del Efluente del Reactor UASB Utilizando Ozono”

en su interacción con el medio líquido (Forero et al, 2005). Parte de este oxígeno queda disperso en la muestra, incrementando considerablemente el oxígeno disuelto a la solubilidad del gas a la temperatura promedio de trabajo (Roldán y Ramírez, 2008) Los valores al finalizar el proceso de ozonización estuvieron en el rango 7.0 mg/L - 8.00 mg/L de oxígeno disuelto. Es decir se registraron incrementos porcentuales alrededor de hasta más de 1000 %. El incremento del oxígeno disuelto a los niveles alcanzados en la presenta investigación, logra cumplir con la normativa y es importante respecto a la calidad para agua de riego.

“Remoción de Coliformes Termotolerantes del Efluente del Reactor UASB Utilizando Ozono”

VII.4. CONDUCTIVIDAD

Gráfica N° 7.4. Variación de la conductividad durante el periodo de monitoreo



Los análisis de conductividad realizados en la investigación referida, a la conductividad arrojan valores máximos y mínimos de 1458 uS/cm y 912 uS/cm para el efluente del reactor UASB en la tarde. Los análisis hechos se dieron básicamente para establecer algún grado de mineralización que se tenga, por las concentraciones de iones disueltos en las aguas residuales. Luego del proceso de ozonización la conductividad de las muestras tratadas tuvieron diferentes resultados de disminución y aumento de la conductividad. En la gráfica N° 7.4 se observó que porcentualmente para la dosificación “1” (2.1g/h) se presenció un aumento máximo de 79.2 % y una disminución máxima de 8.7 % en la mañana. Para la dosificación “2” (2.7 g/h) se tiene un aumento máximo de 20.7 % y una disminución máxima de 31.3 % en mediciones de la tarde. Para la dosificación “3”

“Remoción de Coliformes Termotolerantes del Efluente del Reactor UASB Utilizando Ozono”

(3.00 g/h) se tiene un aumento máximo de 20.1 % y una disminución máxima de 21.2 % en mediciones de la tarde.

La variación de la conductividad se debe principalmente a la formación de subproductos por la ozonización. Así mismo, por la descomposición de los carbonatos y/o bicarbonatos en sustancias más simples (Osorio et al., 2010). La medición de estos subproductos no fueron contemplados en la presente investigación de tesis. Los puntos más elevados que se evidencian en la gráfica N° 7.4, fueron principalmente debido a que esos días se registraron las muestras más turbias del efluente del reactor UASB, y es contrastado por la gráfica N° 7.4 provocando una mayor concentración sólidos disueltos en esos monitoreos.

Investigaciones precedentes vinculan la variación de la conductividad como producto de la oxidación de los sólidos disueltos totales, obteniéndose incrementos y decrementos de estos valores para dosificaciones 472 , 428 y 431 mg/l de ozono. (Dianawati, Wahyuningsih y Nur, 2018).

VII.5. TURBIEDAD

Los resultados obtenidos durante el tiempo de investigación muestran una reducción de la turbiedad conforme se aumenta la dosificación de ozono suministrado en el proceso de ozonización.

La turbiedad del agua residual extraída del reactor UASB es producto de la existencia de partículas suspendidas en el medio y la materia coloidal que también se encuentra. El proceso de ozonización oxida esta materia transformándola en material disuelto principalmente (Vidal, 2003). Los resultados de la turbiedad según los expresado en la tabla N° 6.10 del capítulo anterior para la ozonización con la dosificación “1” (2.1 g/h) dieron una disminución mínima de 5.9% y una máxima de 70.4% correspondientes a las mediciones de la mañana.

Para los tratamientos de las dosificaciones “2” (2.70 g/h) y “3” (3.00 g/h) se tuvieron una disminución mínima y una máxima de 9 %, 71.8% y 6.9%, 74.6% respectivamente correspondientes a las mediciones de la mañana y tarde.

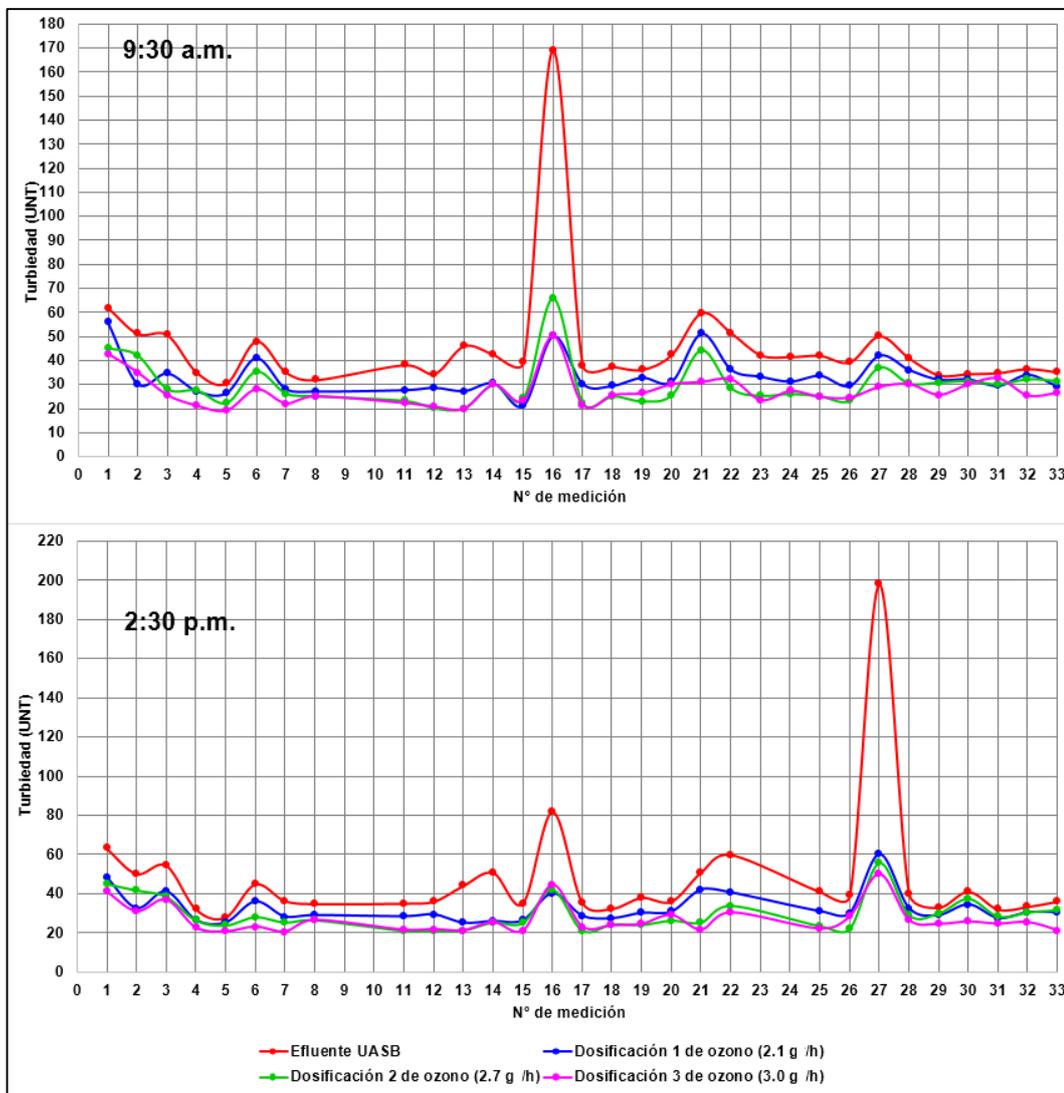
Los puntos más elevados que se evidencian en la gráfica N° 7.5, fueron principalmente debido a que esos días se registraron las turbiedades más altas

“Remoción de Coliformes Termotolerantes del Efluente del Reactor UASB Utilizando Ozono”

del efluente del reactor UASB. Aún así el proceso de ozonización logró reducir considerablemente esta turbiedad, tratando de mantener constante la turbiedad final del efluente luego de la ozonización. Fue en dichos puntos que se registraron el porcentaje máximo de remoción de turbiedad

Estos resultados se refuerzan por lo experimentado por Da Silva y Dianawati en la remoción mediante ozonización de sólidos y carga orgánica presentes en aguas residuales.

Gráfica N° 7.5. Variación de la turbiedad durante el monitoreo.



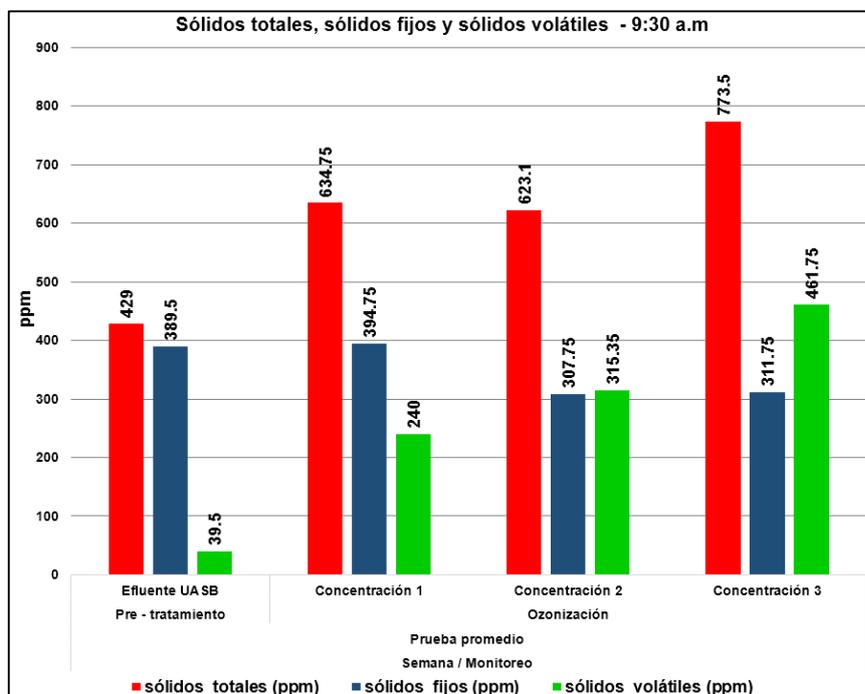
“Remoción de Coliformes Termotolerantes del Efluente del Reactor UASB Utilizando Ozono”

VII.6. SÓLIDOS

Los resultados de los análisis de sólidos que fueron realizados durante la investigación. Muestran un comportamiento característico dependiendo de la dosificación de ozono que fue sometida la muestra.

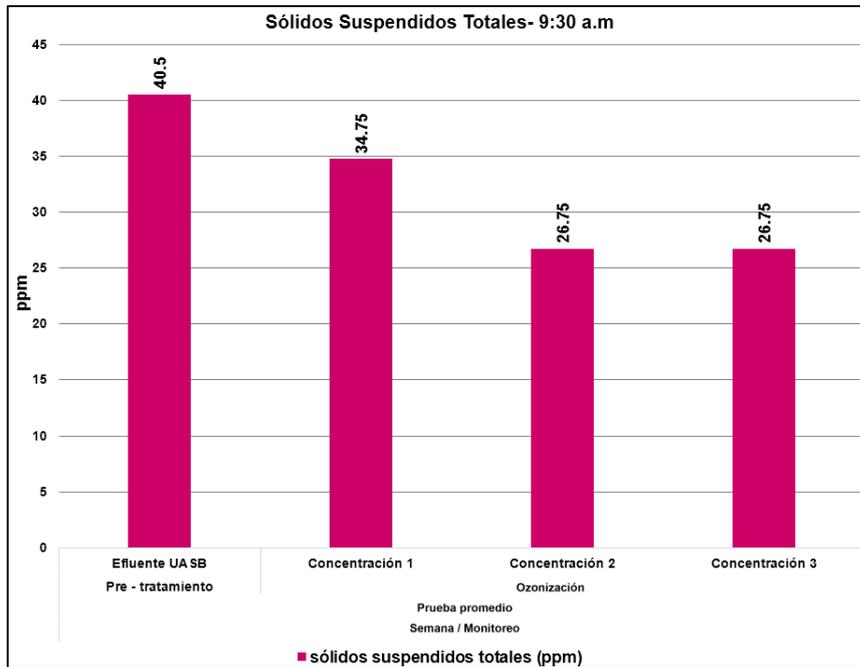
Con respecto a los sólidos totales, fijos y suspendidos, para el efluente del reactor UASB se obtuvieron valores dentro de rangos 842 ppm – 113 ppm, 428 ppm - 97 ppm y 54 ppm -16 ppm, respectivamente. Cuando la muestra fue sometida al proceso de ozonización se produjo un aumento en el valor de sólidos totales, así como se aprecia en la gráfica N° 7.6. Este aumento fue mayor para la dosificación 3 (3.0 g/h) de ozonización principalmente. Así mismo el porcentaje de distribución de sólidos fijos y sólidos volátiles cambiaron con un aumento considerable en los sólidos volátiles al finalizar el proceso, esto se puede ver en la tabla N° 12.15 del anexo N° 3 .

Gráfica N° 7.6. Variación sólidos totales, fijos y volátiles durante el monitoreo

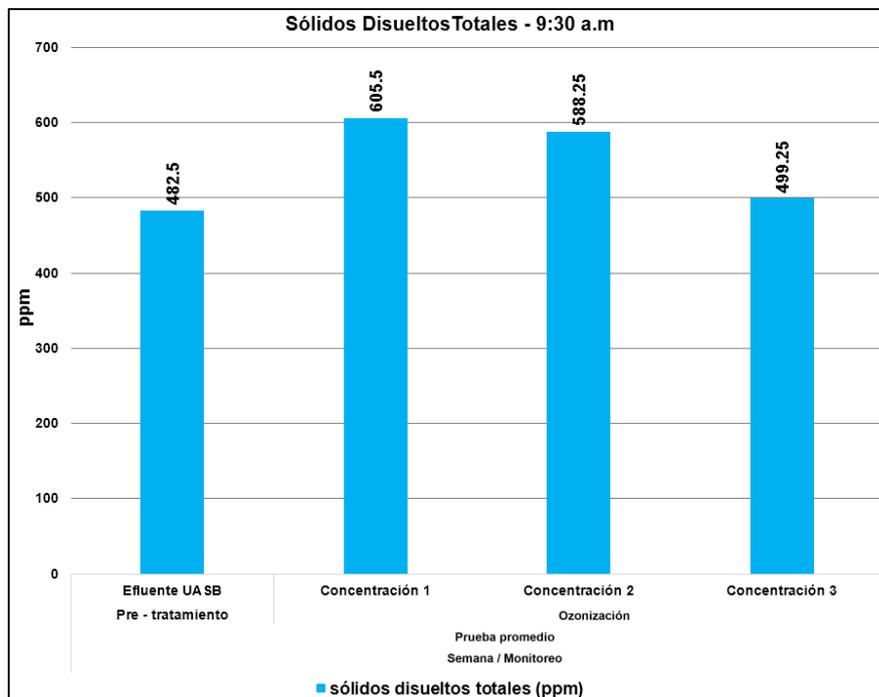


Gráfica N° 7.7. Variación sólidos suspendidos totales durante el monitoreo

“Remoción de Coliformes Termotolerantes del Efluente del Reactor UASB Utilizando Ozono”



Gráfica N° 7.8. Variación sólidos disueltos totales durante el monitoreo



Los sólidos suspendidos son la materia particulada en suspensión que se constituyen de sustancias orgánicas e inorgánicas. Las cuales no se disuelven en el agua residual. Los resultados ensayados en el presente estudio muestran valores en rangos de 57 ppm – 31 ppm de sólidos suspendidos totales para el

“Remoción de Coliformes Termotolerantes del Efluente del Reactor UASB Utilizando Ozono”

efluente del reactor UASB. Luego de la ozonización estos valores tienden a disminuir dependiendo de la dosificación de ozono utilizado. Esto se evidencia en la gráfica N° 7.7 que da valores promedios luego del procesamiento de la data recopilada de la tabla N° 12.14 del anexo N°3 , producto de las reacciones químicas ya que la materia suspendida fue oxidada por el ozono (Forero et al, 2005).

Los sólidos disueltos (SD) son aquellos sólidos conformados por las sales inorgánicas que se encuentran disueltas en el medio. Es decir la presencia de iones y cationes producto de estas disociaciones. La presencia de SD está asociada a la conductividad. Los resultados muestran un incremento de los sólidos disueltos considerablemente luego de la ozonización tal como se observa en la gráfica N° 7.8. Según la investigación realizada por Dianawati, las aguas residuales tratadas por ozonización presentaron un incremento y decremento conforme se aumentaba la dosificación de ozono de 100 mg/L a 300 mg/L y se hacía variar el tiempo de tratamiento. Lo cual también se evidenció en la presente investigación

En los análisis realizados para los sólidos sedimentables no evidenciaron sedimentación de sólidos en la parte inferior del tubo imhoff; tanto en el efluente del reactor UASB, así como en las muestras tratadas luego del proceso de ozonización para las diferentes dosificaciones de ozono aplicadas.

“Remoción de Coliformes Termotolerantes del Efluente del Reactor UASB Utilizando Ozono”

VII.7. COLIFORMES TERMOTOLERANTES

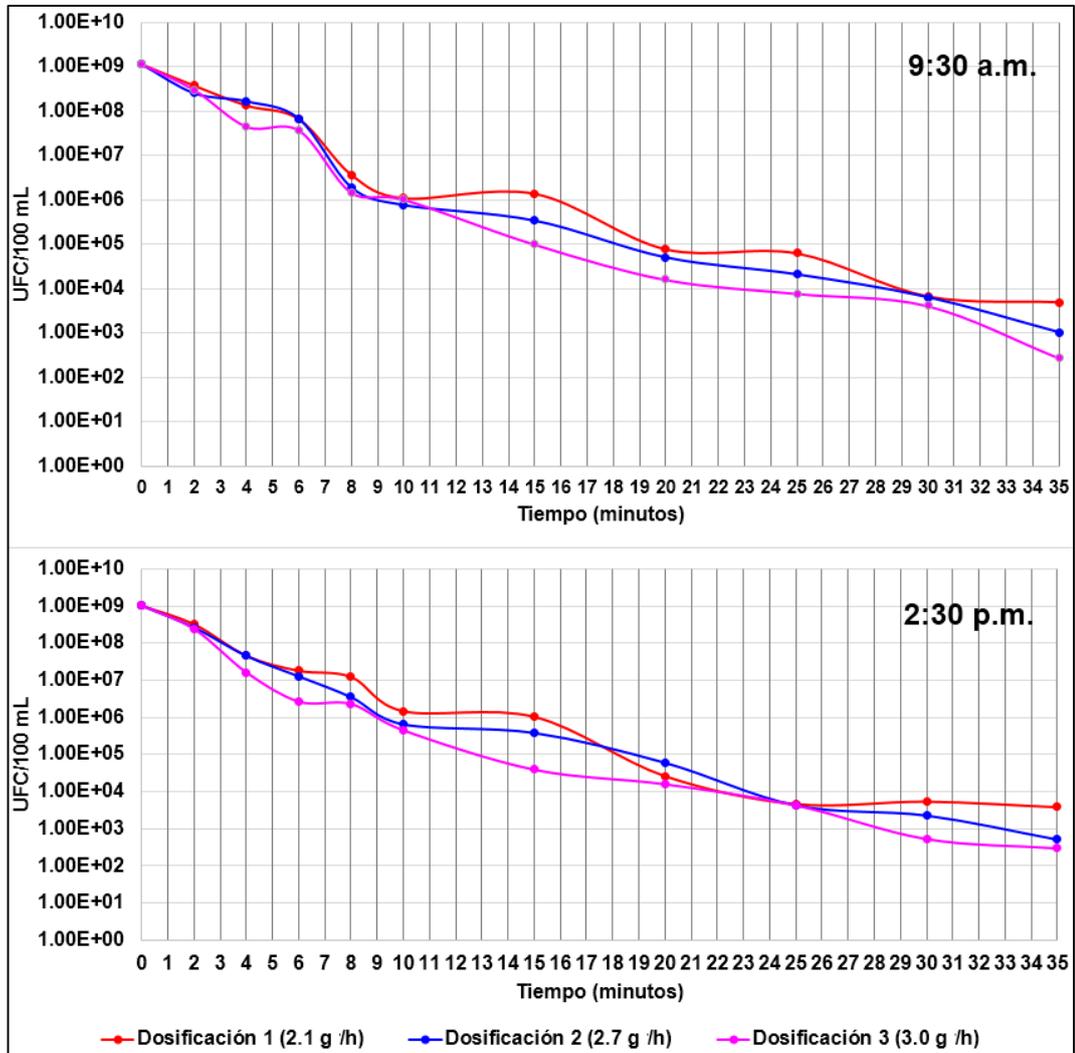
Los resultados obtenidos luego de la investigación para la remoción de coliformes termotolerantes mediante la técnica de filtro de membrana, muestran un comportamiento de reducción en promedio de 6 unidades logarítmicas para la dosificación “3” (3.0 mg/h). Así como de 5 unidades logarítmicas para las demás dosificaciones de ozonización (2.1 y 2.7 g/h). En la gráfica N° 7.9 se muestran las curvas de reducción de las concentraciones de coliformes termotolerantes para las diferentes dosificaciones de ozonización versus el tiempo durante el proceso de ozonización (35 minutos). La dosificación “3” de ozono (3.0 g/h), logró remover los coliformes de nueve a dos unidades logarítmicas promedio, en 35 minutos en comparación de otras dosificaciones.

El cuadro N° 12.16 del anexo N°3 se presenta la concentración de coliformes termotolerantes durante el tiempo de ozonización. Así mismo la gráfica N°7.10 se muestra los ensayos realizados mediante tubos múltiples para determinar la remoción logarítmica de coliformes termotolerantes. Se halló finalmente concentraciones de $4.20E+03$, $9.00E+02$ y $7.70E+02$ NMP/100mL de coliformes termotolerantes, para las dosificaciones de ozono “1” (2.1 g/h), “2” (2.7 g/h) y “3” (3.0 g/h) respectivamente. Adicionalmente se obtuvo una máxima reducción logarítmica de 6 para la dosificación “3” descritas en el cuadro N° 12.16 del anexo N°3

Esta reducción se debe básicamente por el efecto que tiene el ion hidroxilo en la estructura, y metabolismo las bacterianas (Vidal, 2003). Según las investigación realizada por Da Silva pudo reducir la concentración de coliformes termotolerantes a $1.90.10E+5$, $3.05E+5$ y $2.40E+5$ con respecto a la concentración de inicio de $1.30+E7$, $9.40+E6$ y $1.30+E7$ para las dosis aplicadas fueron de 5, 8 y 10 mg/l de ozono para un tiempo de 5, 10 y 15 minutos de ozonización. Este resultado difiere al de la presente investigación, debido a que se usó una dosis mucho mayor, un tiempo de 35 minutos y una configuración diferente del reactor tipo Batch.

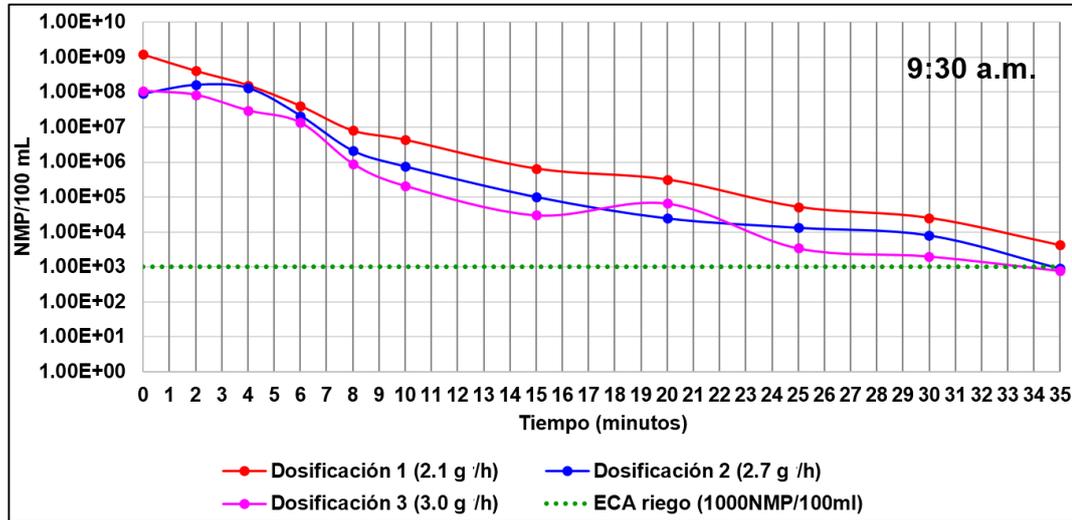
**“Remoción de Coliformes Termotolerantes del Efluente del Reactor UASB
Utilizando Ozono”**

Gráfica N° 7.9. Curva de reducción de la concentración de coliformes termotolerantes (UFC/100 ml)



**“Remoción de Coliformes Termotolerantes del Efluente del Reactor UASB
Utilizando Ozono”**

Gráfica N° 7.10. Curva de reducción de la concentración de coliformes termotolerantes (NMP/100 ml)

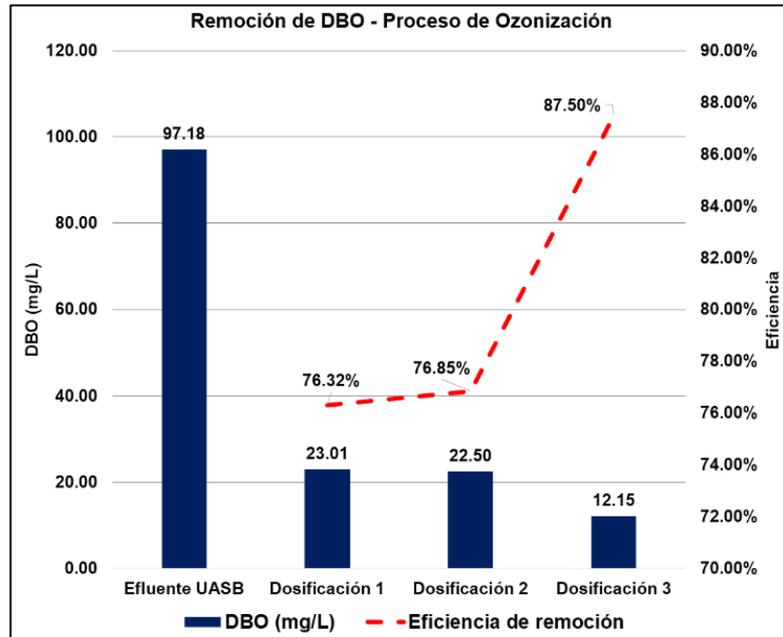


VII.8. DBO

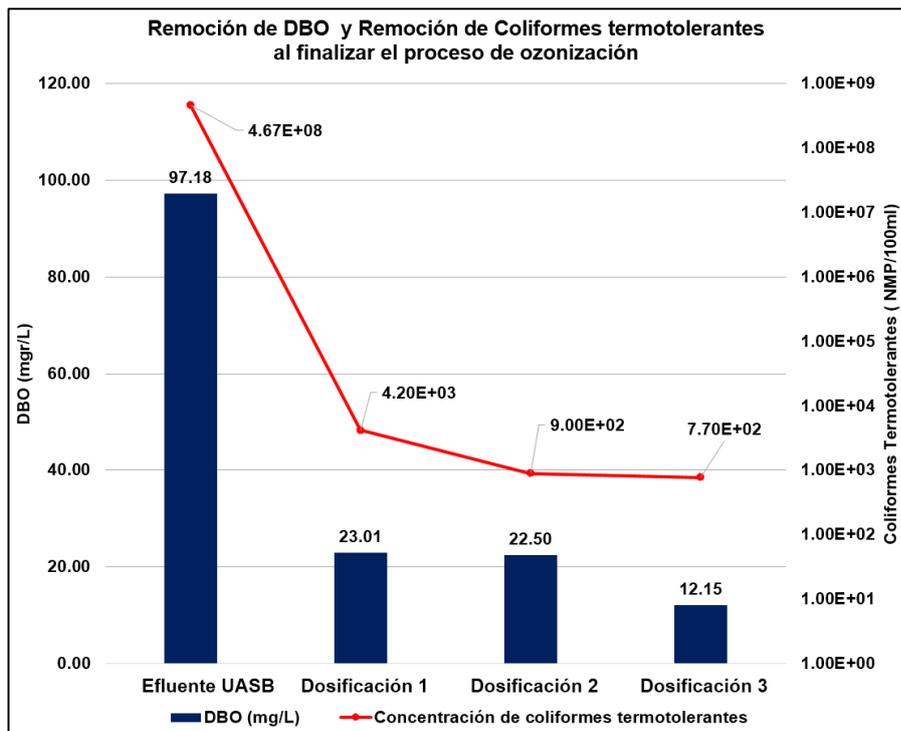
Los resultados obtenidos para la DBO es el reflejo de la remoción de las concentraciones de coliformes termotolerantes por el proceso de ozonización (Vidal, 2003). Esto se evidencia en la gráfica N° 7.12, en la que al finalizar el proceso de ozonización la dosificación “3” (3.0 g/h) se llegó a una DBO y concentración de termotolerantes de 12.15 mg/l y 7.70E+02 NMP/100ml respectivamente. Ya que la medición de la DBO fue realizado por el método indirecto de medición de oxígeno disuelto. Se obtuvieron resultados que indicaron una disminución porcentual en los rangos 80.81% - 73.73%, 80.93% - 73.56% y 89.91% - 85.06% para las dosificaciones “1”, “2” y “3” de ozonización respectivamente. Según la gráfica N° 7.11 se muestra la reducción de la DBO, conforme va aumentando la dosificación de ozono en el proceso de tratamiento. Así mismo se muestra las curvas de remoción en valores porcentuales. En las pruebas realizadas se lograron obtener una DBO al finalizar el proceso de ozonización con valores de 23.01, 22.50 y 12.15 mg/L. para cada una de las dosificaciones usadas. En las investigaciones realizadas por Da Silva, Janex y Yasar se relaciona la variable de remoción de carga de coliformes termotolerantes con la remoción de la demanda biológica de oxígeno, tal como se realizó en la presente investigación

“Remoción de Coliformes Termotolerantes del Efluente del Reactor UASB Utilizando Ozono”

Gráfica N° 7.11. Remoción de DBO durante el proceso, para las tres diferentes dosificaciones de ozonización.



Gráfica N° 7.12. Remoción de DBO y coliformes termotolerantes al finalizar el proceso de ozonización.

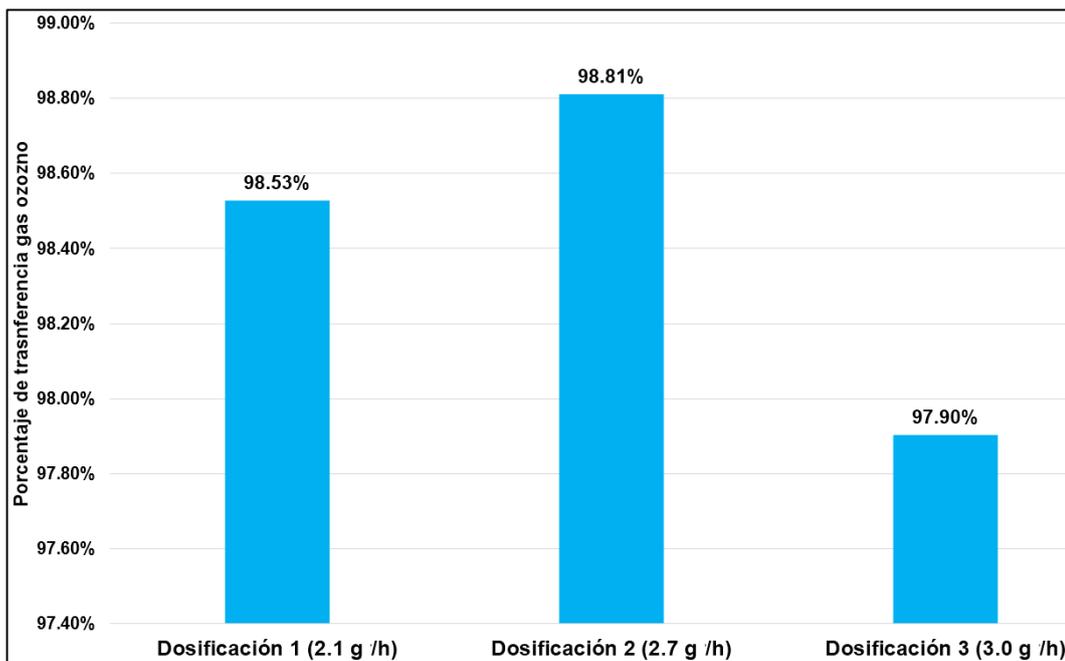


“Remoción de Coliformes Termotolerantes del Efluente del Reactor UASB Utilizando Ozono”

VII.9. TRANSFERENCIA DE GAS OZONO AL AGUA RESIDUAL DURANTE EL PROCESO DE OZONIZACIÓN

La prueba fue realizada para poder obtener el valor porcentual de consumo de gas ozono para oxidar los compuestos orgánicos y/o inorgánicos presentes en las muestras de efluentes del reactor del UASB. Esta prueba fue realizada para cada una de las dosificaciones usadas en la presente investigación. Los resultados de transferencia de gas ozono fueron 98.53%, 98.81% y 97.90% durante el proceso de ozonización para las dosificaciones “1” (2.1g/h), “2” (2.7 g/h) y “3” (3.00 g/h) respectivamente. Se muestra en la gráfica N° 7.13. Estos valores muestran un alto nivel de consumo del gas ozono para la oxidación, y se relaciona directamente por la configuración de reactor batch que se utilizó para la experimentación (Da Silva et al., 2015). Estos resultados fueron realizados mediante el método Yodométrico. En las investigaciones de Da Silva se obtuvieron transferencia de gas ozono al agua residual de 81.2, 88.8 y 92.3 % para las dosificaciones utilizadas de 5, 8 y 10 mg/L. Las cuales son relativamente comparables con la presente investigación ya que se utilizó una configuración de reactor Batch diferente.

Gráfica N° 7.13. Porcentaje de transferencia de gas ozono al agua residual durante el proceso de ozonización.



“Remoción de Coliformes Termotolerantes del Efluente del Reactor UASB Utilizando Ozono”

VII.10. ACERCA DEL CUMPLIMIENTO DEL MARCO LEGAL

Los parámetros exigidos por el decreto supremo N° 003-2010-MINAM establecen un límite máximo de 100 mg/L de DBO, en la investigación se obtuvieron valores de 23.01 mg/L, 22.50 mg/L y 12.15 mg/L en las tres dosificaciones de ozono utilizadas, los cuales están por debajo del LMP. Así mismo para el pH, sólidos totales en suspensión y temperatura establece valores y rangos de 6.5-8.5, 150 mg/L, <35 °C respectivamente. Los resultados obtenidos se encuentran dentro del rango de pH establecido. Los sólidos suspendidos totales se encuentran por debajo del LMP establecido y la temperatura promedio se encuentra también por debajo del LMP establecido; para todas las dosificaciones de ozonización que se experimentaron.

El decreto supremo N° 004-2017-MINAM, para el uso de aguas, en la categoría 3 y subcategoría D1 (riego de vegetales, agua para riego no restringido), establece como estándar de calidad de agua para coliformes termotolerantes un valor de 1000 NMP/100 ml. Tal como se muestra en la gráfica N° 7.9 la presente investigación logró cumplir el ECA citado para determinado tiempo de ozonización (35 minutos) y dosificaciones de ozono (2.1 y 3 g/h) a una muestra de efluente del reactor UASB de 1 litro.

Las muestras ozonizadas cumplen con lo establecido en los ECA agua - categoría 3, riego de vegetales y bebida de animales. Los resultados finales cumplieron con lo indicado en el pH (6.5-8.4) y oxígeno disuelto (>5 mg/L) para las dosificaciones 2.1, 2.7 y 3.00 g/h. Así mismo solo los resultados de la dosificación 3.00 g/h cumplió con lo establecido para la DBO (<=15 mg/L). Y la concentración de coliformes termotolerantes para plantas de tallo bajo y alto fue menor a 2000 NMP/100mL para las tres dosificaciones investigadas

Así mismo las directrices de la OMS, establece como valor recomendado a 1000 números de coliformes fecales por 100 ml de agua residual, para la calidad microbiológica de las aguas residuales empleadas en agricultura. En el caso específico de riego de cultivos que comúnmente se consumen crudos, campos de deporte y parques públicos. En la presente investigación se logró cumplir esta

“Remoción de Coliformes Termotolerantes del Efluente del Reactor UASB Utilizando Ozono”

condición para determinado tiempo de ozonización (35 minutos) y dosificaciones de ozono (2.1 y 3 g/h) a una muestra de efluente del reactor UASB de 1 litro.

CAPITULO VIII: CONCLUSIONES

1. Al finalizar los 35 minutos de ozonización, a una dosificación de 2.10, 2.70 y 3.00 g/h de gas ozono la concentración de coliformes termotolerantes logró disminuir en 6, 6 y 7 unidades logarítmicas respectivamente para el método de filtro de membrana; así como 6, 5 y 6 para el método de tubos múltiples usados en la investigación. Por lo tanto se concluye que se logró comprobar la hipótesis planteada inicialmente.
2. Se concluye que a 35 minutos de tratamiento con ozono a una dosis de 2.7 o 3.0 g/h en un litro de agua residual domestica extraído del efluente del reactor UASB de CITRAR, permite cumplir uno los requerimientos microbiológicos del Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM, referido al ítem de Coliformes Termotolerantes para el riego no restringido (parques públicos y áreas verdes) de la categoría 3
3. Se concluye que las muestras ozonizadas cumplen con lo establecido en los ECA agua - categoría 3, riego de vegetales y bebida de animales. Los resultados finales cumplieron con lo indicado en el pH (6.5-8.4) y oxígeno disuelto (>5 mg/L) para las dosificaciones 2.10, 2.70 y 3.00 g/h. Así mismo solo los resultados de la dosificación 3.00 g/h cumplió con lo establecido para la DBO (<=15 mg/L). Y la concentración de coliformes termotolerantes para plantas de tallo bajo y alto fue menor a 2000 NMP/100mL para las tres dosificaciones investigadas.
4. Al finalizar el proceso de ozonización para las tres diferentes dosificaciones utilizadas, se comprobó que la temperatura del medio líquido incrementó, gracias a las reacciones exotérmicas que se produjeron en las reacciones de oxidación del ozono y agua residual.

“Remoción de Escherichia Coli del efluente del reactor UASB en CITRAR utilizando ozono”

5. El aumento registrado del pH, se debió principalmente de las formas iónicas como el ion hidroxilo, producidas por la interacción del gas ozono y el medio líquido.
6. El proceso de ozonización, produce finalmente un incremento considerable del oxígeno disuelto en el medio líquido. Producto de la generación de gas oxígeno entre el ozono y el agua residual. Este valor de oxígeno disuelto alcanzó niveles de solubilidad del gas oxígeno para la temperatura de investigación.
7. Los análisis realizados para la conductividad permitieron establecer el grado de variación porcentual de la mineralización por las concentraciones de iones disueltos formados como parte de los subproductos de la ozonización, antes y después del tratamiento para las diferentes dosificaciones utilizadas Resultando incrementos y decrementos de 20 y 30 % respectivamente del valor inicial.
8. Se concluye que la turbiedad durante proceso de ozonización presentó una reducción conforme se aumenta la dosificación de ozono suministrado en el proceso. Así mismo se evidenció que la reducción de turbiedad es mayor luego de la ozonización, cuando el efluente del reactor UASB presentó los valores más altos de turbiedad durante el monitoreo; para las tres dosificaciones de ozono investigadas.
9. Los sólidos totales presentaron un aumento luego de la ozonización como también se incrementó los sólidos volátiles. Permaneciendo los sólidos fijos en un rango de 394.75 – 311.75 mg/l para las diferentes dosificaciones de ozono empleadas en la investigación. Sin embargo se evidenció una disminución progresiva de los sólidos suspendidos totales y un aumento de los sólidos disueltos totales debido a la remoción de la turbiedad, conforme se aumentaba la dosificación de ozono en el tratamiento.

“Remoción de Escherichia Coli del efluente del reactor UASB en CITRAR utilizando ozono”

10. La curva de remoción de los coliformes termotolerantes durante el proceso de ozonización presenta una tendencia lineal con pendiente negativa, para los dos diferentes métodos analíticos utilizados para la determinación de la concentración de estos microorganismos.
11. La DBO del efluente del reactor UASB se redujo al finalizar el proceso de ozonización a valores de 76.32%, 76.85% y 87.50% para cada dosificación utilizada en la investigación. Así mismo se evidenció que esta reducción fue causada por la remoción de las cargas de los coliformes termotolerantes.
12. Las pruebas de análisis de transferencia de gas ozono hacia el agua residual durante el proceso de ozonización, muestra un menor consumo para la dosificación “3” (3.00 g/h), debido a que se experimentó más rápido la oxidación de la materia orgánica, provocando un menor consumo de gas ozono.

CAPITULO IX: OBSERVACIONES

En la investigación realizada se observó lo siguiente:

1. Si bien no se realizó los análisis de color y olor para las muestras ozonizadas. Se presenció una clarificación en el color y la eliminación de olor, que es característico de los efluentes de tratamientos anaeróbicos.
2. Se observó que las mangueras de silicona presentaron un tiempo de vida antes que empiecen a quebrarse. Este tiempo fue aproximadamente de dos meses de uso bajo las condiciones de monitoreo y uso de la presente investigación.
3. El monitoreo no se realizó durante una semana debido a causas externas de suspensión de la actividad del reactor UASB. Esta semana fue en la última del mes de diciembre del año 2018.
4. El monitoreo no se realizó durante las tardes de una semana debido a causas externas de disponibilidad de laboratorio por examen de admisión de la universidad. Esta semana fue la segunda del mes de febrero del año 2019.

CAPITULO X: RECOMENDACIONES

1. Utilizar equipos de protección personal como mascarilla completa con filtros contra gas ozono y guantes a base de silicona. Así también realizar la experimentación en lugares ventilados naturalmente o artificialmente (extractora de aire).
2. Utilizar mangueras de silicona para el transporte de gas ozono.
3. Es necesario fomentar la investigación sobre la ozonización a fin de corroborar las directrices sanitarias establecidas por la OMS para Nemátodos intestinales.
4. De preferencia en el reactor BATCH a utilizar deberá comprender de un contenedor de la muestra de agua residual de base redonda y una altura considerable. Se recomienda tener un difusor de piedra u otro a base de silicona y una pastilla agitadora que permita la mezcla de la fase gaseosa con la líquida.
5. Establecer un tiempo u periodo de prueba al inicio de la investigación donde se determine las dosificaciones de ozono a utilizar y se practique las actividades de laboratorio.
6. Se recomienda la constante investigación acerca de los diferentes POA (procesos de oxidación avanzada) referentes al uso de gas ozono y a las diferentes sustancias o mecanismos que permitan una mejor eficiencia en el tiempo de tratamiento y remoción de parámetros de físico químicos, microbiológicos y bioquímicos.
7. Se recomienda destruir el ozono no transferido al agua residual durante el proceso de ozonización. Ello mediante una destrucción química con una solución de yoduro de potasio u otros métodos de destrucción, como la reacción sobre carbón activado y recirculación térmica, termocatalítica,

**“Remoción de Escherichia Coli del efluente del reactor UASB en CITRAR
utilizando ozono”**

adsorción. Debido a que el gas ozono es tóxico para la inhalación de seres humanos.

8. El proceso de ozonización para el efluente del reactor UASB podría complementarse con procesos posteriores para la eliminación de turbiedad. Tales como la filtración con arena o carbón activado.
9. Promover la investigación en el uso de la ozonización, a fin de estudiar parámetros no estudiados en el presente trabajo, tales como Coliformes Totales y huevos de helmintos.

CAPITULO XI: BIBLIOGRAFIA

A. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Noriega, R., (1999). *Manual de tratamiento de agua residuales*, Lima, Perú: [s.n]
- Jimeno, E., (1998). *Análisis de Aguas y Desagües*, (2a.ed), Lima – Perú: Ediciones Banco de Libros – OCBU - UNI.
- Martí, C. & Andrés, M., (2007). *Principios de Ecotoxicología*. Editorial Tebar.
- Osorio, F., Torres, J. & Sánchez, M. (2005). *Tratamiento de aguas para la eliminación de microorganismos y agentes contaminantes, Aplicación de procesos industriales a la reutilización de aguas residuales*, (1a.ed.), Madrid: España. Ediciones Díaz de Santos.
- Rodríguez, F. J. (2003). *Procesos de Potabilización del agua e influencia del tratamiento de ozonización*. (1a.ed.), Madrid: España. Ediciones Díaz de Santos.
- Nemerow, N. L. & Dasgupta, A. (1998). *Tratamiento de vertidos industriales y peligrosos*. (1a.ed.), Madrid: España. Ediciones Díaz de Santos.
- Weber, W. J. (1979). *Control de Calidad del agua: Procesos fisicoquímicos*. Barcelona: España. Editorial Reverté.
- Díaz, J. M. (2018). *Ecuaciones y cálculos para el tratamiento de aguas*. (1a, ed.). Madrid: España: Editorial Ediciones Paraninfo.
- Jiménez, B. E. (2001). *La contaminación Ambiental es México: causas, efectos y tecnología apropiada*. (1a.ed.).D.F.: México. Editorial Limusa.
- Amy, G., Brdjanovic, D., Comeau, Y., Ekama, G.,Orozco, J., Gerba, C., Henze M., Hooijmans, C.,Judd, S., Kim, B., van Lier, J., Mahmoud, N., Martins, A., Morgenroth, E., Olsson G., Rosso, D., Stenstrom, M., Takacs, I., van Loosdrecht, M., Wentzel, M., Zeeman, G. (2008). *Tratamiento biológico de aguas residuales: Principios, modelación y diseño*. (1a.ed.). London. IWA Publishing
- Beltrán, A. (1990). *Química*. (1a, ed.). Barcelona: España: Editorial Reverté

“Remoción de Coliformes Termotolerantes del Efluente del Reactor UASB Utilizando Ozono”

- Moreno, J., García, J. L., Moral, J., Pascual, J. A., Bernal, M. P. (2014). *De Residuo a Recurso, El Camino hacia la Sostenibilidad*. (1a.ed.), D.F.: México. Editorial Ediciones Mundi Prensa.
- Roldán, G. & Ramírez, J. J. (2008). *Fundamentos de limnología neotropical*. (2a.ed.).D.F.: Antioquía: Colombia. Editorial Universidad de Antioquía
- Forero, J., Ortiz, O. & Rios, F. (2005). Aplicación de procesos de oxidación avanzada como tratamiento de fenol en aguas residuales industriales de refinería [versión electrónica]. *CT&F – Ciencia, Tecnología y Futuro*. 3 (1): 97-109.
- Bolton J. R., Bircher K. G., Tumas C. A. Tolman C. A. (1996). Figures of Merit for the Technical Development and Application of Advanced Oxidation processes [versión electrónica]. *Adv. Oxid. Tech.* 1 (1): 13-17.
- Yasar, A., Bari, A. (2010). Anaerobic Treatment of Industrial Wastewater by UASB Reactor Integrated with Chemical Oxidation Processes; an Overview [versión electrónica]. *Polish J. of Environ. Stud.* 19 (5): 1051-1061.
- Cajigas, A. A., Pérez, A. & Torres, P. (2005). Importancia del pH y la Alcalinidad en el Tratamiento Anaerobio de las Aguas Residuales del Proceso de Extracción de Almidón de Yuca [versión electrónica]. *Scientia et Technica*. (27): 243-245.
- Gottardi, W. (1998). Redox-potentiometric/titrimetric analysis of aqueous iodine [versión electrónica]. *Fresenius Journal of Analytical Chemistry*. (362): 263-269.
- Indah, R. Endah, N. Nur, M. (2018). Treatment of hospital waste water by ozone technology [versión electrónica]. *IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series*. 1025
- Quicaño, A. (2014). *Reducción de Compuestos Fenólicos en Aguas Residuales de Baños Portátiles con Proceso de Oxidación Química Avanzada Ozono-Peróxido de Hidrogeno*. Universidad Nacional de Ingeniería, Lima.
- La Rosa Toro, A. (2014). *Generalidad y Generación Electroquímica de Ozono*. Universidad Nacional de Ingeniería, Lima.
- MVCS. (2017). *Tratamiento y reúso de las aguas residuales. Perú ¿un reflejo de la región?* Recuperado el 7 de abril de

“Remoción de Coliformes Termotolerantes del Efluente del Reactor UASB Utilizando Ozono”

[http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/98E83F5DA8312DDF05258184006CA49F/\\$FILE/21.BookletConferenciaFINAL.pdf](http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/98E83F5DA8312DDF05258184006CA49F/$FILE/21.BookletConferenciaFINAL.pdf)

- ANA. (2017). *Resolución Jefatural N° 289-2017-ANA*. Recuperado el 10 de marzo de 2019 de <http://www.osterlingfirm.com/Documentos/webma/normas/RJ-289-2017-ANA.pdf>
- MINAM. (2017). *Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM*. Recuperado el 13 de Marzo de 2019 de <https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/06/DS-004-2017-MINAM.pdf>
- Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente. (1996). *Manual de Procedimientos Analíticos para Aguas y Efluentes*. Recuperado el 20 de Abril de 2019 de http://imasd.fcien.edu.uy/difusion/educamb/docs/pdfs/manual_dinama.pdf

“Remoción de Coliformes Termotolerantes del Efluente del Reactor UASB Utilizando Ozono”

CAPITULO XII: ANEXOS

XII.1. ANEXO N° 1: MARCO LEGAL

Cuadro N° 12.1. ECA – agua (D.S. N° 004-2017-MINAM) para diferentes parámetros de agua de riego de vegetales uso no restringido

Parámetros	Unidad de Medida	D1: Riego de Vegetales		D2: Bebida de animales
		Agua para riego no restringido (c)	Agua para riego restringido	Bebida de animales
MICROBIOLÓGICO				
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	1000	2000	1000

(c): Para el riego de parques públicos, campos deportivo, áreas verdes y plantas ornamentales, sólo aplican los parámetros

Cuadro N° 12.2. Parámetros del D.S. N°003-2010, LMP para diferentes parámetros de los efluentes de una PTAR.

Parámetros	Unidad de Medida	LMP de Efluentes para Vertidos a Cuerpos de Aguas
Aceites y grasas	mg/L	20
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	10000
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	100
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	200
pH	unidad	6.5-8.5
Sólidos Totales en Suspensión	mL/L	150
Temperatura	°C	<35

“Remoción de Coliformes Termotolerantes del Efluente del Reactor UASB Utilizando Ozono”

Cuadro N° 12.3. Calidad microbiológica de las aguas residuales empleadas en agricultura. Presentada en las Directrices sanitarias sobre el reúso de aguas residuales en agricultura y acuicultura.

Categoría	Condiciones de aprovechamientos	Grupo expuesto	Coliformes fecales (media geométrica n° por 100 ml)
A	Riego de cultivos que comunmente se consumen crudos, campos de deporte paraques públicos	Trabajadores, consumidores público	1000

XII.2. ANEXO N° 2: PANEL FOTOGRÁFICO

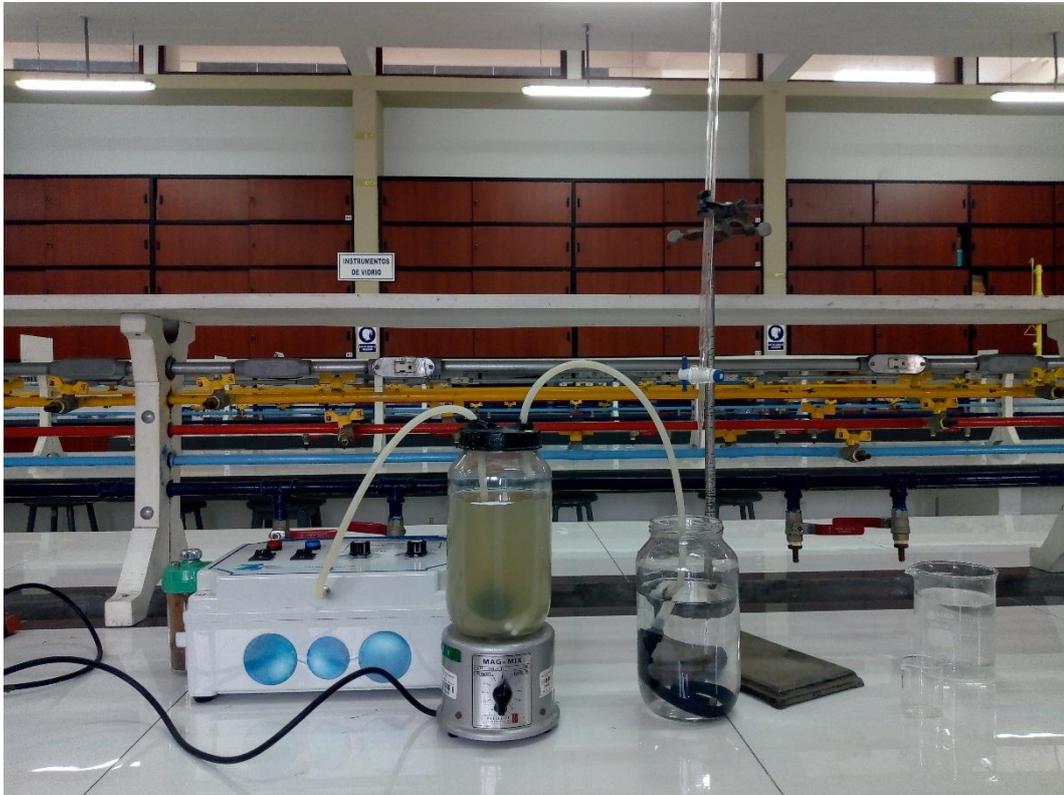


Fotografía. 12.1. Reactor UASB – extracción de muestra del efluente del reactor



Fotografía. 12.2. Zona ventilada donde se realizó las pruebas ozonización – al lado del laboratorio de físico química e indumentaria de quipo de protección personal para realizar los análisis correctamente.

“Remoción de Coliformes Termotolerantes del Efluente del Reactor UASB Utilizando Ozono”



Fotografía. 12.3. Equipos, materiales y sustancias utilizadas para la primera configuración del reactor tipo Batch de ozonización.



Fotografía. 12.4. Medición de parámetros físicos

“Remoción de Coliformes Termotolerantes del Efluente del Reactor UASB Utilizando Ozono”



Fotografía. 12.5. Distribución de materiales y equipos para la segunda configuración del reactor tipo Batch de ozonización, para realizar las pruebas de transferencias de gas ozono al agua residual, durante la ozonización del agua residual.

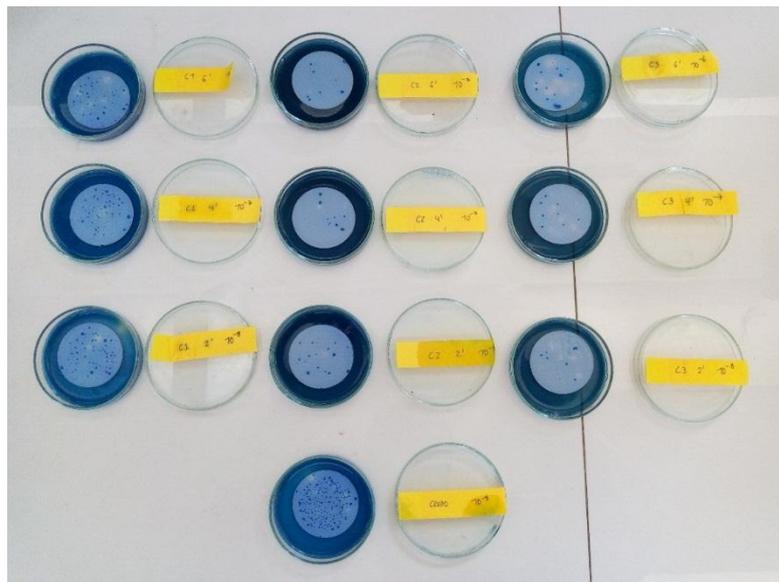


Fotografía. 12.6. Proceso de oxidación de la solución de yoduro de potasio por ozono y proceso de titulación con tiosulfato de sodio en las pruebas transferencias de gas ozono al agua residual, al finalizar el tratamiento del agua residual.

“Remoción de Coliformes Termotolerantes del Efluente del Reactor UASB Utilizando Ozono”

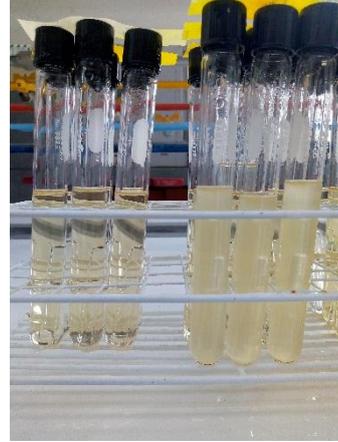
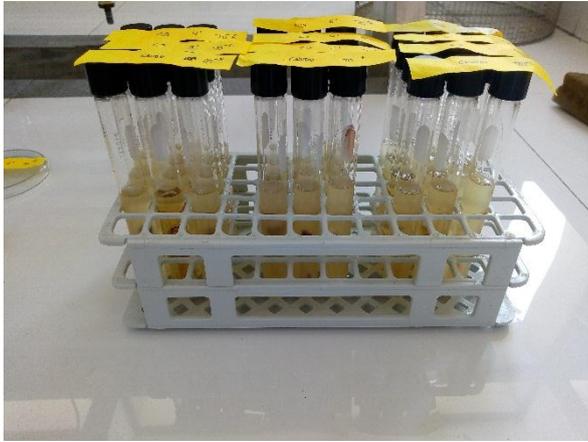


Fotografía. 12.7. Prueba de filtración por membrana para la determinación de coliformes termotolerantes



Fotografía. 12.8. Placas Petri, Método de filtración por membrana – Coliformes Termotolerantes

**“Remoción de Coliformes Termotolerantes del Efluente del Reactor UASB
Utilizando Ozono”**



Fotografía. 12.9. Tubos múltiples – Método de tubos múltiples para reencuento de Coliformes Termotolerantes



Fotografía. 12.10. Lectura de oxígeno disuelto en la prueba de DBO

“Remoción de Coliformes Termotolerantes del Efluente del Reactor UASB Utilizando Ozono”

XII.3. ANEXO N° 3: DATOS REGISTRADOS DURANTE EL PERIODO DE MONITOREO

A continuación, se presenta cuadros, gráficas, etc. de los datos obtenidos durante la investigación en el laboratorio.

XII.3.1. ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS

XII.3.1.1. TEMPERATURA

Los datos registrados de temperatura se muestran a continuación, en la siguiente tabla resumida.

Cuadro N° 12.4. Resultados obtenidos de la medición de la temperatura

Mes	N° de semana	N° de medición	Temperatura							
			Pre - tratamiento		Post - tratamiento					
			Efluente UASB		Dosificación 1		Dosificación 2		Dosificación 3	
			mañana	tarde	mañana	tarde	mañana	tarde	mañana	tarde
Noviembre	semana 1	1	22.40	22.60	27.60	27.80	27.70	27.90	27.30	25.80
		2	23.10	24.15	25.10	26.30	23.40	24.10	24.20	24.60
Diciembre	semana 2	3	24.20	24.40	24.60	24.80	24.40	24.60	24.10	24.90
		4	23.70	24.20	25.10	26.30	25.10	25.60	24.90	25.10
	semana 3	5	23.60	24.10	25.20	26.10	25.30	25.80	25.20	26.20
		6	23.40	23.20	23.60	24.10	23.50	24.30	23.50	24.10
	semana 4	7	22.50	23.50	24.60	25.30	23.70	24.10	22.80	24.30
		8	22.80	23.10	23.20	22.80	22.30	22.40	23.30	24.40
	semana 5	9	-	-	-	-	-	-	-	-
		10	-	-	-	-	-	-	-	-
Enero	semana 6	11	25.20	26.10	25.10	26.40	25.70	27.80	25.90	26.40
		12	25.80	26.70	25.30	25.70	26.40	27.50	26.30	26.70
	semana 7	13	28.30	29.10	28.60	30.10	28.60	30.30	28.60	30.30
		14	26.60	26.10	26.50	25.60	25.80	25.80	25.80	26.10
	semana 8	15	25.10	26.20	26.80	27.30	27.40	28.60	25.40	27.50
		16	24.60	25.20	27.50	28.60	25.00	26.30	25.10	25.40
	semana 9	17	25.70	26.40	28.20	28.90	27.40	28.40	26.80	28.30
		18	26.50	27.20	30.50	31.20	28.40	29.30	27.60	28.60
	semana 10	19	28.30	28.70	31.30	31.30	28.70	29.70	30.50	30.80
		20	27.40	28.20	30.50	31.20	28.60	29.20	29.10	30.00
Febrero	semana 11	21	29.90	30.10	28.70	29.10	30.20	31.20	31.00	31.40
		22	25.50	30.10	28.80	29.40	27.80	31.10	28.40	29.20
	semana 12	23	28.10	-	28.70	-	28.60	-	30.00	-

“Remoción de Coliformes Termotolerantes del Efluente del Reactor UASB Utilizando Ozono”

Mes	N° de semana	N° de medición	Temperatura								
			Pre - tratamiento		Post - tratamiento						
			Efluente UASB		Dosificación 1		Dosificación 2		Dosificación 3		
			mañana	tarde	mañana	tarde	mañana	tarde	mañana	tarde	
		24	27.00	-	29.10	-	29.60	-	28.60	-	
		semana 13	25	28.50	29.20	29.40	29.60	29.40	30.20	29.80	30.50
	26		28.20	29.10	28.30	30.10	29.60	30.70	29.70	31.20	
	semana 14	27	29.00	32.10	30.20	30.50	26.90	33.50	27.00	33.10	
		28	28.20	30.10	30.20	30.80	29.70	31.20	29.40	31.40	
	Marzo	semana 15	29	28.70	29.80	29.80	31.10	29.50	30.40	28.90	30.80
			30	28.70	29.50	30.20	31.40	29.30	31.10	29.60	30.20
		semana 16	31	27.30	29.00	29.80	30.20	28.70	30.00	28.40	30.70
32			27.50	29.50	28.40	29.80	28.40	31.20	28.60	31.20	
semana 17		33	27.40	29.00	28.70	29.70	27.80	31.40	28.70	30.80	

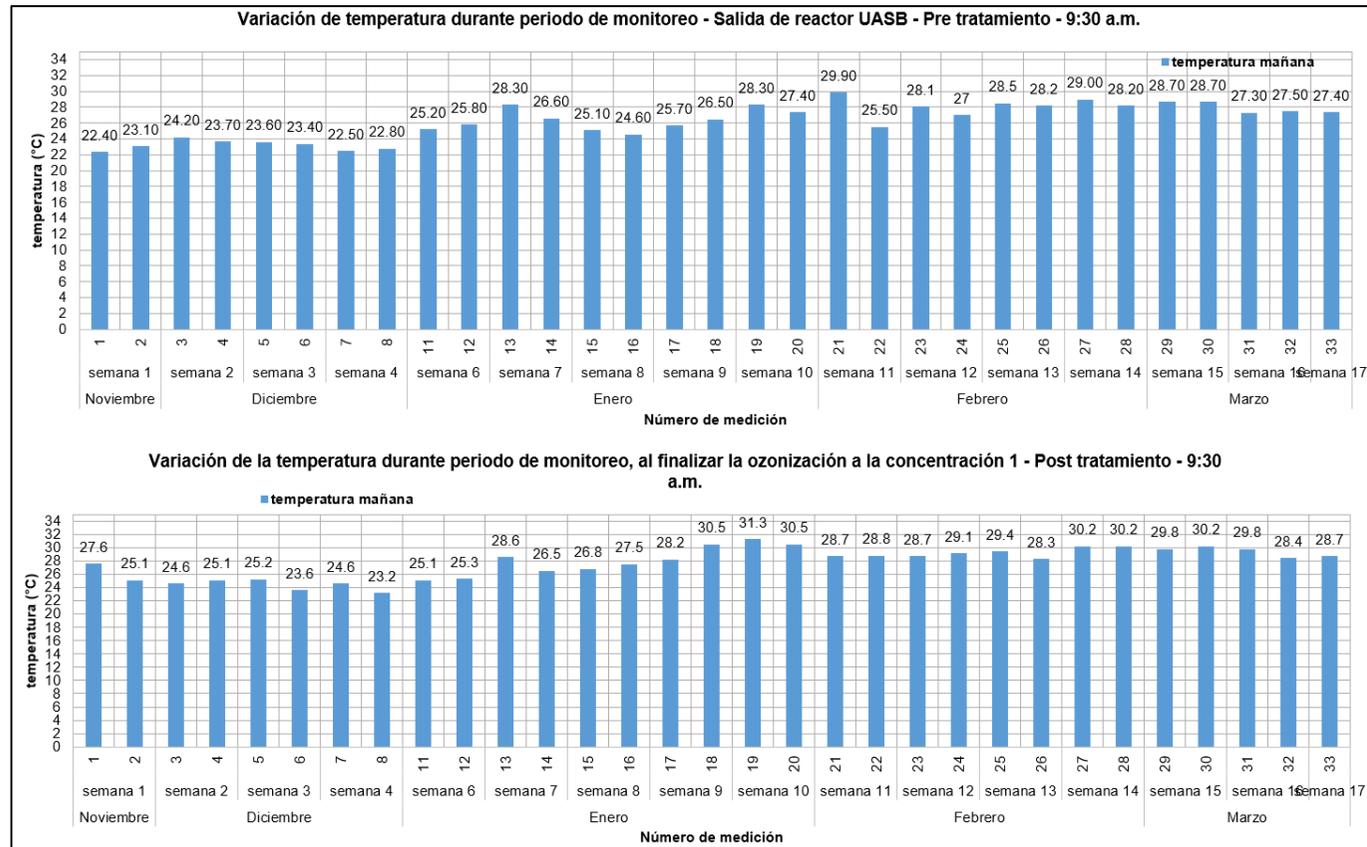
“-“: No se realizó monitoreo por falta de disposición de laboratorio

- ✓ La temperatura máxima y mínima respectivamente para el efluente de del reactor UASB fue de 29.90 °C y 22.40 °C en la mañana. Así como 32.10 °C y 22.60 °C en la tarde.
- ✓ La temperatura máxima y mínima respectivamente al finalizar el proceso de ozonización con dosificación 1 fue de 31.30 °C y 23.20 °C en la mañana. Así como 31.40 °C y 22.80 °C en la tarde.
- ✓ La temperatura máxima y mínima respectivamente al finalizar el proceso de ozonización con dosificación 2 fue de 30.20 °C y 22.30 °C en la mañana. Así como 33.50 °C y 22.40 °C en la tarde.
- ✓ La temperatura máxima y mínima respectivamente al finalizar el proceso de ozonización con dosificación 3 fue de 31°C y 22.8 °C en la mañana. Así como 33.10 °C y 24.10 °C en la tarde.

“Remoción de Coliformes Termotolerantes del Efluente del Reactor UASB Utilizando Ozono”

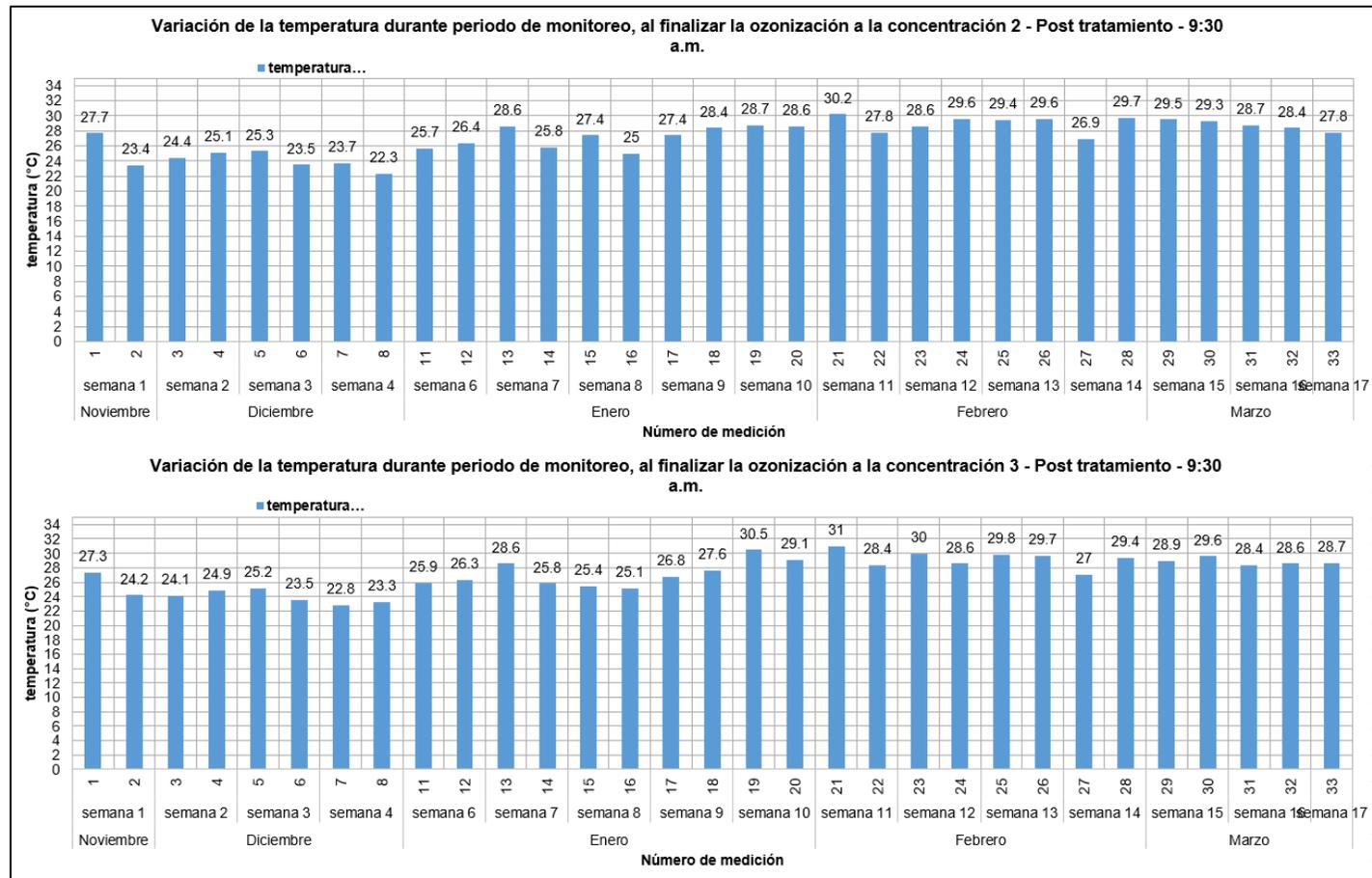
La representación gráfica de estos resultados se puede ver en el siguiente gráfico:

Gráfica N° 12.1. Variación de temperatura, efluente de del reactor UASB y luego del proceso de ozonización dosificación 1 – 9:30 a.m.



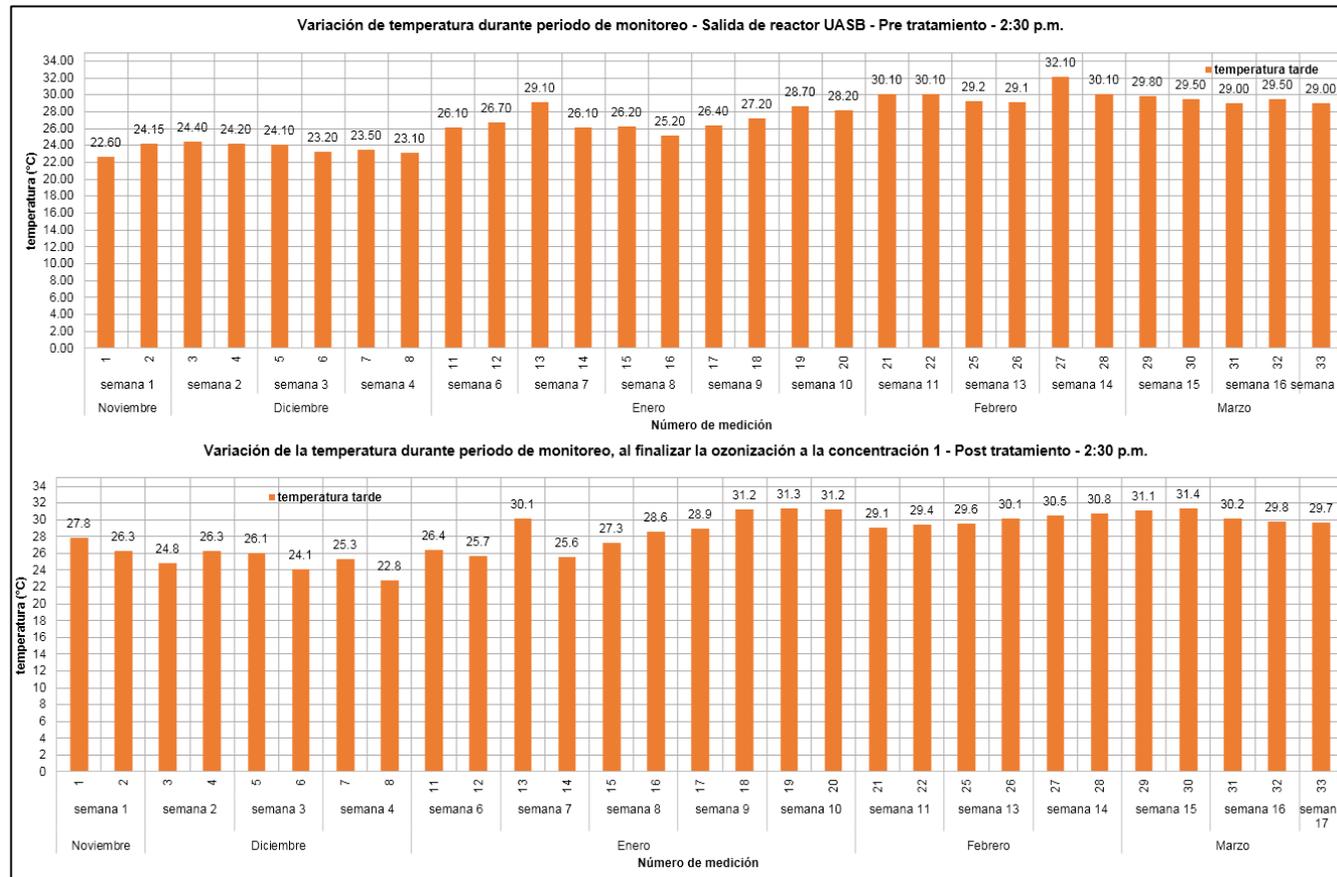
“Remoción de Coliformes Termotolerantes del Efluente del Reactor UASB Utilizando Ozono”

Gráfica N° 12.2. Variación de temperatura luego del proceso de ozonización, dosificación 2 y 3 – 9:30 a.m.



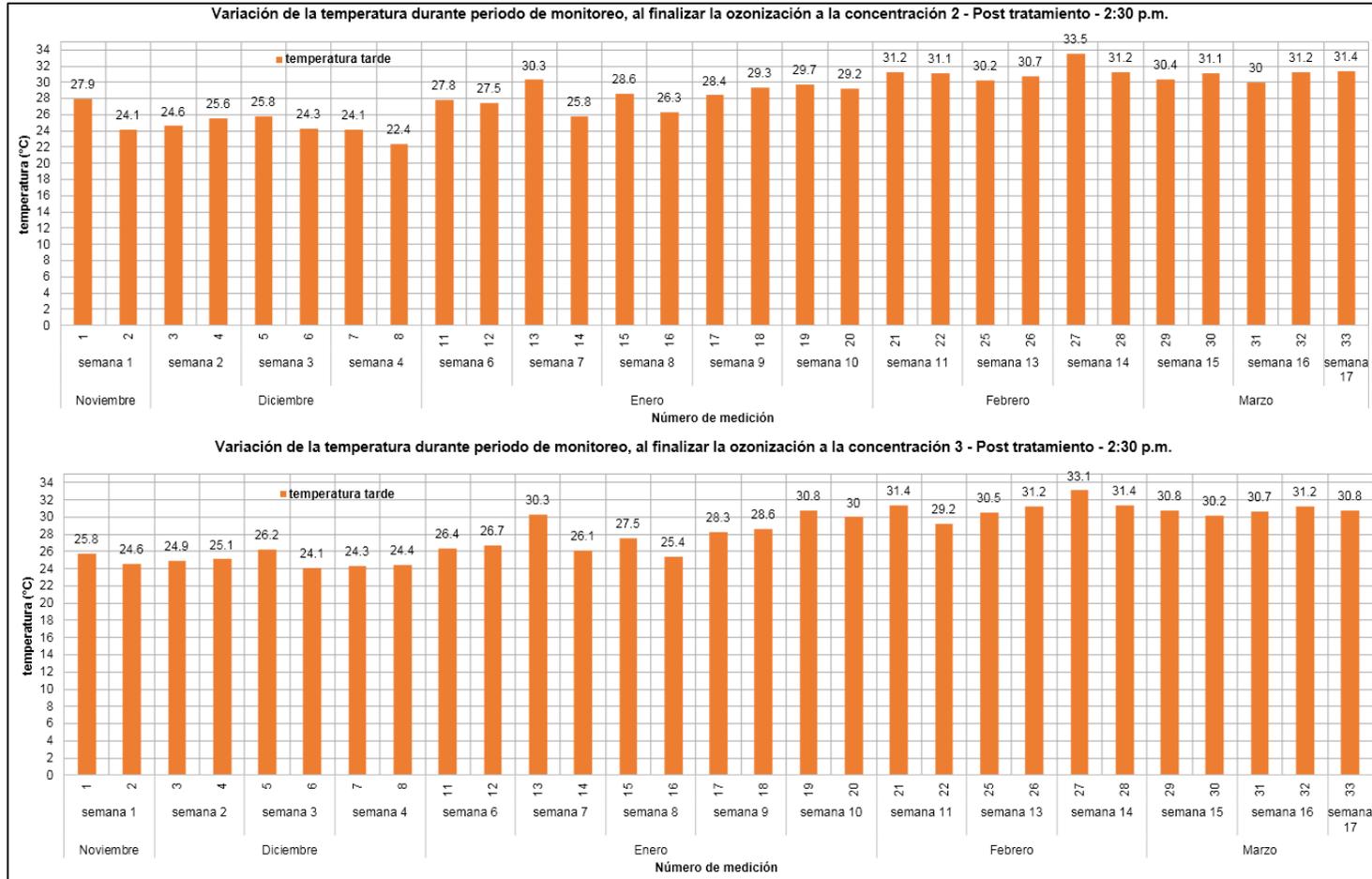
“Remoción de Coliformes Termotolerantes del Efluente del Reactor UASB Utilizando Ozono”

Gráfica N° 12.3. Variación de temperatura, efluente de del reactor UASB y luego del proceso de ozonización dosificación 1 – 2:30 p.m.



“Remoción de Coliformes Termotolerantes del Efluente del Reactor UASB Utilizando Ozono”

Gráfica N° 12.4. Variación de temperatura luego del proceso de ozonización, dosificación 2 y 3 – 2:30 p.m.



“Remoción de Coliformes Termotolerantes del Efluente del Reactor UASB Utilizando Ozono”

Un cuadro donde se aprecia la variación de los valores obtenidos respecto a la temperatura antes proceso de ozonización (efluente UASB), se presenta a continuación:

Cuadro N° 12.5. Variación de la temperatura luego del tratamiento de ozonización

Mes	N° de semana	N° de medición	Variación de la Temperatura					
			Efluente UASB / dosificación 1		Efluente UASB / dosificación 2		Efluente UASB / dosificación 3	
			mañana	tarde	mañana	tarde	mañana	tarde
Noviembre	semana 1	1	23.2%	23.0%	23.7%	23.5%	21.9%	14.2%
		2	8.7%	8.9%	1.3%	-0.2%	4.8%	1.9%
Diciembre	semana 2	3	1.7%	1.6%	0.8%	0.8%	-0.4%	2.0%
		4	5.9%	8.7%	5.9%	5.8%	5.1%	3.7%
	semana 3	5	6.8%	8.3%	7.2%	7.1%	6.8%	8.7%
		6	0.9%	3.9%	0.4%	4.7%	0.4%	3.9%
	semana 4	7	9.3%	7.7%	5.3%	2.6%	1.3%	3.4%
		8	1.8%	-1.3%	-2.2%	-3.0%	2.2%	5.6%
	semana 5	9	-	-	-	-	-	-
		10	-	-	-	-	-	-
Enero	semana 6	11	-0.4%	1.1%	2.0%	6.5%	2.8%	1.1%
		12	-1.9%	-3.7%	2.3%	3.0%	1.9%	0.0%
	semana 7	13	1.1%	3.4%	1.1%	4.1%	1.1%	4.1%
		14	-0.4%	-1.9%	-3.0%	-1.1%	-3.0%	0.0%
	semana 8	15	6.8%	4.2%	9.2%	9.2%	1.2%	5.0%
		16	11.8%	13.5%	1.6%	4.4%	2.0%	0.8%
	semana 9	17	9.7%	9.5%	6.6%	7.6%	4.3%	7.2%
		18	15.1%	14.7%	7.2%	7.7%	4.2%	5.1%
	semana 10	19	10.6%	9.1%	1.4%	3.5%	7.8%	7.3%
		20	11.3%	10.6%	4.4%	3.5%	6.2%	6.4%
Febrero	semana 11	21	-4.0%	-3.3%	1.0%	3.7%	3.7%	4.3%
		22	12.9%	-2.3%	9.0%	3.3%	11.4%	-3.0%
	semana 12	23	2.1%	-	1.8%	-	6.8%	-
		24	7.8%	-	9.6%	-	5.9%	-
	semana 13	25	3.2%	1.4%	3.2%	3.4%	4.6%	4.5%
		26	0.4%	3.4%	5.0%	5.5%	5.3%	7.2%
	semana 14	27	4.1%	-5.0%	-7.2%	4.4%	-6.9%	3.1%
		28	7.1%	2.3%	5.3%	3.7%	4.3%	4.3%

“Remoción de Coliformes Termotolerantes del Efluente del Reactor UASB Utilizando Ozono”

Mes	N° de semana	N° de medición	Variación de la Temperatura					
			Efluente UASB / dosificación 1		Efluente UASB / dosificación 2		Efluente UASB / dosificación 3	
			mañana	tarde	mañana	tarde	mañana	tarde
Marzo	semana 15	29	3.8%	4.4%	2.8%	2.0%	0.7%	3.4%
		30	5.2%	6.4%	2.1%	5.4%	3.1%	2.4%
	semana 16	31	9.2%	4.1%	5.1%	3.4%	4.0%	5.9%
		32	3.3%	1.0%	3.3%	5.8%	4.0%	5.8%
	semana 17	33	4.7%	2.4%	1.5%	8.3%	4.7%	6.2%

“-“: No se realizó monitoreo por falta de disposición de laboratorio

XII.3.1.2. PH

Los datos registrados gracias al monitoreo durante el periodo de investigación se presentan en la siguiente cuadro. La medición del pH, se realizó al efluente del reactor UASB y luego que las muestras que fueran sometidas a la ozonización durante un tiempo de tratamiento de 35 minutos.

Cuadro N° 12.6 Resultados de la medición de pH

Mes	N° de semana	N° de medición	pH							
			Pre - tratamiento		Post - tratamiento					
			Efluente UASB		Dosificación 1		Dosificación 2		Dosificación 3	
			mañana	tarde	mañana	tarde	mañana	tarde	mañana	tarde
Noviembre	semana 1	1	8.10	7.81	8.47	8.20	8.48	8.10	8.41	8.20
		2	8.12	7.52	8.32	8.41	8.24	8.54	8.21	8.65
Diciembre	semana 2	3	7.82	7.92	8.50	8.30	8.21	8.50	8.31	8.42
		4	7.41	7.84	7.52	7.92	7.56	7.95	7.86	7.96
	semana 3	5	7.30	7.86	7.90	8.20	7.80	8.41	7.80	8.25
		6	7.50	7.25	8.30	8.12	8.20	8.18	8.20	8.50
	semana 4	7	8.12	7.01	8.20	8.12	8.23	8.22	8.30	8.30
		8	7.30	7.35	8.10	7.91	8.30	8.10	8.30	8.10
	semana 5	9	-	-	-	-	-	-	-	-
		10	-	-	-	-	-	-	-	-
Enero	semana 6	11	7.41	8.21	8.12	8.32	7.65	8.03	7.68	8.35
		12	7.85	7.41	8.65	7.45	8.40	7.65	7.94	8.12
	semana 7	13	7.65	7.81	8.20	8.23	8.33	8.10	8.33	8.10
		14	7.55	7.24	8.26	7.60	8.20	7.65	8.20	7.65
	semana 8	15	7.72	7.52	8.76	8.01	8.35	8.40	8.10	8.46

“Remoción de Coliformes Termotolerantes del Efluente del Reactor UASB Utilizando Ozono”

Mes	N° de semana	N° de medición	pH							
			Pre - tratamiento		Post - tratamiento					
			Efluente UASB		Dosificación 1		Dosificación 2		Dosificación 3	
			mañana	tarde	mañana	tarde	mañana	tarde	mañana	tarde
		16	7.77	7.45	8.32	7.89	8.34	8.32	7.90	8.30
		17	7.50	7.85	8.21	8.45	8.14	7.45	8.30	8.20
	semana 9	18	7.60	8.01	8.36	8.35	7.85	8.12	7.98	8.40
	semana 10	19	7.30	7.65	8.40	8.15	8.09	8.04	8.37	8.60
		20	7.20	7.40	8.45	7.58	8.06	8.34	8.12	8.50
Febrero	semana 11	21	7.30	7.65	8.64	7.65	8.40	7.60	8.30	7.80
		22	7.30	7.80	8.00	7.79	8.45	8.30	8.35	8.20
	semana 12	23	7.10	-	8.25	-	8.10	-	7.86	-
		24	7.22	-	8.35	-	8.54	-	7.39	-
	semana 13	25	7.20	7.25	8.10	7.45	8.42	7.45	7.48	7.68
		26	8.01	7.39	8.40	7.60	8.20	7.60	8.29	8.10
	semana 14	27	7.32	7.40	7.80	7.60	7.70	8.59	8.10	8.30
		28	7.21	7.32	8.20	7.86	7.84	7.50	7.60	7.50
Marzo	semana 15	29	7.32	7.24	8.30	8.20	7.98	8.30	7.97	7.80
		30	7.50	7.10	7.80	8.40	8.03	8.45	8.00	8.65
	semana 16	31	7.11	7.80	8.12	7.90	7.68	8.40	7.75	8.10
		32	7.21	7.90	7.57	8.20	8.20	8.20	8.10	8.30
	semana 17	33	7.10	7.45	7.60	8.50	7.86	8.60	7.70	7.80

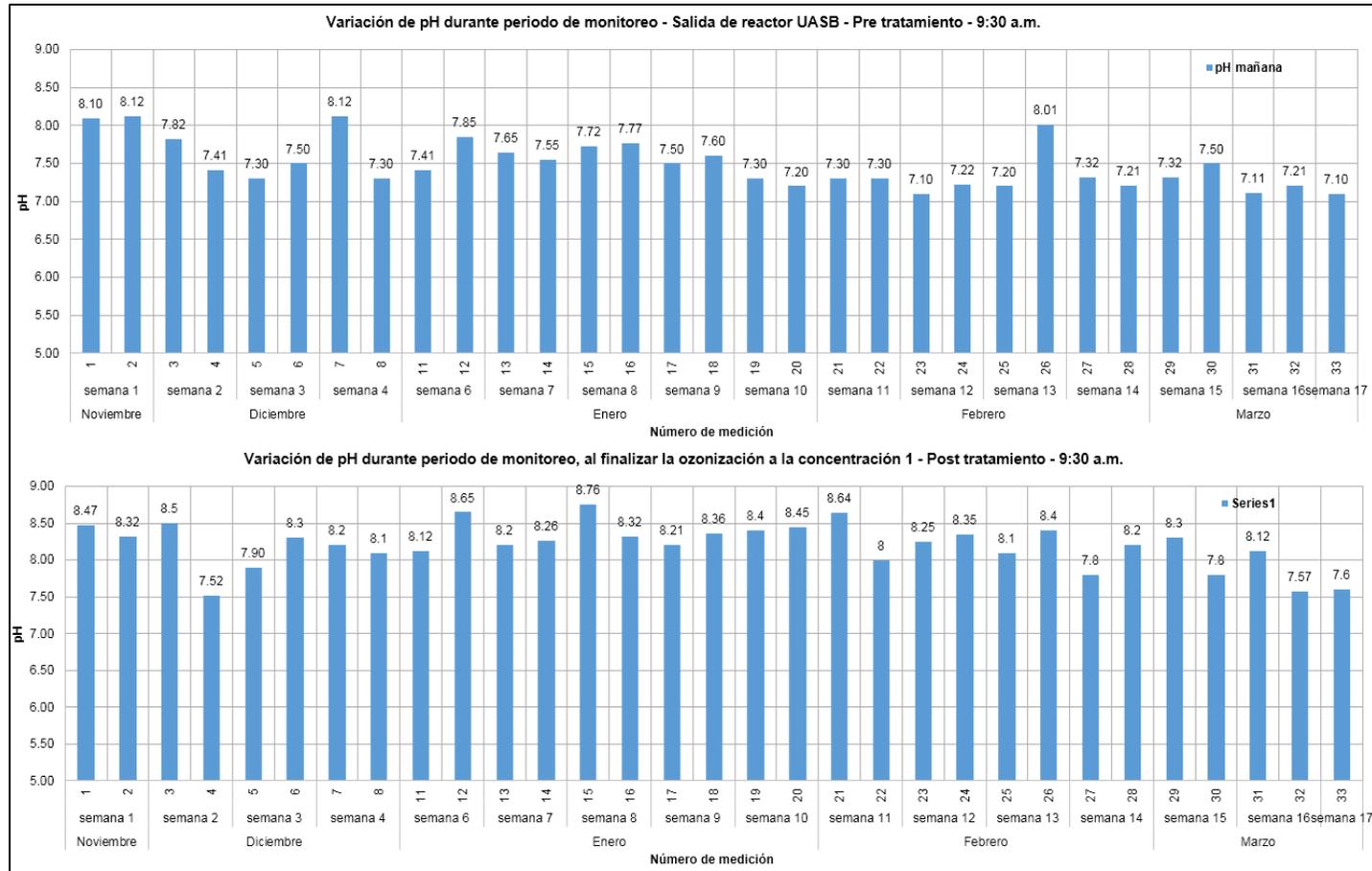
“-”: No se realizó monitoreo por falta de disposición de laboratorio

- ✓ El pH máximo y mínimo respectivamente para el efluente de del reactor UASB fue de 8.12 y 7.1 en la mañana. Así como 8.21 y 7.01 en la tarde.
- ✓ El pH máximo y mínimo respectivamente al finalizar el proceso de ozonización con dosificación 1 fue de 8.76 y 7.52 en la mañana. Así como 8.5 y 7.45 en la tarde.
- ✓ El pH máximo y mínimo respectivamente al finalizar el proceso de ozonización con dosificación 2 fue de 8.54 y 7.56 en la mañana. Así como 8.6 y 7.45 en la tarde.
- ✓ El pH máximo y mínimo respectivamente al finalizar el proceso de ozonización con dosificación 3 fue de 8.41 y 7.39 en la mañana. Así como 8.65 y 7.5 en la tarde.

Estos datos son representados mediante las siguientes gráficas:

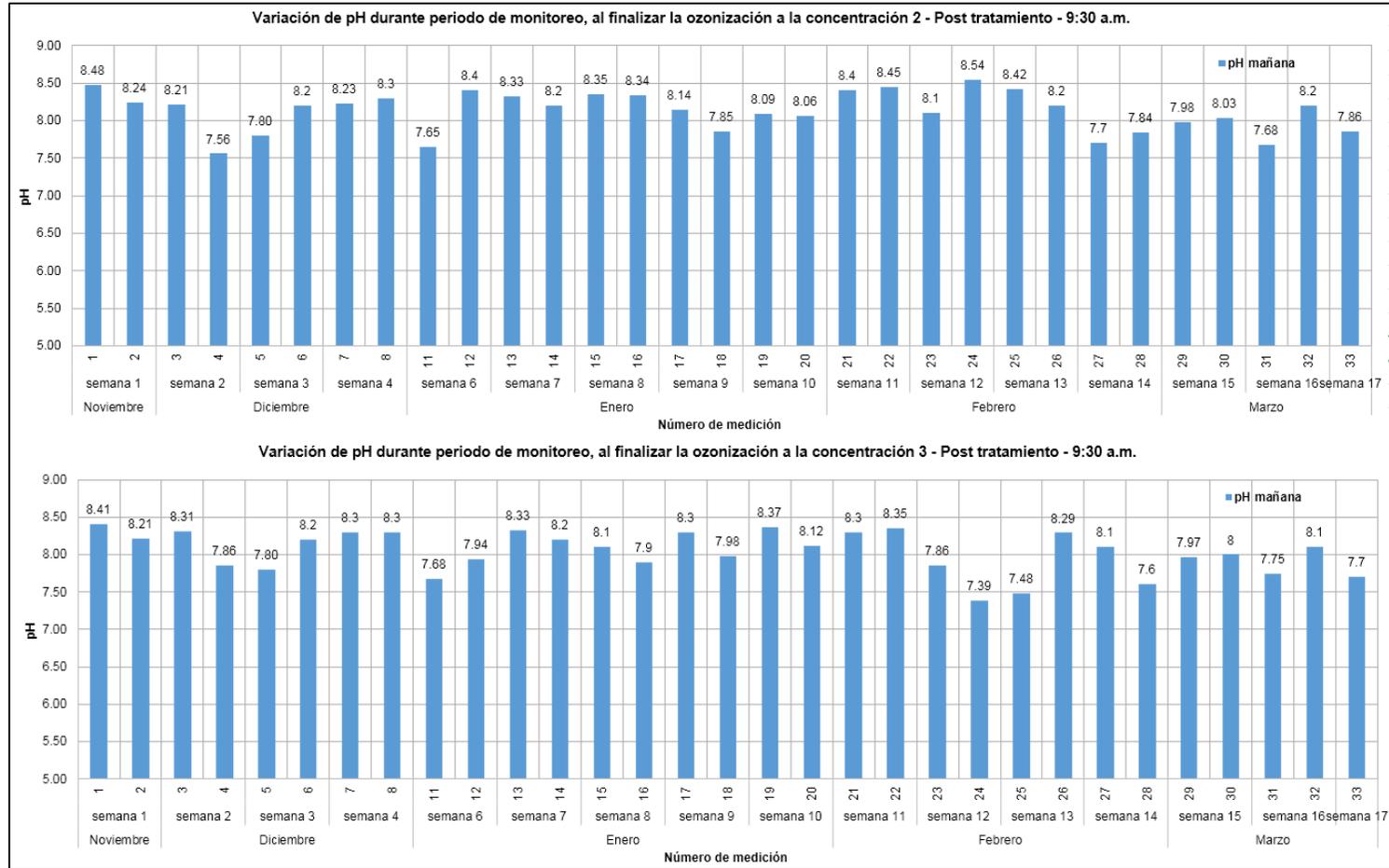
“Remoción de Coliformes Termotolerantes del Efluente del Reactor UASB Utilizando Ozono”

Gráfica N° 12.5. Variación del pH, efluente de del reactor UASB y luego del proceso de ozonización dosificación 1 – 9:30 a.m.



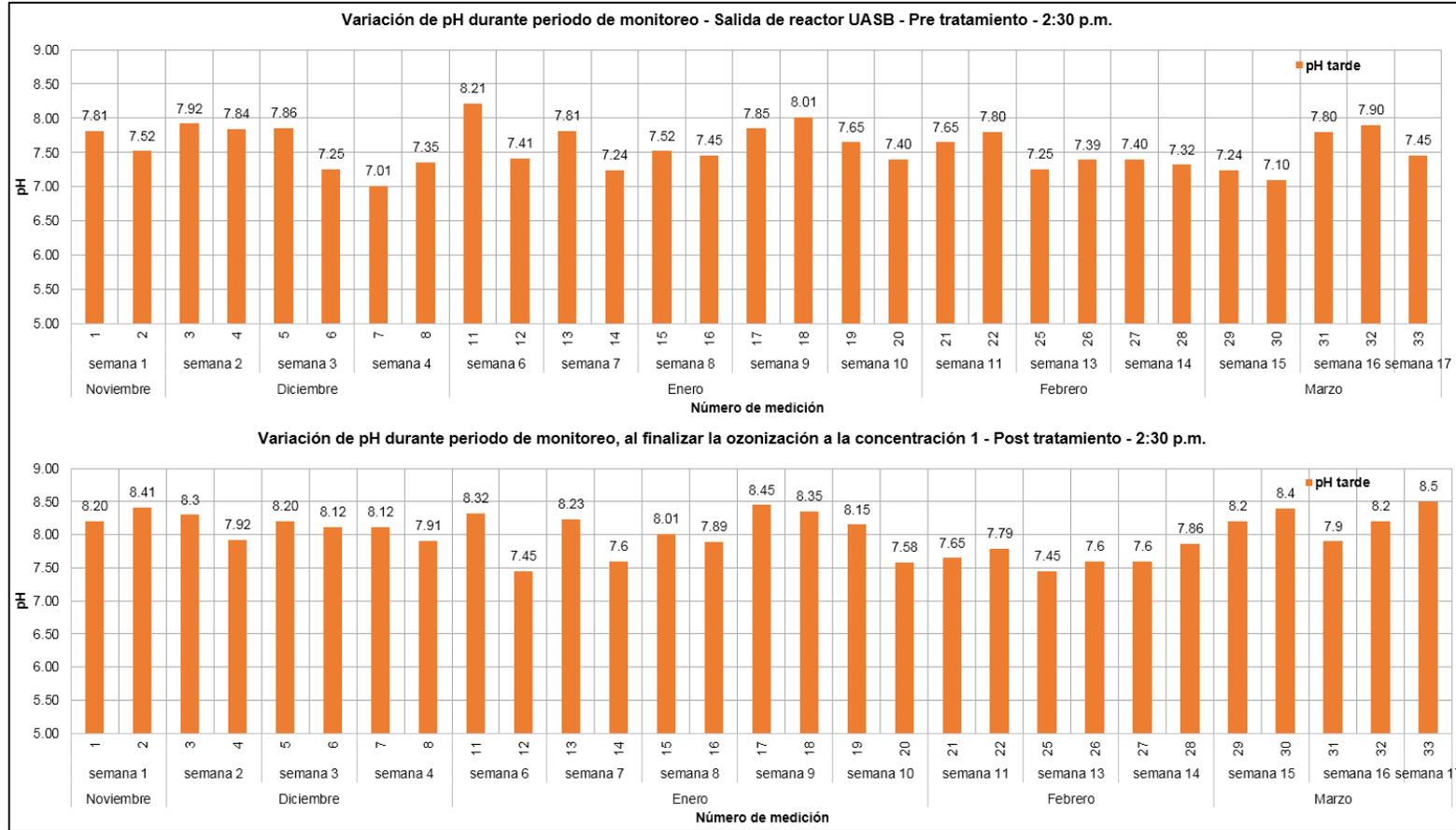
“Remoción de Coliformes Termotolerantes del Efluente del Reactor UASB Utilizando Ozono”

Gráfica N° 12.6. Variación del pH luego del proceso de ozonización, dosificación 2 y 3 – 9:30 a.m.



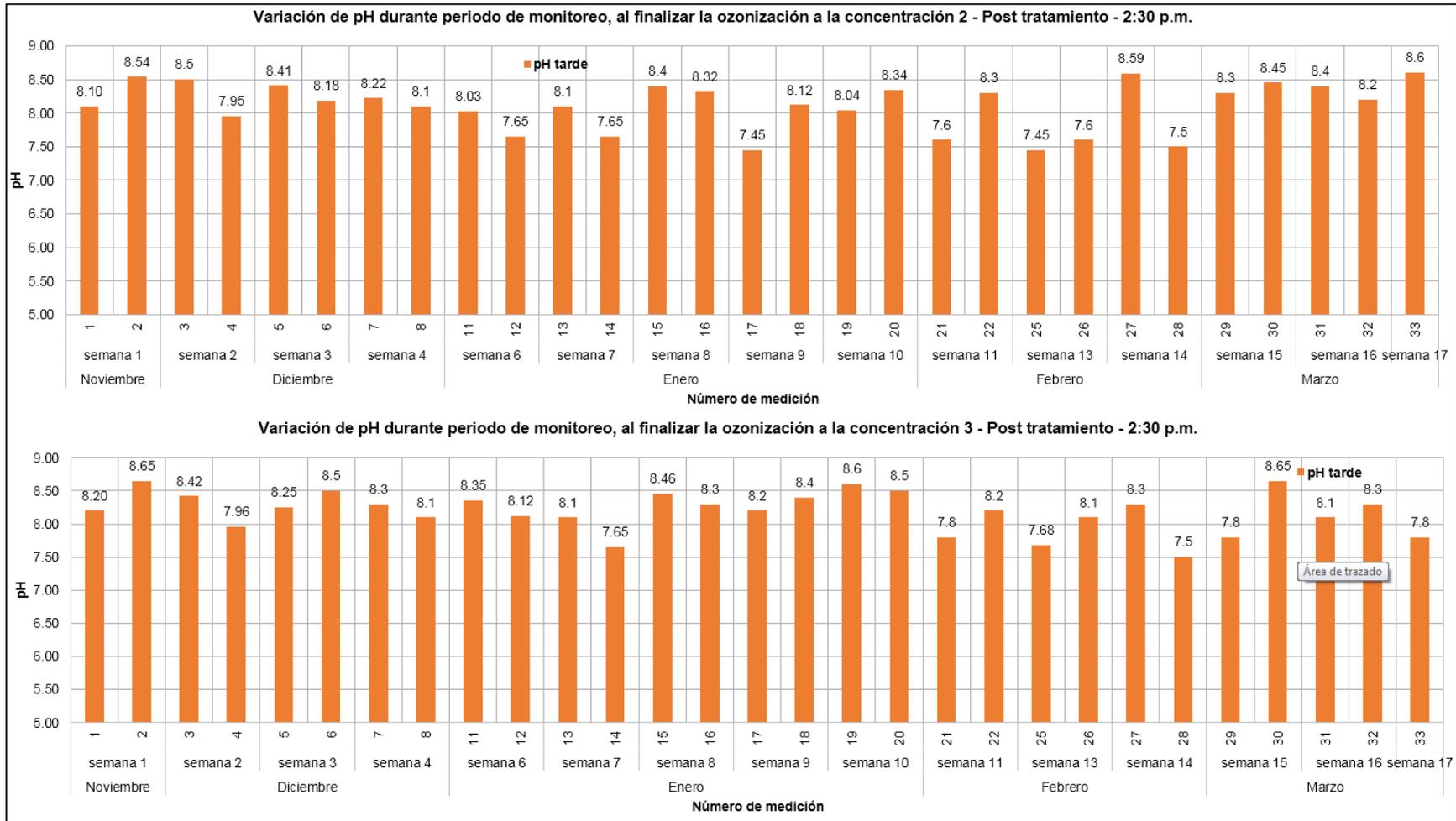
“Remoción de Coliformes Termotolerantes del Efluente del Reactor UASB Utilizando Ozono”

Gráfica N° 12.7. Variación del pH, efluente de del reactor UASB y luego del proceso de ozonización dosificación 1 – 2:30 p.m.



“Remoción de Coliformes Termotolerantes del Efluente del Reactor UASB Utilizando Ozono”

Gráfica N° 12.8. Variación del pH luego del proceso de ozonización, dosificación 2 y 3 – 2:30 p.m.



“Remoción de Coliformes Termotolerantes del Efluente del Reactor UASB Utilizando Ozono”

Un cuadro de la variación de los valores obtenidos se presenta a continuación:

Cuadro N° 12.7. Variación del pH promedio luego del tratamiento

Mes	N° de semana	N° de medición	Variación de la pH					
			Efluente UASB / dosificación 1		Efluente UASB / dosificación 2		Efluente UASB / dosificación 3	
			mañana	tarde	mañana	tarde	mañana	tarde
Noviembre	semana 1	1	4.6%	5.0%	4.7%	3.7%	3.8%	5.0%
		2	2.5%	11.8%	1.5%	13.6%	1.1%	15.0%
Diciembre	semana 2	3	8.7%	4.8%	5.0%	7.3%	6.3%	6.3%
		4	1.5%	1.0%	2.0%	1.4%	6.1%	1.5%
	semana 3	5	8.2%	4.3%	6.8%	7.0%	6.8%	5.0%
		6	10.7%	12.0%	9.3%	12.8%	9.3%	17.2%
	semana 4	7	1.0%	15.8%	1.4%	17.3%	2.2%	18.4%
		8	11.0%	7.6%	13.7%	10.2%	13.7%	10.2%
	semana 5	9	-	-	-	-	-	-
		10	-	-	-	-	-	-
Enero	semana 6	11	9.6%	1.3%	3.2%	-2.2%	3.6%	1.7%
		12	10.2%	0.5%	7.0%	3.2%	1.1%	9.6%
	semana 7	13	7.2%	5.4%	8.9%	3.7%	8.9%	3.7%
		14	9.4%	5.0%	8.6%	5.7%	8.6%	5.7%
	semana 8	15	13.5%	6.5%	8.2%	11.7%	4.9%	12.5%
		16	7.1%	5.9%	7.3%	11.7%	1.7%	11.4%
	semana 9	17	9.5%	7.6%	8.5%	-5.1%	10.7%	4.5%
		18	10.0%	4.2%	3.3%	1.4%	5.0%	4.9%
	semana 10	19	15.1%	6.5%	10.8%	5.1%	14.7%	12.4%
		20	17.4%	2.4%	11.9%	12.7%	12.8%	14.9%
Febrero	semana 11	21	18.4%	0.0%	15.1%	-0.7%	13.7%	2.0%
		22	9.6%	-0.1%	15.8%	6.4%	14.4%	5.1%
	semana 12	23	16.2%	-	14.1%	-	10.7%	-
		24	15.7%	-	18.3%	-	2.4%	-
	semana 13	25	12.5%	2.8%	16.9%	2.8%	3.9%	5.9%
		26	4.9%	2.8%	2.4%	2.8%	3.5%	9.6%
semana 14	27	6.6%	2.7%	5.2%	16.1%	10.7%	12.2%	
	28	13.7%	7.4%	8.7%	2.5%	5.4%	2.5%	
Marzo	semana 15	29	13.4%	13.3%	9.0%	14.6%	8.9%	7.7%
		30	4.0%	18.3%	7.1%	19.0%	6.7%	21.8%
	semana 16	31	14.2%	1.3%	8.0%	7.7%	9.0%	3.8%
		32	5.0%	3.8%	13.7%	3.8%	12.3%	5.1%

“-”: No se realizó monitoreo por falta de disposición de laboratorio

“Remoción de Coliformes Termotolerantes del Efluente del Reactor UASB Utilizando Ozono”

Mes	N° de semana	N° de medición	Variación de la pH					
			Efluente UASB / dosificación 1		Efluente UASB / dosificación 2		Efluente UASB / dosificación 3	
			mañana	tarde	mañana	tarde	mañana	tarde
	semana 17	33	7.0%	14.1%	10.7%	15.4%	8.5%	4.7%

XII.3.1.3. OXÍGENO DISUELTO

Los datos registrados de oxígeno disuelto fueron realizados al inicio del tratamiento, es decir en muestras del efluente del reactor UASB. Así mismo también fue realizada al finalizar el tratamiento de ozonización. A continuación se muestra una tabla con estos resultados.

Cuadro N° 12.8. Resultados de la medición del oxígeno disuelto.

Mes	N° de semana	N° de medición	Oxígeno Disuelto							
			Pre - tratamiento		Post - tratamiento					
			Efluente UASB		Dosificación 1		Dosificación 2		Dosificación 3	
			mañana	tarde	mañana	tarde	mañana	tarde	mañana	tarde
Noviembre	semana 1	1	0.60	1.02	8.80	7.90	8.59	8.20	8.52	8.30
		2	0.89	0.61	8.32	8.41	8.24	8.54	7.80	7.86
Diciembre	semana 2	3	0.70	0.60	8.50	8.30	8.21	8.50	8.50	8.40
		4	0.78	0.56	7.52	7.92	7.56	7.95	8.10	8.56
	semana 3	5	0.86	0.90	7.90	8.20	7.80	8.41	8.05	8.42
		6	0.65	0.94	8.30	8.12	8.20	8.18	8.01	8.10
	semana 4	7	1.05	0.85	8.20	8.12	8.23	8.22	7.85	7.65
		8	0.80	0.94	8.10	7.91	8.30	8.10	8.05	8.00
	semana 5	9	-	-	-	-	-	-	-	-
		10	-	-	-	-	-	-	-	-
Enero	semana 6	11	0.87	0.84	8.12	8.32	7.65	8.03	8.01	8.10
		12	1.00	0.70	8.65	7.45	8.40	7.65	7.69	7.60
	semana 7	13	0.98	0.70	8.20	8.23	8.33	8.10	7.60	7.90
		14	0.56	0.60	8.26	7.60	8.20	7.65	7.99	7.25
	semana 8	15	0.65	0.80	8.76	8.01	8.35	8.40	8.10	8.20
		16	0.25	0.39	8.32	7.89	8.34	8.32	8.15	8.12
	semana 9	17	1.02	0.85	8.21	8.45	8.14	7.45	7.54	7.68
		18	0.53	0.98	8.36	8.35	7.85	8.12	7.86	7.86
	semana 10	19	0.68	0.84	8.40	8.15	8.09	8.04	7.92	7.92
		20	0.98	1.10	8.45	7.58	8.06	8.34	8.75	7.45

“Remoción de Coliformes Termotolerantes del Efluente del Reactor UASB Utilizando Ozono”

Mes	N° de semana	N° de medición	Oxígeno Disuelto							
			Pre - tratamiento		Post - tratamiento					
			Efluente UASB		Dosificación 1		Dosificación 2		Dosificación 3	
			mañana	tarde	mañana	tarde	mañana	tarde	mañana	tarde
Febrero	semana 11	21	0.75	1.20	8.64	7.65	8.40	7.60	7.24	7.80
		22	0.85	0.80	8.00	7.79	8.45	8.30	8.65	7.72
	semana 12	23	0.80	-	8.25	-	8.10	-	7.85	-
		24	0.96	-	8.35	-	8.54	-	7.75	-
	semana 13	25	0.60	0.74	8.10	7.45	8.42	7.45	8.06	7.19
		26	0.80	0.61	8.40	7.60	8.20	7.60	8.60	7.90
	semana 14	27	0.75	0.80	7.80	7.60	7.70	8.59	8.10	7.60
		28	0.60	0.85	8.20	7.86	7.84	7.50	7.45	8.40
Marzo	semana 15	29	0.75	1.10	8.30	8.20	7.98	8.30	7.48	7.65
		30	0.80	0.60	7.80	8.40	8.03	8.45	7.72	7.45
	semana 16	31	0.61	0.65	8.12	7.90	7.68	8.40	8.10	8.60
		32	0.82	0.87	7.57	8.20	8.20	8.20	8.40	7.56
	semana 17	33	0.70	0.95	7.60	8.50	7.86	8.60	7.84	7.69

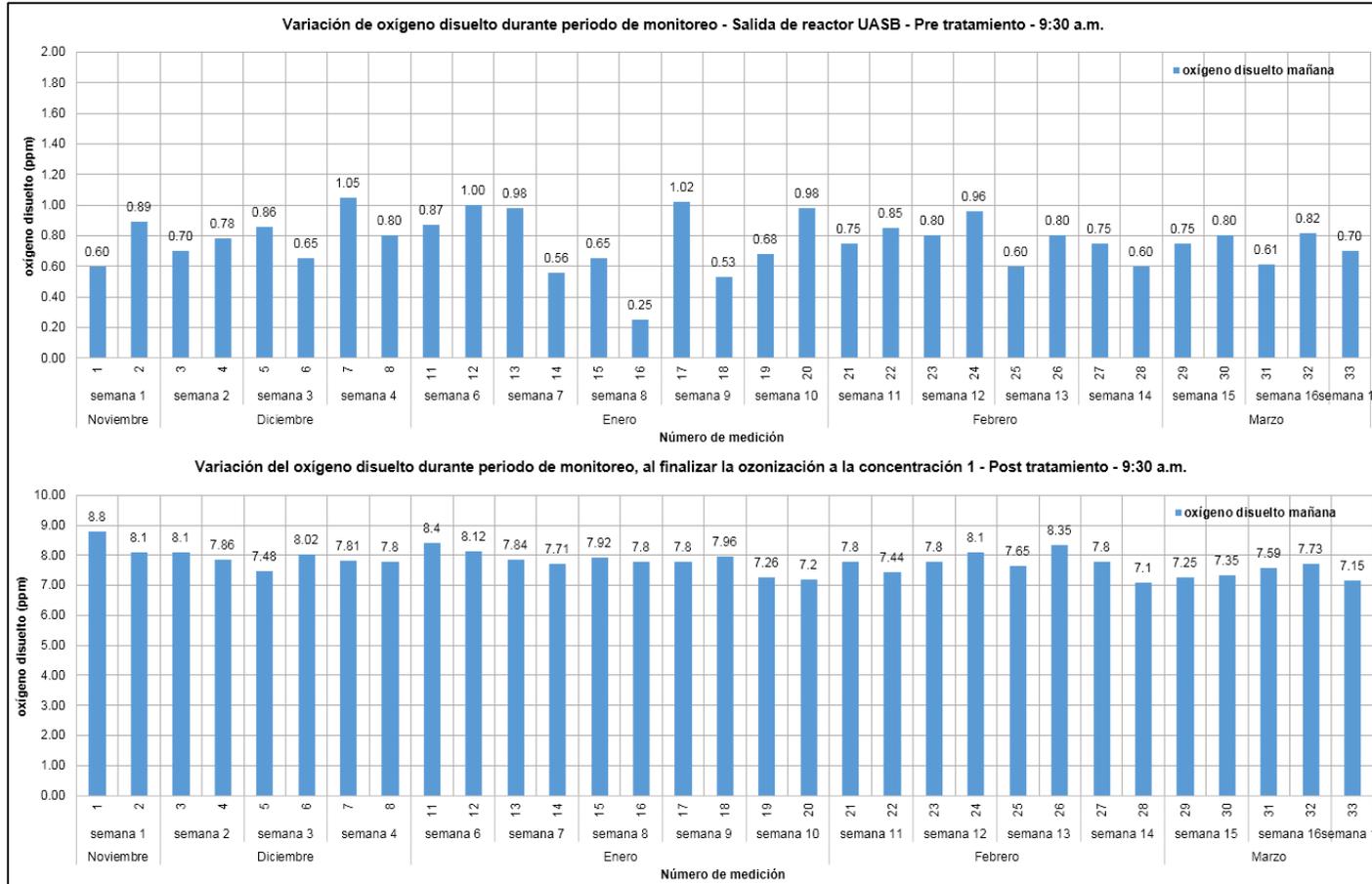
“-“: No se realizó monitoreo por falta de disposición de laboratorio

- ✓ El oxígeno disuelto máximo y mínimo respectivamente para el efluente de del reactor UASB fue de 1.05 mg y 0.25 mg en la mañana. Así como 1.2 mg y 0.39 mg en la tarde.
- ✓ El oxígeno disuelto máximo y mínimo respectivamente al finalizar el proceso de ozonización con dosificación 1 fue de 8.8 mg y 7.52 mg en la mañana. Así como 8.5 mg y 7.45 mg en la tarde.
- ✓ El oxígeno disuelto máximo y mínimo respectivamente al finalizar el proceso de ozonización con dosificación 2 fue de 8.59 mg y 7.56 mg en la mañana. Así como 8.6 mg y 7.45 mg en la tarde.
- ✓ El oxígeno disuelto máximo y mínimo respectivamente al finalizar el proceso de ozonización con dosificación 3 fue de 8.75 mg y 7.24 mg en la mañana. Así como 8.6 mg y 7.19 mg en la tarde.

Estos resultados son plasmados en las siguientes gráficas a continuación:

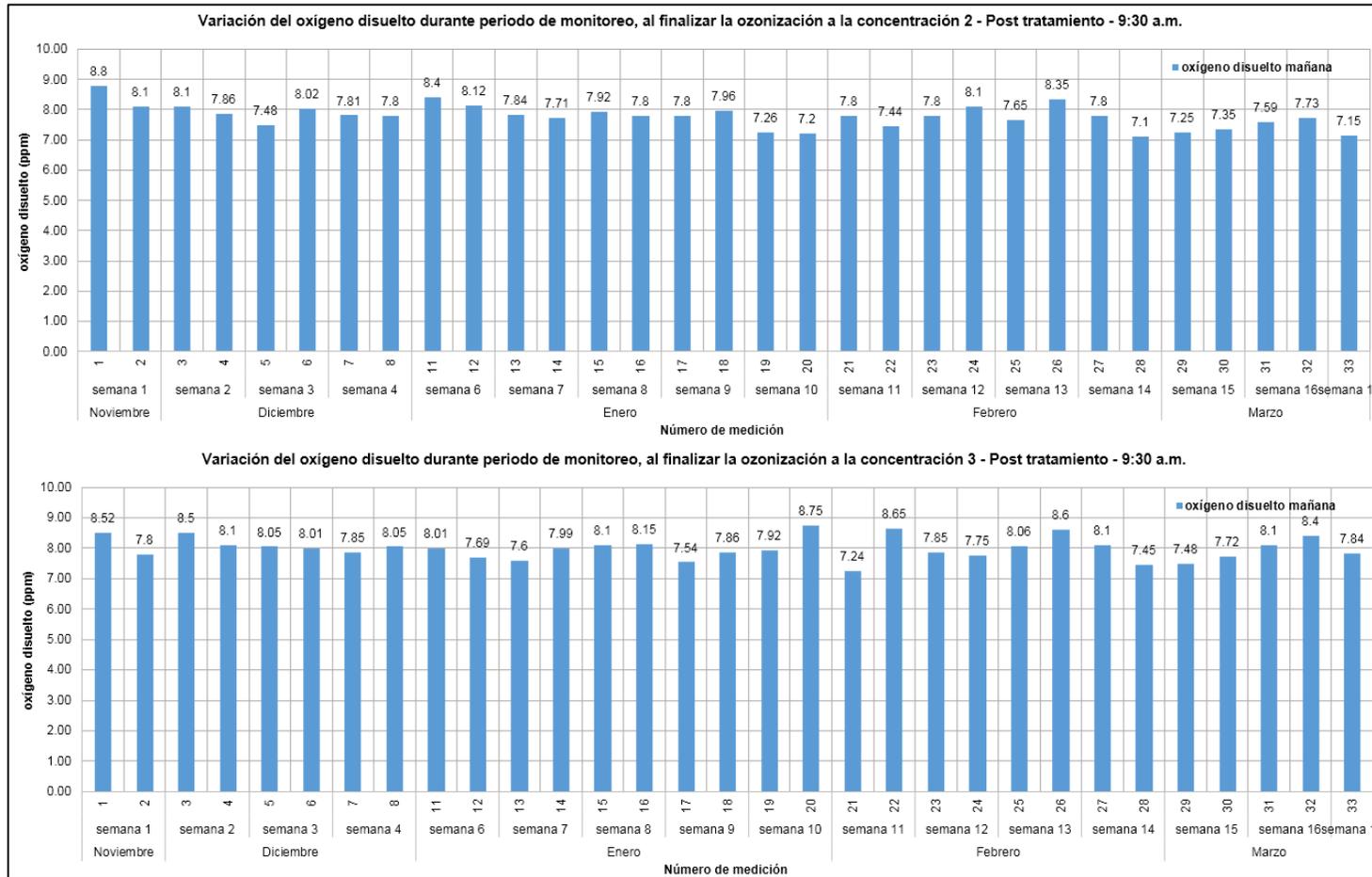
“Remoción de Coliformes Termotolerantes del Efluente del Reactor UASB Utilizando Ozono”

Gráfica N° 12.9. Variación del O.D., efluente de del reactor UASB y luego del proceso de ozonización dosificación 1 – 9:30 a.m.



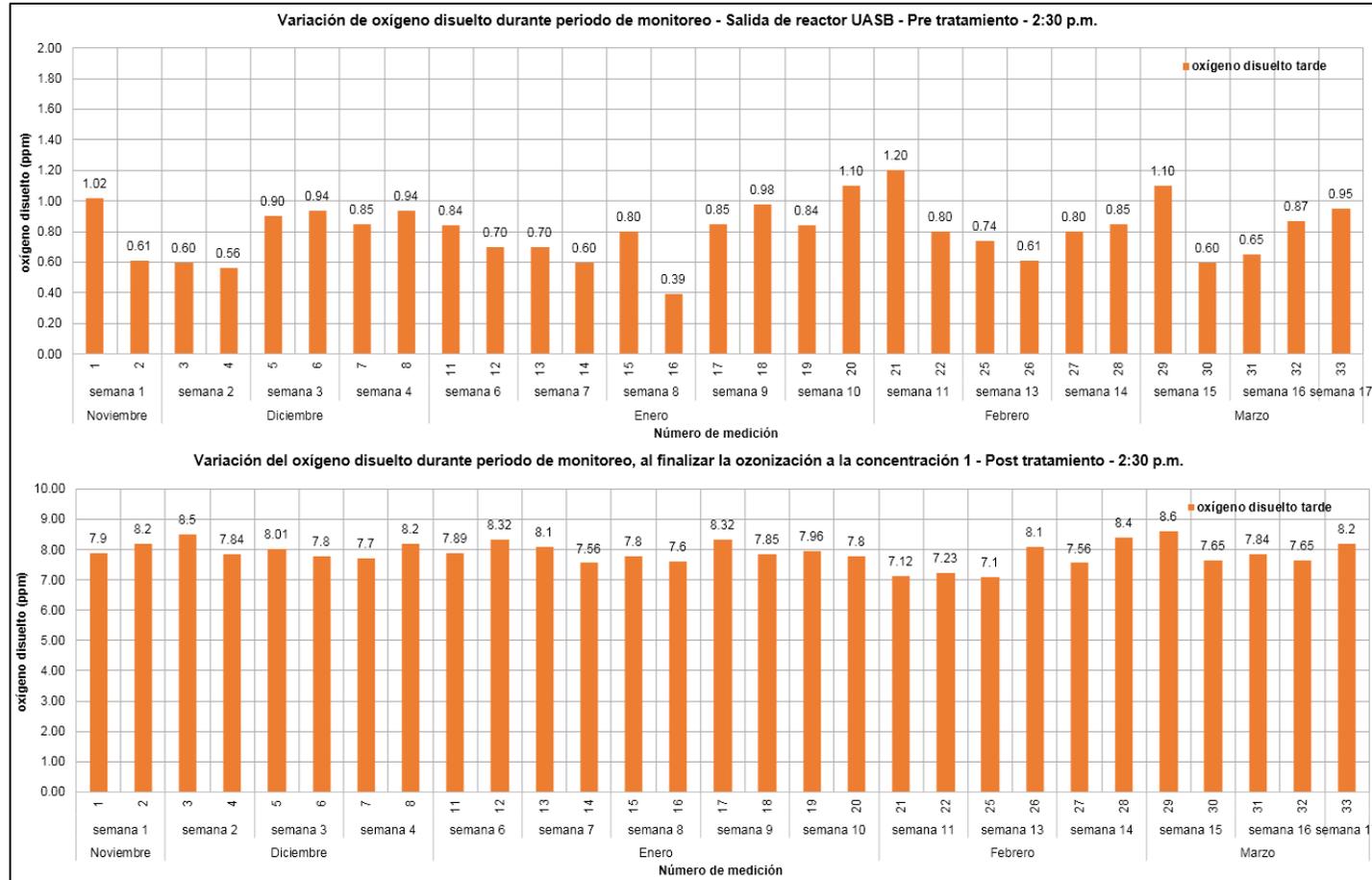
“Remoción de Coliformes Termotolerantes del Efluente del Reactor UASB Utilizando Ozono”

Gráfica N° 12.10. Variación del O.D. luego del proceso de ozonización, dosificación 2 y 3 – 9:30 a.m.



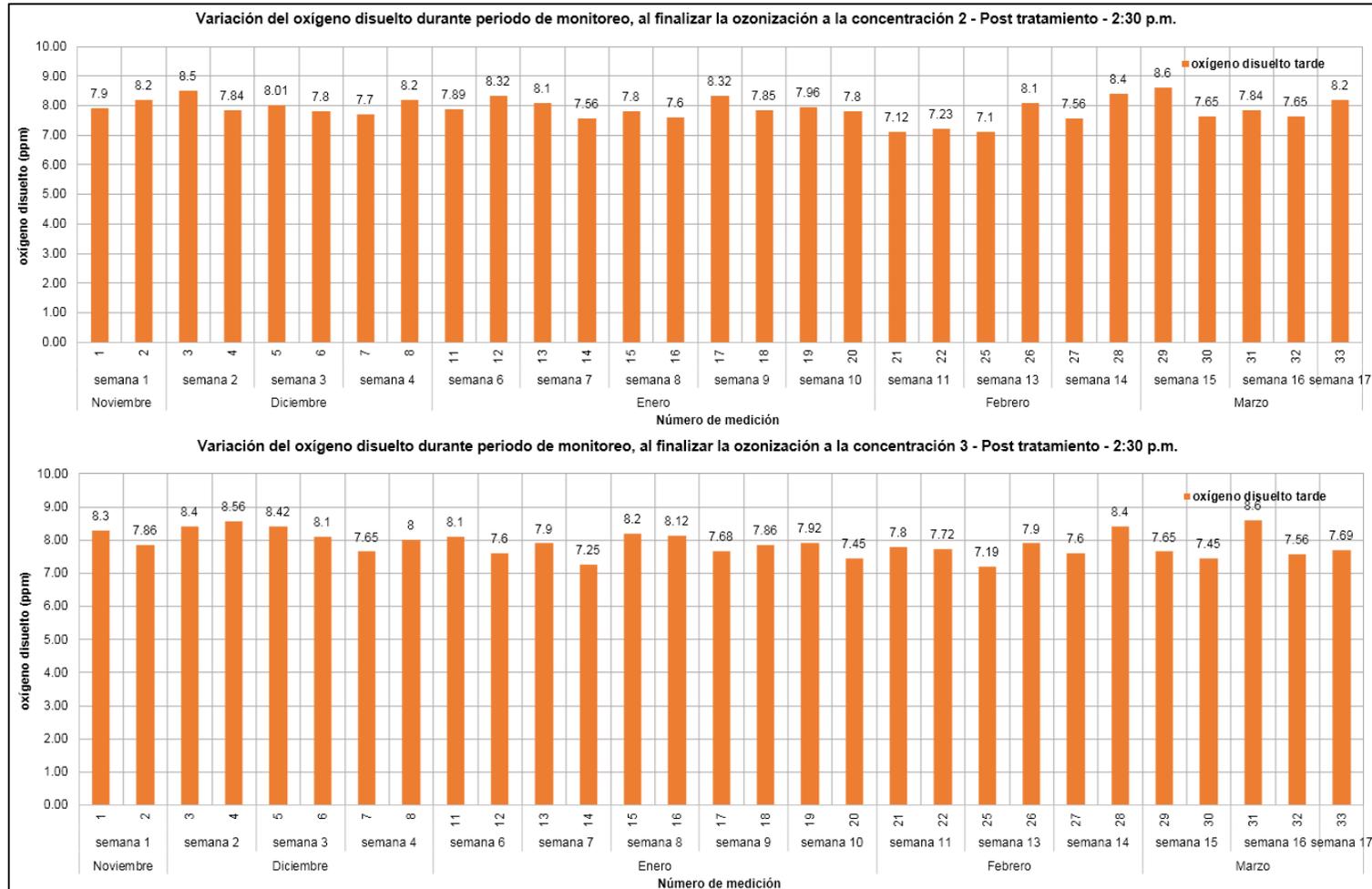
“Remoción de Coliformes Termotolerantes del Efluente del Reactor UASB Utilizando Ozono”

Gráfica N° 12.11. Variación del O.D., efluente de del reactor UASB y luego del proceso de ozonización dosificación 1 – 2:30 p.m.



“Remoción de Coliformes Termotolerantes del Efluente del Reactor UASB Utilizando Ozono”

Gráfica N° 12.12. Variación del O.D. luego del proceso de ozonización, dosificación 2 y 3 – 2:30 p.m.



“Remoción de Coliformes Termotolerantes del Efluente del Reactor UASB Utilizando Ozono”

Un cuadro de la variación de los valores obtenidos se presenta a continuación:

Cuadro N° 12.9. Variación del O.D. promedio luego del tratamiento

Mes	N° de semana	N° de medición	Variación de la oxígeno disuelto					
			Efluente UASB / dosificación 1		Efluente UASB / dosificación 2		Efluente UASB / dosificación 3	
			mañana	tarde	mañana	tarde	mañana	tarde
Noviembre	semana 1	1	1366.7%	674.5%	1331.7%	703.9%	1320.0%	713.7%
		2	834.8%	1278.7%	825.8%	1300.0%	776.4%	1188.5%
Diciembre	semana 2	3	1114.3%	1283.3%	1072.9%	1316.7%	1114.3%	1300.0%
		4	864.1%	1314.3%	869.2%	1319.6%	938.5%	1428.6%
	semana 3	5	818.6%	811.1%	807.0%	834.4%	836.0%	835.6%
		6	1176.9%	763.8%	1161.5%	770.2%	1132.3%	761.7%
	semana 4	7	681.0%	855.3%	683.8%	867.1%	647.6%	800.0%
		8	912.5%	741.5%	937.5%	761.7%	906.3%	751.1%
	semana 5	9	-	-	-	-	-	-
		10	-	-	-	-	-	-
Enero	semana 6	11	833.3%	890.5%	779.3%	856.0%	820.7%	864.3%
		12	765.0%	964.3%	740.0%	992.9%	669.0%	985.7%
	semana 7	13	736.7%	1075.7%	750.0%	1057.1%	675.5%	1028.6%
		14	1375.0%	1166.7%	1364.3%	1175.0%	1326.8%	1108.3%
	semana 8	15	1247.7%	901.3%	1184.6%	950.0%	1146.2%	925.0%
		16	3228.0%	1923.1%	3236.0%	2033.3%	3160.0%	1982.1%
	semana 9	17	704.9%	894.1%	698.0%	776.5%	639.2%	803.5%
		18	1477.4%	752.0%	1381.1%	728.6%	1383.0%	702.0%
	semana 10	19	1135.3%	870.2%	1089.7%	857.1%	1064.7%	842.9%
		20	762.2%	589.1%	722.4%	658.2%	792.9%	577.3%
Febrero	semana 11	21	1052.0%	537.5%	1020.0%	533.3%	865.3%	550.0%
		22	841.2%	873.8%	894.1%	937.5%	917.6%	865.0%
	semana 12	23	931.3%	-	912.5%	-	881.3%	-
		24	769.8%	-	789.6%	-	707.3%	-
	semana 13	25	1250.0%	906.8%	1303.3%	906.8%	1243.3%	871.6%
		26	950.0%	1145.9%	925.0%	1145.9%	975.0%	1195.1%
semana 14	27	940.0%	850.0%	926.7%	973.8%	980.0%	850.0%	
	28	1266.7%	824.7%	1206.7%	782.4%	1141.7%	888.2%	
Marzo	semana 15	29	1006.7%	645.5%	964.0%	654.5%	897.3%	595.5%
		30	875.0%	1300.0%	903.8%	1308.3%	865.0%	1141.7%
	semana 16	31	1231.1%	1115.4%	1159.0%	1192.3%	1227.9%	1223.1%
		32	823.2%	842.5%	900.0%	842.5%	924.4%	769.0%

“-“: No se realizó monitoreo por falta de disposición de laboratorio

“Remoción de Coliformes Termotolerantes del Efluente del Reactor UASB Utilizando Ozono”

Mes	N° de semana	N° de medición	Variación de la oxígeno disuelto					
			Efluente UASB / dosificación 1		Efluente UASB / dosificación 2		Efluente UASB / dosificación 3	
			mañana	tarde	mañana	tarde	mañana	tarde
	semana 17	33	985.7%	794.7%	1022.9%	805.3%	1020.0%	709.5%

XII.3.1.4. CONDUCTIVIDAD

La conductividad fue registrada antes del tratamiento de ozonización, es decir en muestras del efluente del reactor UASB. Así, mismo al finalizar el tratamiento de ozonización. Los resultados se muestran a continuación en el siguiente cuadro.

Cuadro N° 12.10. Resultados de la medición de la conductividad

Mes	N° de semana	N° de medición	Conductividad							
			Pre - tratamiento		Post - tratamiento					
			Efluente UASB		Dosificación 1		Dosificación 2		Dosificación 3	
			mañana	tarde	mañana	tarde	mañana	tarde	mañana	tarde
Noviembre	semana 1	1	1118	1130	1080	1101	1100	1097	1112	1102
		2	1102	1150	1032	1056	1081	1104	1126	1089
Diciembre	semana 2	3	1125	1157	1097	1084	1052	1075	1098	1113
		4	1089	1121	1023	1054	1024	1094	1107	1046
	semana 3	5	1097	1102	1128	1085	1132	1055	1143	1112
		6	1035	1084	1026	1057	1077	1093	1050	1063
	semana 4	7	1102	1054	1056	1021	1120	1003	1005	948
		8	1125	1032	1063	1041	1030	1022	1030	1022
	semana 5	9	-	-	-	-	-	-	-	-
		10	-	-	-	-	-	-	-	-
Enero	semana 6	11	1124	1163	1045	1089	1104	1060	1012	1170
		12	1096	1198	1054	1098	1102	1002	1153	1007
	semana 7	13	1071	1101	1108	1122	1007	1118	1007	1118
		14	1108	1109	1094	1081	1084	1066	1084	1066
	semana 8	15	1121	1105	1060	1058	1045	1020	1024	1106
		16	1010	1108	1150	1089	1054	1087	1001	1086
	semana 9	17	1055	1163	1135	1145	1123	1175	1023	1125
		18	1161	1101	1195	1175	1125	1036	1037	1117
	semana 10	19	1237	1102	1129	1025	1156	1105	1331	1324
		20	1067	1025	1196	1125	1045	1004	1023	1098
Febrero	semana 11	21	1041	1056	1002	1178	1018	1015	1062	1076

“Remoción de Coliformes Termotolerantes del Efluente del Reactor UASB Utilizando Ozono”

Mes	N° de semana	N° de medición	Conductividad							
			Pre - tratamiento		Post - tratamiento					
			Efluente UASB		Dosificación 1		Dosificación 2		Dosificación 3	
			mañana	tarde	mañana	tarde	mañana	tarde	mañana	tarde
		22	977	1071	1751	1085	948	1011	982	1114
	semana 12	23	1451	-	1501	-	1124	-	1356	-
		24	1043	-	1515	-	1235	-	1069	-
	semana 13	25	1054	1325	1038	1412	1025	1010	983	1469
		26	1004	1458	1017	1548	1054	1002	1014	1149
	semana 14	27	1046	1170	1054	1187	1118	1098	1012	1245
		28	1001	975	1025	1184	1012	1002	1021	987
	Marzo	semana 15	29	987	1012	1001	994	966	948	978
30			950	925	978	1204	951	945	950	975
semana 16		31	915	985	955	965	942	1021	917	1035
		32	938	912	939	1021	923	1101	956	948
semana 17		33	912	953	935	975	914	975	984	965

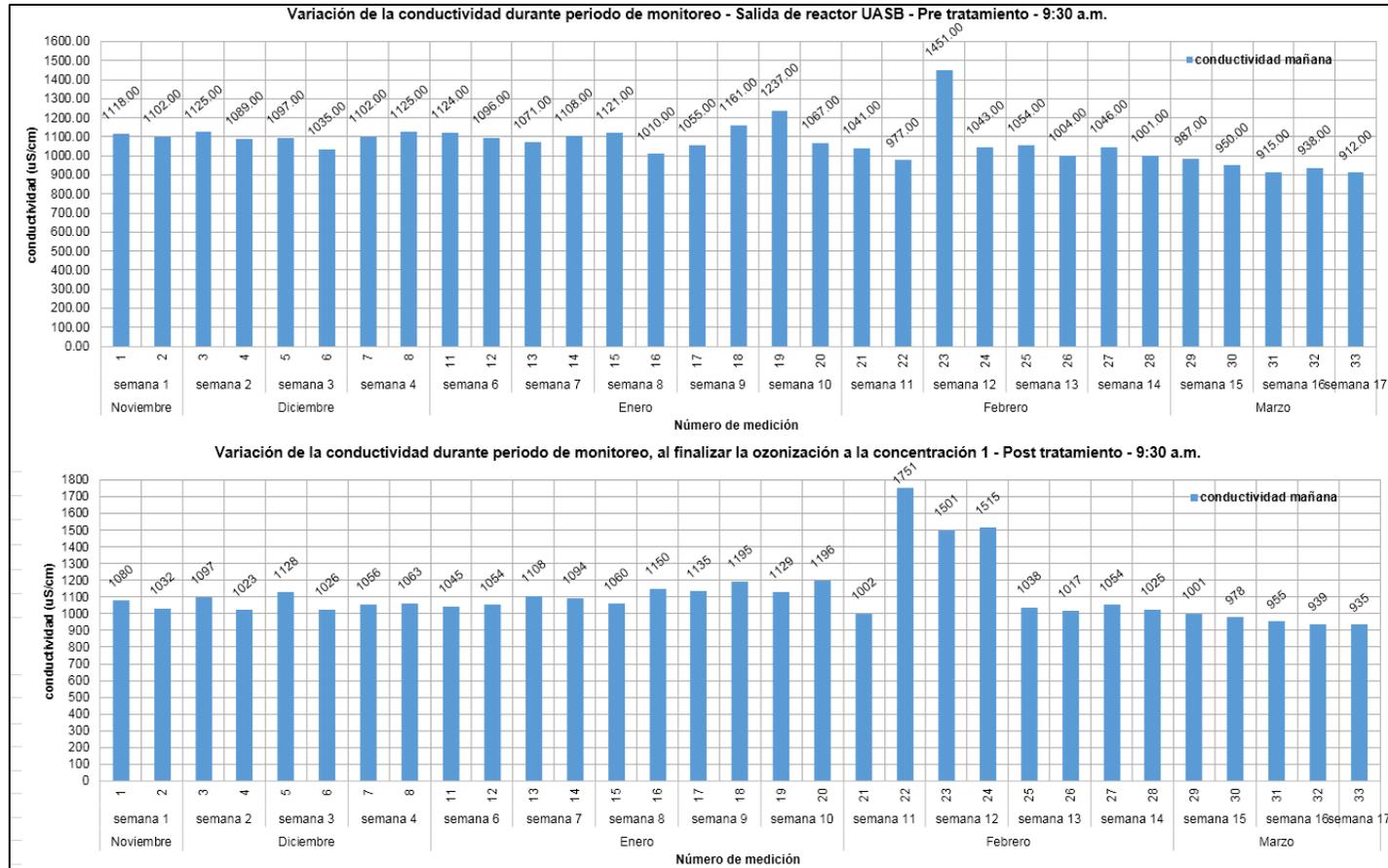
“-“: No se realizó monitoreo por falta de disposición de laboratorio

- ✓ La conductividad máxima y mínima respectivamente para el efluente de del reactor UASB fue de 1451 uS/cm y 912 uS/cm en la mañana. Así como 1458 uS/cm y 912 uS/cm en la tarde.
- ✓ La conductividad máxima y mínima respectivamente al finalizar el proceso de ozonización con dosificación 1 fue de 1751 uS/cm y 935 uS/cm en la mañana. Así como 1548 uS/cm y 965 uS/cm en la tarde.
- ✓ La conductividad máxima y mínima respectivamente al finalizar el proceso de ozonización con dosificación 2 fue de 1235 uS/cm y 914 uS/cm en la mañana. Así como 1175 uS/cm y 945 uS/cm en la tarde.
- ✓ La conductividad máxima y mínima respectivamente al finalizar el proceso de ozonización con dosificación 3 fue de 1356 uS/cm y 917 uS/cm en la mañana. Así como 1469 uS/cm y 948 uS/cm en la tarde.

Estos resultados se representan en las siguientes gráficas a continuación:

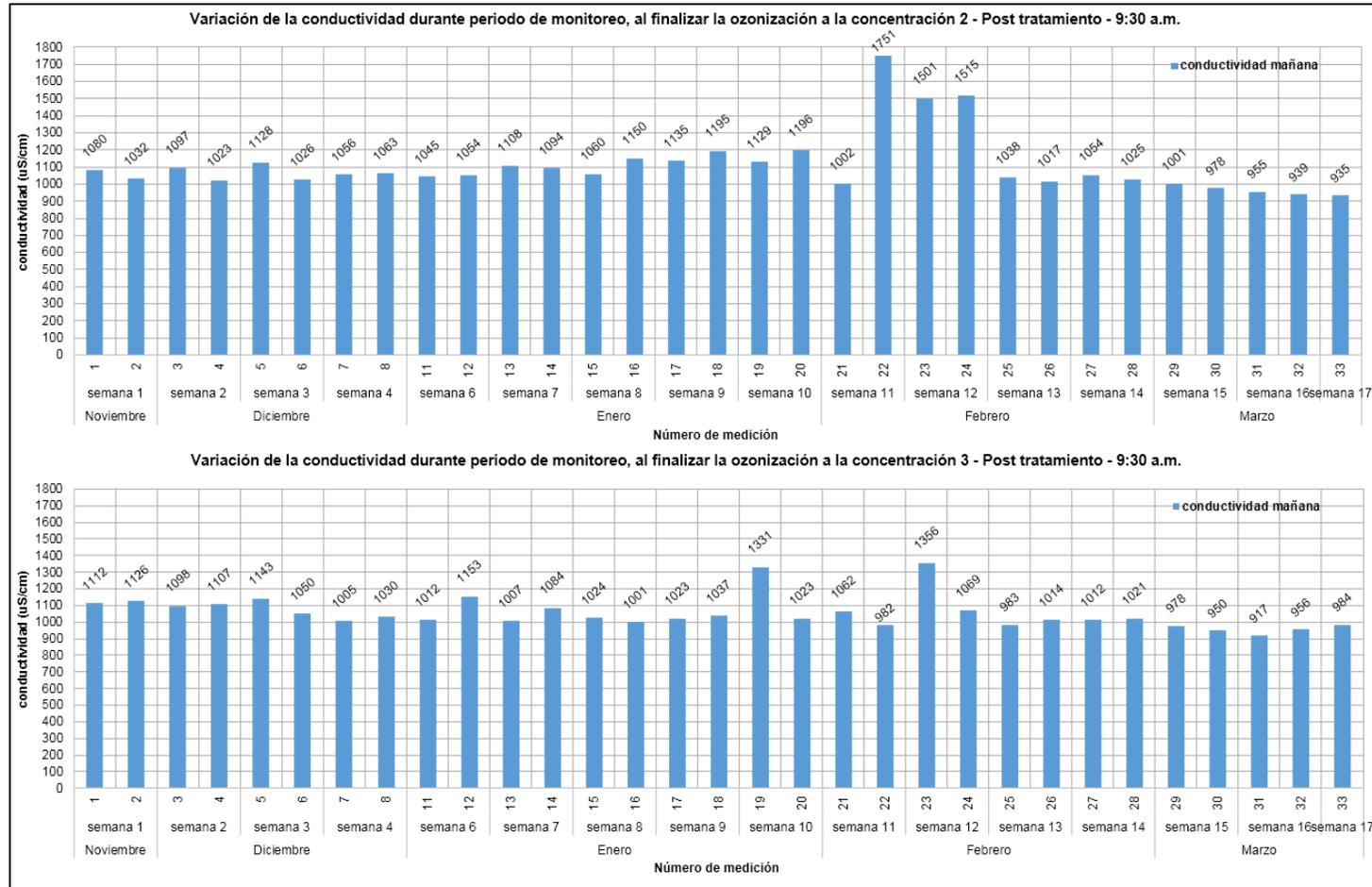
“Remoción de Coliformes Termotolerantes del Efluente del Reactor UASB Utilizando Ozono”

Gráfica N° 12.13. Variación de la conductividad, efluente de del reactor UASB y luego del proceso de ozonización dosificación 1 – 9:30 a.m.



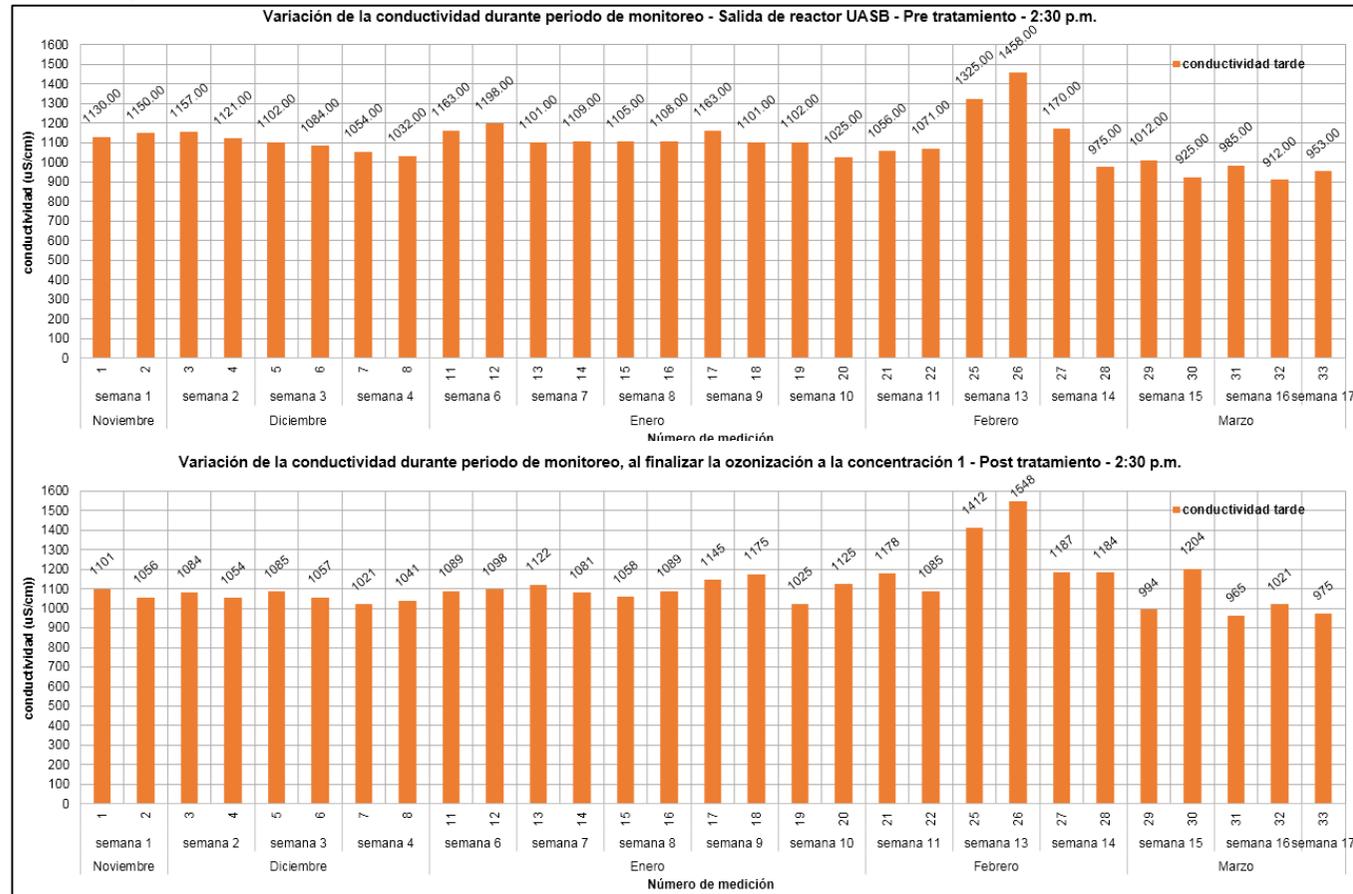
“Remoción de Coliformes Termotolerantes del Efluente del Reactor UASB Utilizando Ozono”

Gráfica N° 12.14. Variación de la conductividad luego del proceso de ozonización, dosificación 2 y 3 – 9:30 a.m.



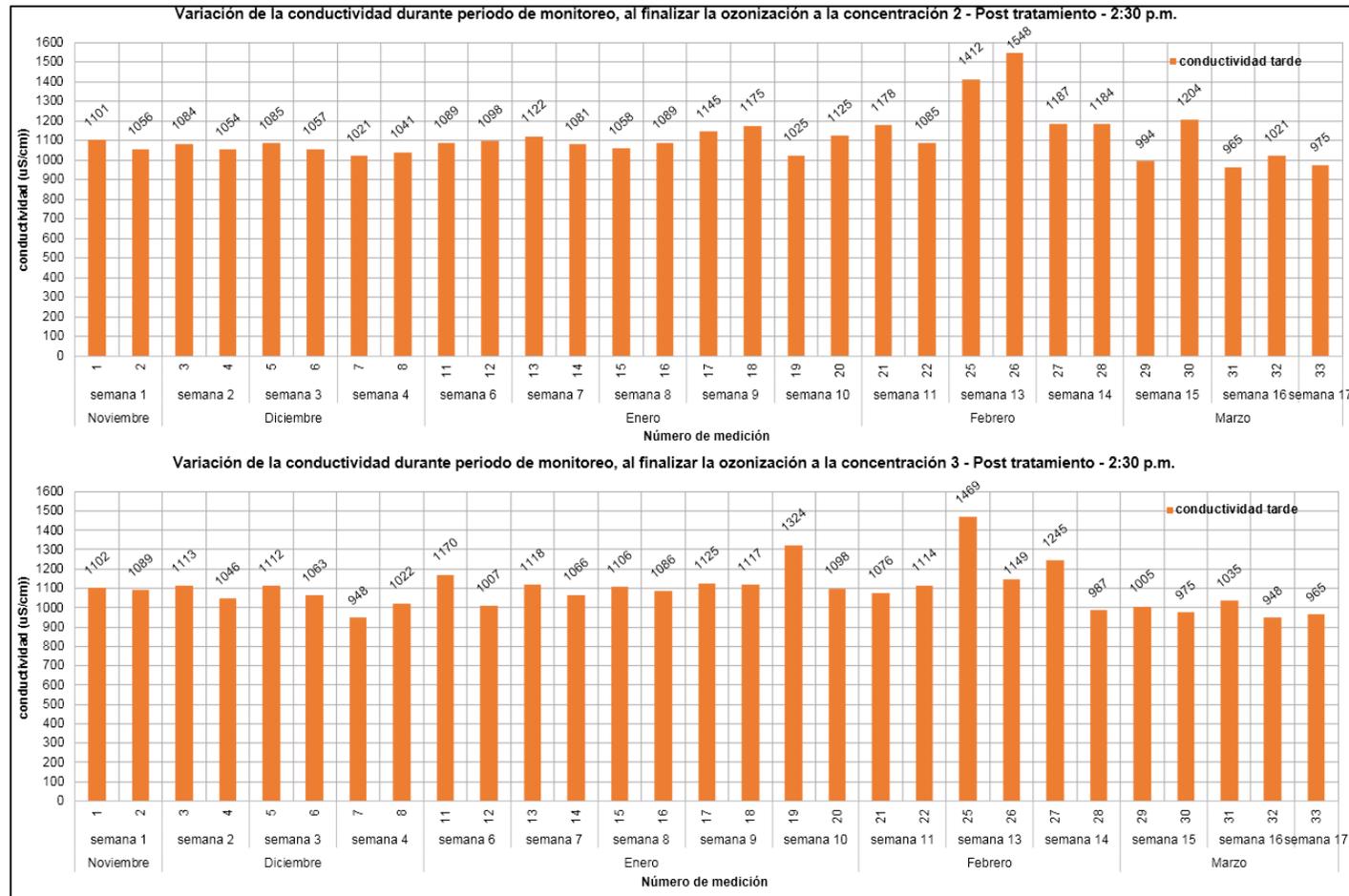
“Remoción de Coliformes Termotolerantes del Efluente del Reactor UASB Utilizando Ozono”

Gráfica N° 12.15. Variación de la conductividad., efluente de del reactor UASB y luego del proceso de ozonización dosificación 1 – 2:30 p.m.



“Remoción de Coliformes Termotolerantes del Efluente del Reactor UASB Utilizando Ozono”

Gráfica N° 12.16. Variación de la conductividad. luego del proceso de ozonización, dosificación 2 y 3 – 2:30 p.m.



“Remoción de Coliformes Termotolerantes del Efluente del Reactor UASB Utilizando Ozono”

Un cuadro de la variación de los valores obtenidos se presenta a continuación:

Cuadro N° 12.11. Variación de la conductividad promedio luego del tratamiento

Mes	N° de semana	N° de medición	Variación de la Conductividad					
			Efluente UASB / dosificación 1		Efluente UASB / dosificación 2		Efluente UASB / dosificación 3	
			mañana	tarde	mañana	tarde	mañana	tarde
Noviembre	semana 1	1	-3.4%	-2.6%	-1.6%	-2.9%	-0.5%	-2.5%
		2	-6.4%	-8.2%	-1.9%	-4.0%	2.2%	-5.3%
Diciembre	semana 2	3	-2.5%	-6.3%	-6.5%	-7.1%	-2.4%	-3.8%
		4	-6.1%	-6.0%	-6.0%	-2.4%	1.7%	-6.7%
	semana 3	5	2.8%	-1.5%	3.2%	-4.3%	4.2%	0.9%
		6	-0.9%	-2.5%	4.1%	0.8%	1.4%	-1.9%
	semana 4	7	-4.2%	-3.1%	1.6%	-4.8%	-8.8%	-10.1%
		8	-5.5%	0.9%	-8.4%	-1.0%	-8.4%	-1.0%
	semana 5	9	-	-	-	-	-	-
		10	-	-	-	-	-	-
Enero	semana 6	11	-7.0%	-6.4%	-1.8%	-8.9%	-10.0%	0.6%
		12	-3.8%	-8.3%	0.5%	-16.4%	5.2%	-15.9%
	semana 7	13	3.5%	1.9%	-6.0%	1.5%	-6.0%	1.5%
		14	-1.3%	-2.5%	-2.2%	-3.9%	-2.2%	-3.9%
	semana 8	15	-5.4%	-4.3%	-6.8%	-7.7%	-8.7%	0.1%
		16	13.9%	-1.7%	4.4%	-1.9%	-0.9%	-2.0%
	semana 9	17	7.6%	-1.5%	6.4%	1.0%	-3.0%	-3.3%
		18	2.9%	6.7%	-3.1%	-5.9%	-10.7%	1.5%
	semana 10	19	-8.7%	-7.0%	-6.5%	0.3%	7.6%	20.1%
		20	12.1%	9.8%	-2.1%	-2.0%	-4.1%	7.1%
Febrero	semana 11	21	-3.7%	11.6%	-2.2%	-3.9%	2.0%	1.9%
		22	79.2%	1.3%	-3.0%	-5.6%	0.5%	4.0%
	semana 12	23	3.4%	-	-22.5%	-	-6.5%	-
		24	45.3%	-	18.4%	-	2.5%	-
	semana 13	25	-1.5%	6.6%	-2.8%	-23.8%	-6.7%	10.9%
		26	1.3%	6.2%	5.0%	-31.3%	1.0%	-21.2%
semana 14	27	0.8%	1.5%	6.9%	-6.2%	-3.3%	6.4%	
	28	2.4%	21.4%	1.1%	2.8%	2.0%	1.2%	
Marzo	semana 15	29	1.4%	-1.8%	-2.1%	-6.3%	-0.9%	-0.7%
		30	2.9%	30.2%	0.1%	2.2%	0.0%	5.4%
	semana 16	31	4.4%	-2.0%	3.0%	3.7%	0.2%	5.1%

“Remoción de Coliformes Termotolerantes del Efluente del Reactor UASB Utilizando Ozono”

Mes	N° de semana	N° de medición	Variación de la Conductividad					
			Efluente UASB / dosificación 1		Efluente UASB / dosificación 2		Efluente UASB / dosificación 3	
			mañana	tarde	mañana	tarde	mañana	tarde
		32	0.1%	12.0%	-1.6%	20.7%	1.9%	3.9%
	semana 17	33	2.5%	2.3%	0.2%	2.3%	7.9%	1.3%

“-“: No se realizó monitoreo por falta de disposición de laboratorio

XII.3.1.5. TURBIEDAD

Las mediciones de la turbiedad en la presente investigación fueron realizadas en las muestras del efluente del reactor UASB, así como al finalizar el proceso de ozonización de estas muestras a diferentes dosificaciones. Los resultados se muestran a continuación.

Cuadro N° 12.12. Resultados de la medición de turbiedad

Mes	N° de semana	N° de medición	Turbiedad							
			Pre - tratamiento		Post - tratamiento					
			Efluente UASB		Dosificación 1		Dosificación 2		Dosificación 3	
			mañana	tarde	mañana	tarde	mañana	tarde	mañana	tarde
Noviembre	semana 1	1	62.00	63.20	55.90	48.30	45.10	45.00	42.70	41.00
		2	51.20	50.30	30.20	32.60	42.10	41.80	35.00	31.00
Diciembre	semana 2	3	50.70	54.60	34.60	41.20	28.10	38.50	25.60	37.00
		4	35.00	32.20	27.10	26.50	27.50	26.40	21.20	22.60
	semana 3	5	30.70	28.10	26.40	25.20	22.30	23.80	19.20	20.60
		6	48.00	45.00	41.00	36.00	35.40	28.10	28.00	23.10
	semana 4	7	35.10	36.40	28.00	28.20	26.20	25.30	22.10	20.50
		8	32.00	35.00	27.00	29.00	25.10	26.50	25.10	26.50
	semana 5	9	-	-	-	-	-	-	-	-
		10	-	-	-	-	-	-	-	-
Enero	semana 6	11	38.20	35.20	27.60	28.40	23.20	21.10	22.30	21.50
		12	34.50	36.10	28.60	29.40	20.10	21.00	20.80	21.80
	semana 7	13	46.10	44.20	27.20	25.10	20.00	21.20	20.00	21.20
		14	42.60	50.90	30.40	26.00	29.90	25.40	29.90	25.40
	semana 8	15	39.40	35.20	21.10	26.40	24.20	25.10	23.40	21.00
		16	169.00	82.00	50.10	40.20	65.80	42.10	50.10	44.60
	semana 9	17	38.10	35.60	30.10	28.70	22.30	21.20	21.50	23.10
		18	37.50	32.50	29.40	27.40	25.10	24.30	25.60	23.80
	semana 10	19	36.30	38.10	32.80	30.20	23.00	24.10	26.40	24.50

“Remoción de Coliformes Termotolerantes del Efluente del Reactor UASB Utilizando Ozono”

Mes	N° de semana	N° de medición	Turbiedad							
			Pre - tratamiento		Post - tratamiento					
			Efluente UASB		Dosificación 1		Dosificación 2		Dosificación 3	
			mañana	tarde	mañana	tarde	mañana	tarde	mañana	tarde
		20	42.50	36.20	31.20	30.80	25.60	26.30	30.10	29.10
Febrero	semana 11	21	59.80	51.00	51.20	42.10	44.30	25.30	31.00	21.50
		22	51.50	60.00	36.10	40.60	28.40	33.90	32.10	30.40
	semana 12	23	42.30	-	33.20	-	25.30	-	23.50	-
		24	41.60	-	31.20	-	26.10	-	27.30	-
	semana 13	25	42.10	41.20	33.60	31.00	25.10	23.50	24.80	22.10
		26	39.40	39.10	29.40	30.10	23.30	22.10	24.60	28.40
	semana 14	27	50.20	198.00	42.10	60.10	37.10	55.90	29.00	50.20
		28	41.00	40.20	36.00	32.50	30.40	29.10	30.10	26.50
Marzo	semana 15	29	34.00	33.10	32.00	29.10	30.90	30.10	25.70	24.50
		30	34.50	41.20	32.10	34.50	31.40	37.50	30.10	25.70
	semana 16	31	34.90	32.10	29.40	27.50	30.10	28.40	32.50	24.60
		32	36.60	33.50	34.00	30.50	32.20	30.50	25.40	25.40
	semana 17	33	35.20	36.20	29.10	30.50	31.40	31.70	26.50	21.20

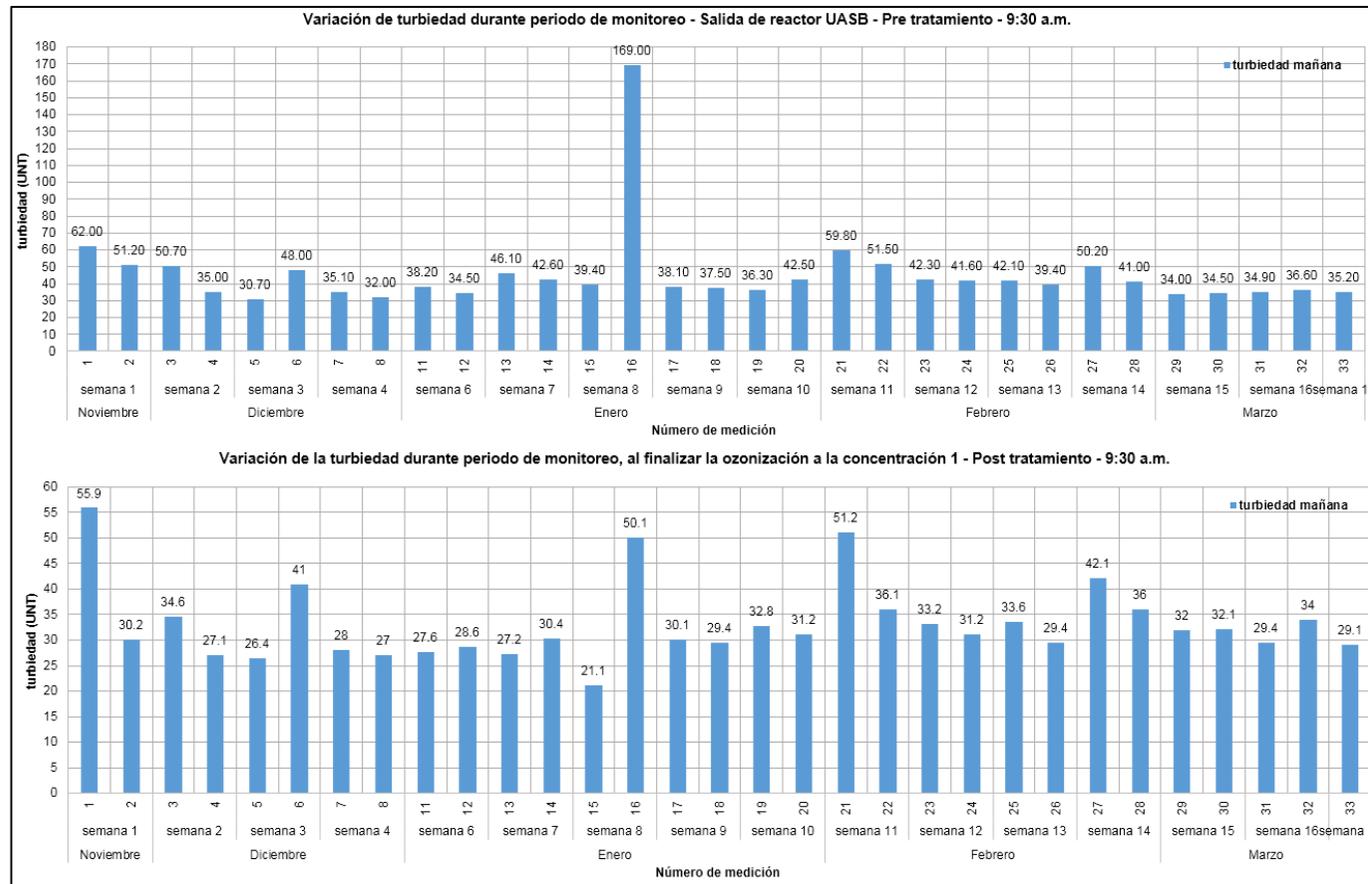
“-”: No se realizó monitoreo por falta de disposición de laboratorio

- ✓ La turbiedad máxima y mínima respectivamente para el efluente de del reactor UASB fue de 169 UNT y 30.7 UNT en la mañana. Así como 198 UNT y 28.1 UNT en la tarde.
- ✓ La turbiedad máxima y mínima respectivamente al finalizar el proceso de ozonización con dosificación 1 fue de 55.9 UNT y 21.1 UNT en la mañana. Así como 60.1 UNT y 25.1 UNT en la tarde.
- ✓ La turbiedad máxima y mínima respectivamente al finalizar el proceso de ozonización con dosificación 2 fue de 65.8 UNT y 20 UNT en la mañana. Así como 55.9 UNT y 21 UNT en la tarde.
- ✓ La turbiedad máxima y mínima respectivamente al finalizar el proceso de ozonización con dosificación 3 fue de 50.1 UNT y 19.2 UNT en la mañana. Así como 50.2 UNT y 20.5 UNT en la tarde.

Estos datos son representados en las siguientes gráficas a continuación.

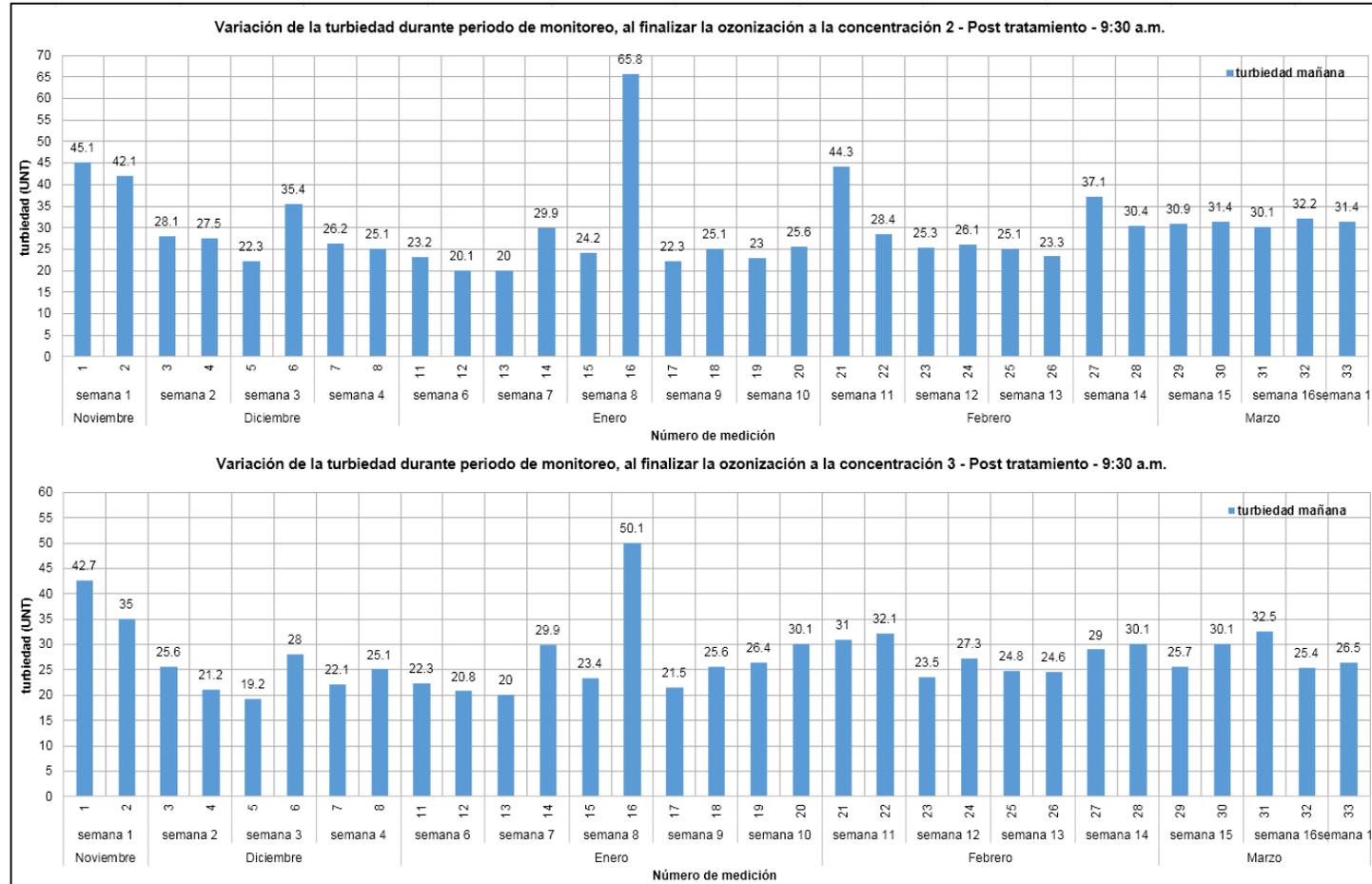
“Remoción de Coliformes Termotolerantes del Efluente del Reactor UASB Utilizando Ozono”

Gráfica N° 12.17. Variación de la turbiedad, efluente de del reactor UASB y luego del proceso de ozonización dosificación 1 – 9:30 a.m.



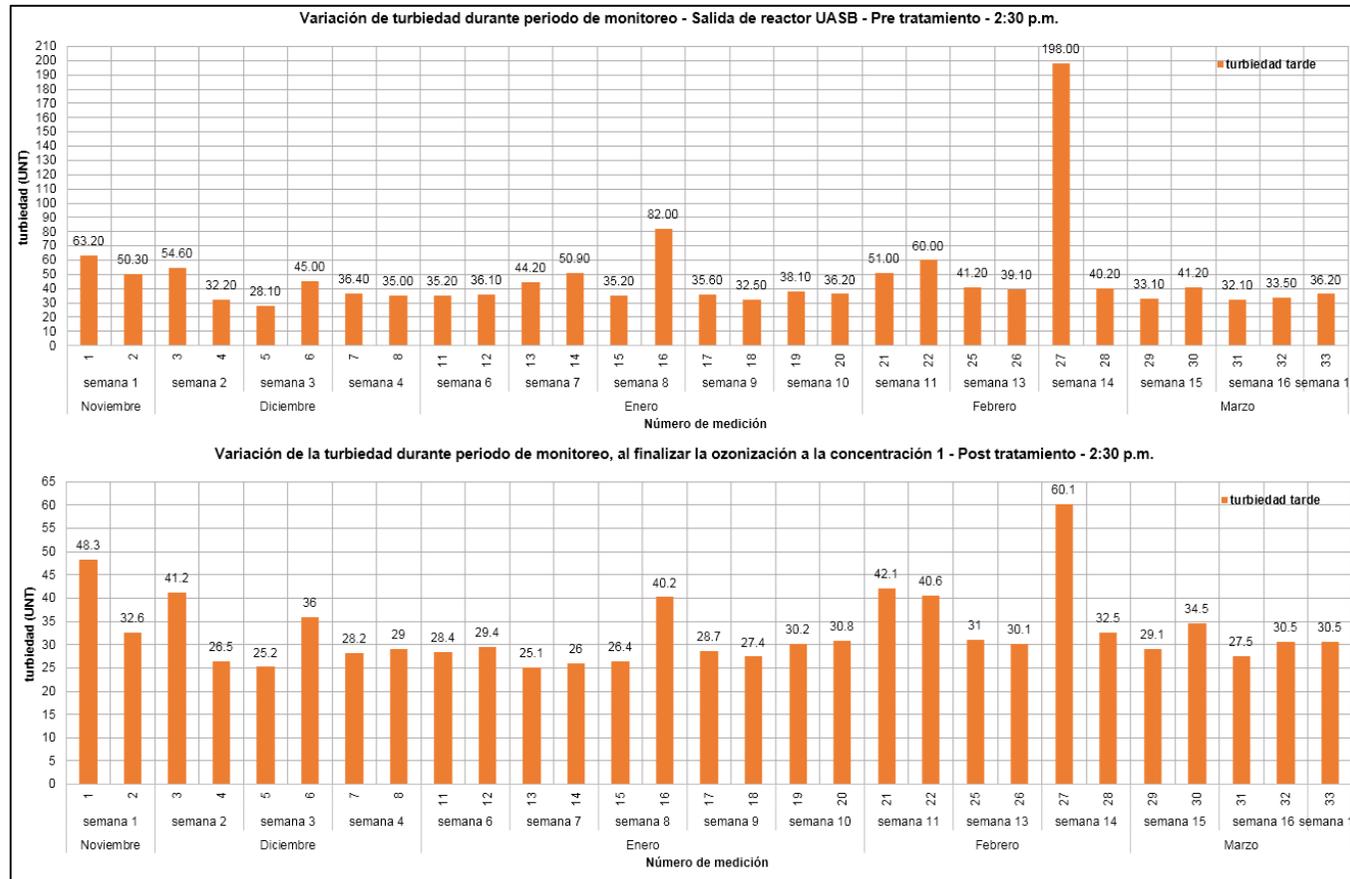
“Remoción de Coliformes Termotolerantes del Efluente del Reactor UASB Utilizando Ozono”

Gráfica N° 12.18. Variación de la turbiedad, luego del proceso de ozonización, dosificación 2 y 3 – 9:30 a.m.



“Remoción de Coliformes Termotolerantes del Efluente del Reactor UASB Utilizando Ozono”

Gráfica N° 12.19. Variación de la temperatura, efluente de del reactor UASB y luego del proceso de ozonización dosificación 1 – 2:30 p.m.



“Remoción de Coliformes Termotolerantes del Efluente del Reactor UASB Utilizando Ozono”

Gráfica N° 12.20. Variación de la turbiedad luego del proceso de ozonización, dosificación 2 y 3 – 2:30 p.m.



“Remoción de Coliformes Termotolerantes del Efluente del Reactor UASB Utilizando Ozono”

Un cuadro de la variación de los valores obtenidos se presenta a continuación:

Cuadro N° 12.13. Variación de la turbiedad promedio luego del tratamiento

Mes	N° de semana	N° de medición	Variación de la Turbiedad					
			Efluente UASB / dosificación 1		Efluente UASB / dosificación 2		Efluente UASB / dosificación 3	
			mañana	tarde	mañana	tarde	mañana	tarde
Noviembre	semana 1	1	-9.8%	-23.6%	-27.3%	-28.8%	-31.1%	-35.1%
		2	-41.0%	-35.2%	-17.8%	-16.9%	-31.6%	-38.4%
Diciembre	semana 2	3	-31.8%	-24.5%	-44.6%	-29.5%	-49.5%	-32.2%
		4	-22.6%	-17.7%	-21.4%	-18.0%	-39.4%	-29.8%
	semana 3	5	-14.0%	-10.3%	-27.4%	-15.3%	-37.5%	-26.7%
		6	-14.6%	-20.0%	-26.3%	-37.6%	-41.7%	-48.7%
	semana 4	7	-20.2%	-22.5%	-25.4%	-30.5%	-37.0%	-43.7%
		8	-15.6%	-17.1%	-21.6%	-24.3%	-21.6%	-24.3%
	semana 5	9	-	-	-	-	-	-
		10	-	-	-	-	-	-
Enero	semana 6	11	-27.7%	-19.3%	-39.3%	-40.1%	-41.6%	-38.9%
		12	-17.1%	-18.6%	-41.7%	-41.8%	-39.7%	-39.6%
	semana 7	13	-41.0%	-43.2%	-56.6%	-52.0%	-56.6%	-52.0%
		14	-28.6%	-48.9%	-29.8%	-50.1%	-29.8%	-50.1%
	semana 8	15	-46.4%	-25.0%	-38.6%	-28.7%	-40.6%	-40.3%
		16	-70.4%	-51.0%	-61.1%	-48.7%	-70.4%	-45.6%
	semana 9	17	-21.0%	-19.4%	-41.5%	-40.4%	-43.6%	-35.1%
		18	-21.6%	-15.7%	-33.1%	-25.2%	-31.7%	-26.8%
	semana 10	19	-9.6%	-20.7%	-36.6%	-36.7%	-27.3%	-35.7%
		20	-26.6%	-14.9%	-39.8%	-27.3%	-29.2%	-19.6%
Febrero	semana 11	21	-14.4%	-17.5%	-25.9%	-18.4%	-48.2%	-30.6%
		22	-29.9%	-32.3%	-44.9%	-43.5%	-37.7%	-49.3%
	semana 12	23	-21.5%	-	-40.2%	-	-44.4%	-
		24	-25.0%	-	-37.3%	-	-34.4%	-
	semana 13	25	-20.2%	-24.8%	-40.4%	-43.0%	-41.1%	-46.4%
		26	-25.4%	-23.0%	-40.9%	-43.5%	-37.6%	-27.4%
semana 14	27	-16.1%	-69.6%	-26.1%	-71.8%	-42.2%	-74.6%	
	28	-12.2%	-19.2%	-25.9%	-27.6%	-26.6%	-34.1%	
Marzo	semana 15	29	-5.9%	-12.1%	-9.1%	-9.1%	-24.4%	-26.0%
		30	-7.0%	-16.3%	-9.0%	-9.0%	-12.8%	-37.6%
	semana 16	31	-15.8%	-14.3%	-13.8%	-11.5%	-6.9%	-23.4%
		32	-7.1%	-9.0%	-12.0%	-9.0%	-30.6%	-24.2%

“-”: No se realizó monitoreo por falta de disposición de laboratorio

**“Remoción de Coliformes Termotolerantes del Efluente del Reactor UASB
Utilizando Ozono”**

Mes	N° de semana	N° de medición	Variación de la Turbiedad					
			Efluente UASB / dosificación 1		Efluente UASB / dosificación 2		Efluente UASB / dosificación 3	
			mañana	tarde	mañana	tarde	mañana	tarde
	semana 17	33	-17.3%	-15.7%	-10.8%	-12.4%	-24.7%	-41.4%

“Remoción de Coliformes Termotolerantes del Efluente del Reactor UASB Utilizando Ozono”

XII.3.1.6. SÓLIDOS

En la presente investigación se midieron los sólidos totales, suspendidos y disueltos de las muestras del efluente del reactor UASB. Así también después del proceso de ozonización de estas muestras a diferentes dosificaciones de ozono. A continuación se muestra un cuadro con los resultados obtenidos.

Cuadro N° 12.14. Resultados de medición de sólidos.

Mes	Semana/Medición	Prueba	Tipo de tratamiento	Punto de medición	sólidos totales (ppm)	sólidos fijos (ppm)	sólidos volátiles (ppm)	sólidos suspendidos totales (ppm)	sólidos disueltos totales (ppm)	sólidos sedimentables
Diciembre	Semana 2/ Medición 3	Prueba 1	Pre - tratamiento	Efluente UASB	472.0	428.0	44.0	57.0	425.0	NSPS
			Ozonización	Dosificación 1	1088.0	514.0	574.0	49.0	1030.0	NSPS
				Dosificación 2	994.0	510.0	484.0	54.0	941.0	NSPS
				Dosificación 3	639.0	186.0	453.0	32.0	495.0	NSPS
Enero	Semana 6/ Medición 11	Prueba 2	Pre - tratamiento	Efluente UASB	842.0	798.0	44.0	37.0	779.0	NSPS
			Ozonización	Dosificación 1	297.0	86.0	211.0	37.0	271.0	NSPS
				Dosificación 2	704.4	246.0	458.4	17.0	628.0	NSPS
				Dosificación 3	962.0	509.0	453.0	45.0	598.0	NSPS
Enero	Semana 10/ Medición 19	Prueba 3	Pre - tratamiento	Efluente UASB	113.0	97.0	16.0	31.0	126.0	NSPS
			Ozonización	Dosificación 1	166.0	65.0	101.0	28.0	120.0	NSPS
				Dosificación 2	672.0	462.0	210.0	19.0	652.0	NSPS
				Dosificación 3	984.0	398.0	586.0	16.0	396.0	NSPS

“Remoción de Coliformes Termotolerantes del Efluente del Reactor UASB Utilizando Ozono”

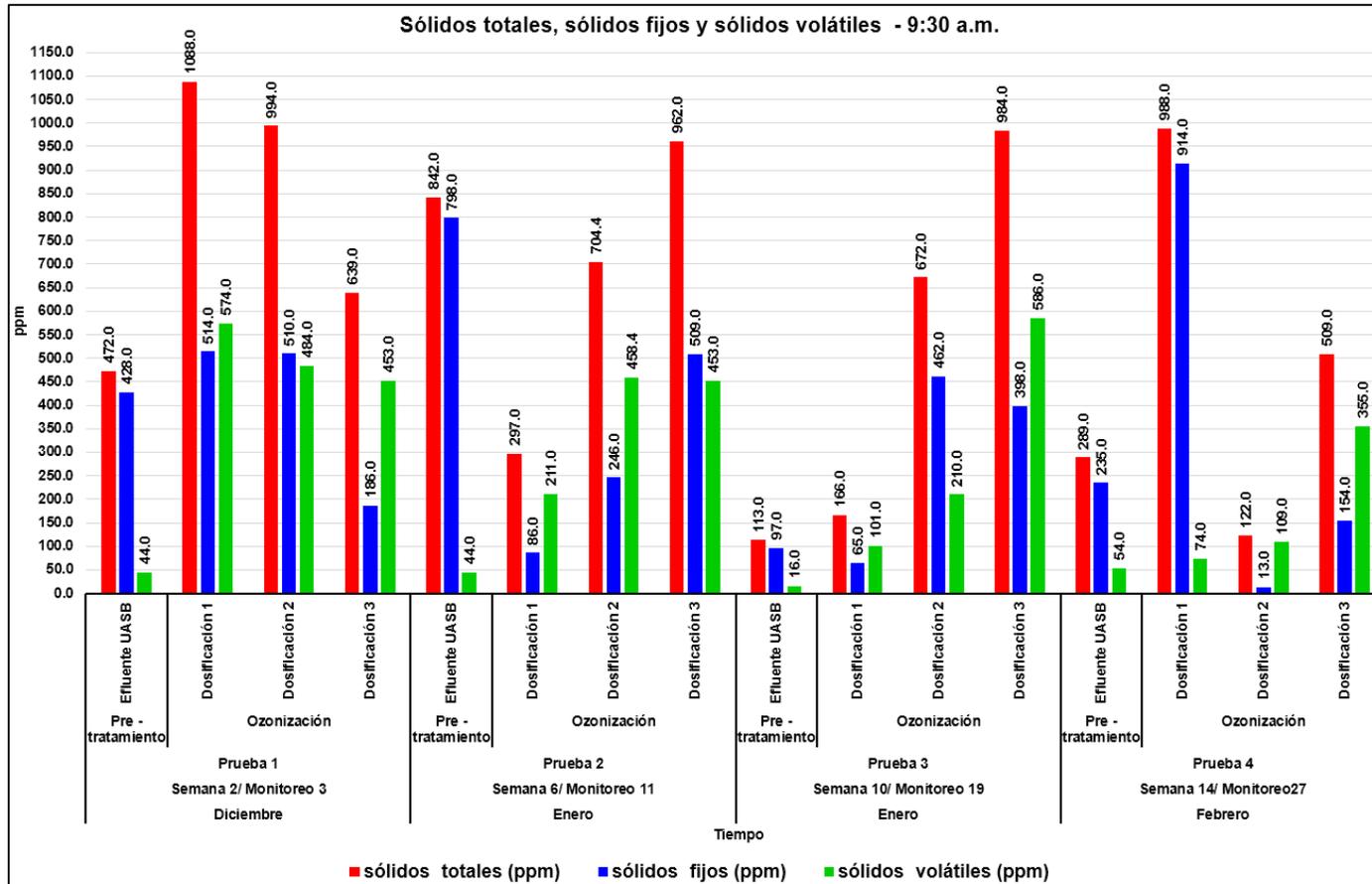
Mes	Semana/Medición	Prueba	Tipo de tratamiento	Punto de medición	sólidos totales (ppm)	sólidos fijos (ppm)	sólidos volátiles (ppm)	sólidos suspendidos totales (ppm)	sólidos disueltos totales (ppm)	sólidos sedimentables
Febrero	Semana 14/ Medición 27	Prueba 4	Pre - tratamiento	Efluente UASB	289.0	235.0	54.0	37.0	600.0	NSPS
			Ozonización	Dosificación 1	988.0	914.0	74.0	25.0	1001.0	NSPS
				Dosificación 2	122.0	13.0	109.0	17.0	132.0	NSPS
				Dosificación 3	509.0	154.0	355.0	14.0	508.0	NSPS

NSPS: No se presenció sedimentación.

De estos resultados, se expresa las siguientes gráficas presentadas en la página siguiente:

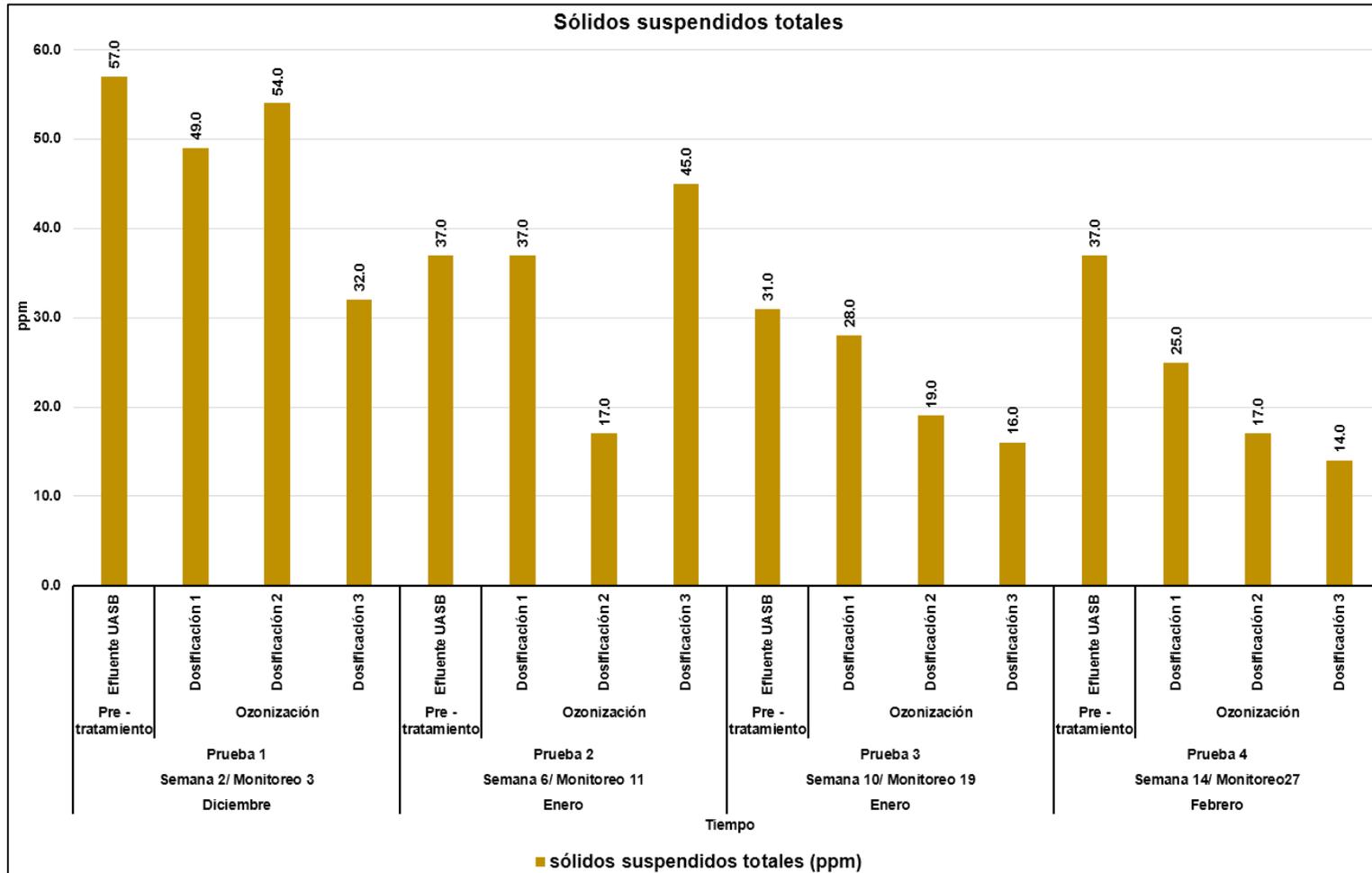
“Remoción de Coliformes Termotolerantes del Efluente del Reactor UASB Utilizando Ozono”

Gráfica N° 12.21. Sólidos Totales



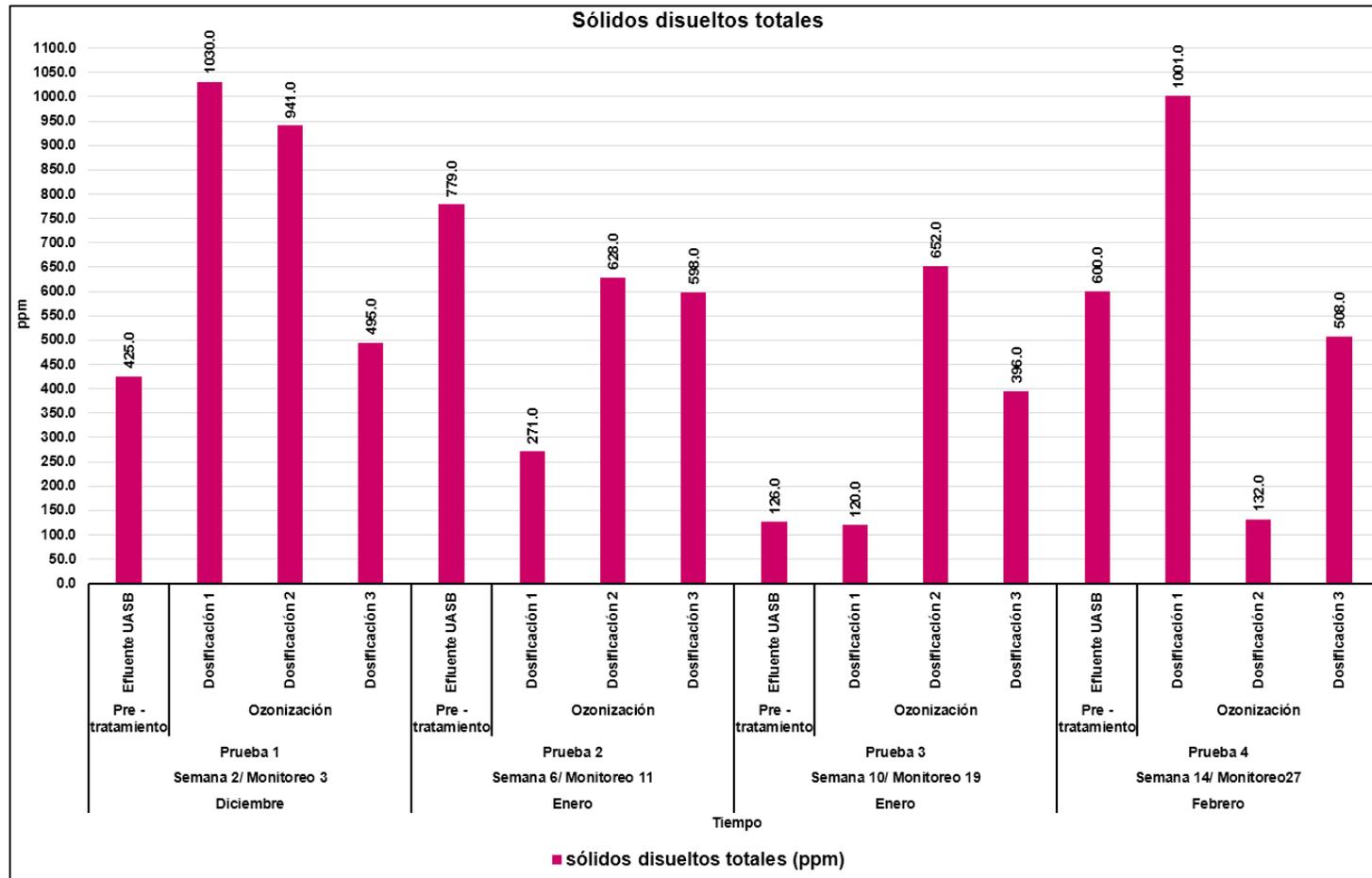
“Remoción de Coliformes Termotolerantes del Efluente del Reactor UASB Utilizando Ozono”

Gráfica N° 12.22. Sólidos Suspendidos Totales



“Remoción de Coliformes Termotolerantes del Efluente del Reactor UASB Utilizando Ozono”

Gráfica N° 12.23. Sólidos Disueltos Totales



“Remoción de Coliformes Termotolerantes del Efluente del Reactor UASB Utilizando Ozono”

Así mismo se presenta una tabla, donde se muestra los valores porcentuales de la composición de los sólidos de acuerdo a su tipo.

Cuadro N° 12.15. Resultados porcentuales de los sólidos dependiendo su tipo

Mes	Semana/Medición	Prueba	Tipo de tratamiento	Punto de medición	sólidos totales (ppm)	sólidos fijos (ppm)	sólidos volátiles (ppm)	sólidos suspendidos totales (ppm)	sólidos disueltos totales (ppm)	sólidos sedimentables
Diciembre	Semana 2/ Medición 3	Prueba 1	Pre - tratamiento	Efluente UASB	100.0%	90.7%	9.3%	100.0%	100.0%	-
			Ozonización	Dosificación 1	100.0%	47.2%	52.8%	100.0%	100.0%	-
				Dosificación 2	100.0%	51.3%	48.7%	100.0%	100.0%	-
				Dosificación 3	100.0%	29.1%	70.9%	100.0%	100.0%	-
Enero	Semana 6/ Medición 11	Prueba 2	Pre - tratamiento	Efluente UASB	100.0%	94.8%	5.2%	100.0%	100.0%	-
			Ozonización	Dosificación 1	100.0%	29.0%	71.0%	100.0%	100.0%	-
				Dosificación 2	100.0%	34.9%	65.1%	100.0%	100.0%	-
				Dosificación 3	100.0%	52.9%	47.1%	100.0%	100.0%	-
Enero	Semana 10/ Medición 19	Prueba 3	Pre - tratamiento	Efluente UASB	100.0%	85.8%	14.2%	100.0%	100.0%	-
			Ozonización	Dosificación 1	100.0%	39.2%	60.8%	100.0%	100.0%	-
				Dosificación 2	100.0%	68.7%	31.3%	100.0%	100.0%	-
				Dosificación 3	100.0%	40.4%	59.6%	100.0%	100.0%	-

“Remoción de Coliformes Termotolerantes del Efluente del Reactor UASB Utilizando Ozono”

Mes	Semana/Medición	Prueba	Tipo de tratamiento	Punto de medición	sólidos totales (ppm)	sólidos fijos (ppm)	sólidos volátiles (ppm)	sólidos suspendidos totales (ppm)	sólidos disueltos totales (ppm)	sólidos sedimentables
Febrero	Semana 14/ Medición 27	Prueba 4	Pre - tratamiento	Efluente UASB	100.0%	21.9%	78.1%	100.0%	100.0%	-
			Ozonización	Dosificación 1	100.0%	92.5%	7.5%	100.0%	100.0%	-
				Dosificación 2	100.0%	10.7%	89.3%	100.0%	100.0%	-
				Dosificación 3	100.0%	30.3%	69.7%	100.0%	100.0%	-

“Remoción de Coliformes Termotolerantes del Efluente del Reactor UASB Utilizando Ozono”

XII.3.2. PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS

XII.3.2.1. COLIFORMES TERMOTOLERANTES

Los análisis de determinación de Coliformes termotolerante fueron realizados en muestras del efluente del reactor UASB, con el método de filtración por membrana. Así mismo en determinados tiempos, durante el proceso de ozonización. Los resultados se muestran a continuación en el cuadro, para las mediciones de la mañana y tarde.

Cuadro N° 12.16. Resultados de la remoción de Coliformes termotolerante, antes del tratamiento y después de la ozonización a diferentes dosificaciones de ozono – método de filtro de membrana.

Mes	Semana	N° de medición	Tiempo (minutos)	dosificación 1		dosificación 2		dosificación 3	
				Coliformes termotolerante - medición de la mañana (UFC/100 ml)	Coliformes termotolerante - medición de la tarde (UFC/100 ml)	Coliformes termotolerante - medición de la mañana (UFC/100 ml)	Coliformes termotolerante - medición de la tarde (UFC/100 ml)	Coliformes termotolerante - medición de la mañana (UFC/100 ml)	Coliformes termotolerante - medición de la tarde (UFC/100 ml)
Noviembre	semana 1	1	0	7.10E+08	6.50E+08	7.10E+08	6.50E+08	7.10E+08	6.50E+08
			2	6.40E+08	4.80E+08	4.50E+08	2.10E+08	3.70E+07	2.80E+07
			6	5.10E+07	2.80E+07	3.90E+07	4.10E+07	6.90E+06	6.70E+06
			10	8.40E+05	9.50E+05	3.40E+05	7.80E+05	2.41E+05	3.70E+05
		2	0	6.20E+08	6.20E+08	6.20E+08	6.20E+08	6.20E+08	6.20E+08
			10	9.20E+05	8.70E+05	2.40E+05	3.50E+05	1.50E+05	3.50E+05
			20	3.50E+04	4.60E+04	6.50E+04	8.10E+04	2.00E+03	3.40E+03
			35	8.20E+03	2.80E+03	1.20E+03	2.40E+03	1.30E+02	2.40E+02
Diciembre	semana 3	5	0	4.10E+08	5.10E+08	4.10E+08	5.10E+08	4.10E+08	5.10E+08
			4	2.40E+08	2.50E+06	4.90E+07	5.60E+07	2.50E+07	3.50E+07
			8	1.20E+07	5.80E+06	1.03E+06	9.80E+05	1.30E+05	7.40E+05
			15	4.80E+06	1.80E+05	5.20E+04	3.60E+04	5.40E+04	8.70E+04
		6	0	9.10E+07	6.10E+07	9.10E+07	6.10E+07	9.10E+07	6.10E+07
			15	5.60E+06	5.70E+05	7.80E+05	4.70E+05	7.10E+04	9.40E+04
			25	7.80E+04	6.40E+03	8.80E+03	6.70E+03	5.80E+03	1.80E+03
			35	9.50E+03	2.80E+03	8.90E+02	4.80E+02	7.20E+02	1.70E+02
Enero	semana 7	13	0	6.20E+08	7.80E+08	6.20E+08	7.80E+08	6.20E+08	7.80E+08
			4	4.50E+07	3.80E+07	2.50E+08	6.00E+07	6.40E+07	2.00E+06
			8	1.57E+06	4.20E+06	8.90E+05	7.30E+06	2.00E+06	5.40E+05
			15	5.80E+04	3.50E+05	1.86E+04	8.70E+04	5.30E+05	3.40E+04
		14	0	8.60E+08	6.40E+08	8.60E+08	6.40E+08	8.60E+08	6.40E+08
			15	1.33E+05	8.50E+05	1.86E+05	8.40E+05	1.47E+04	2.90E+04

“Remoción de Coliformes Termotolerantes del Efluente del Reactor UASB Utilizando Ozono”

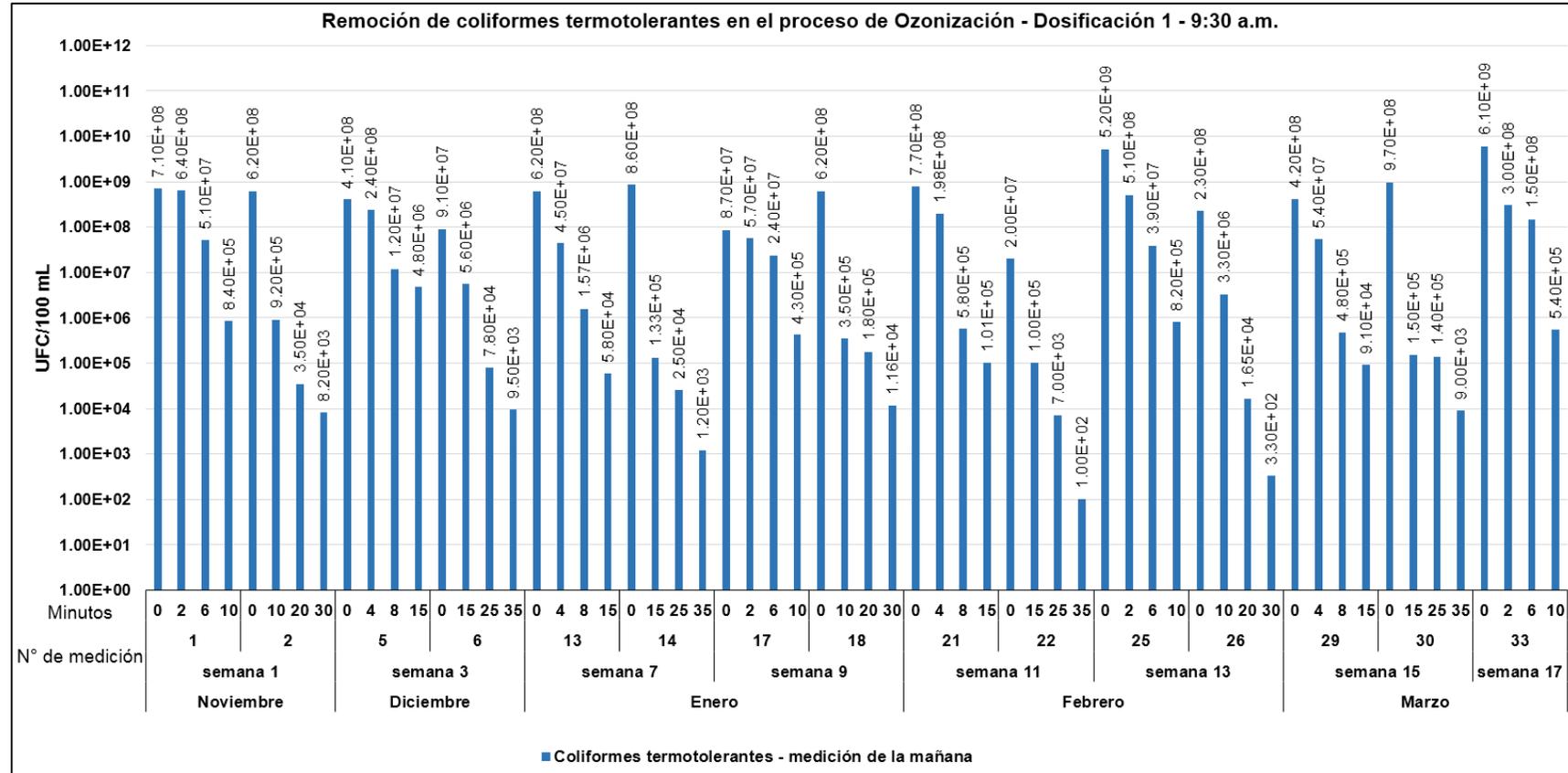
Me s	Semana	N° de medici ón	Tiemp o (minut os)	dosificación 1		dosificación 2		dosificación 3		
				Coliformes termotoler ante - medición de la mañana (UFC/100 ml)	Coliformes termotoler ante - medición de la tarde (UFC/100 ml)	Coliformes termotoler ante - medición de la mañana (UFC/100 ml)	Coliformes termotoler ante - medición de la tarde (UFC/100 ml)	Coliformes termotoler ante - medición de la mañana (UFC/100 ml)	Coliformes termotoler ante - medición de la tarde (UFC/100 ml)	
							25	2.50E+04	4.20E+03	3.10E+04
			35	1.20E+03	1.90E+03	1.50E+03	3.70E+02	1.30E+02	5.40E+02	
Febrero	semana 9	17	0	8.70E+07	1.02E+09	8.70E+07	1.02E+09	8.70E+07	1.02E+09	
			2	5.70E+07	2.40E+07	5.10E+05	7.00E+08	7.60E+07	3.40E+08	
			6	2.40E+07	3.30E+07	2.50E+05	3.90E+06	6.40E+07	2.70E+06	
			10	4.30E+05	1.60E+05	1.56E+05	4.60E+04	7.30E+05	4.00E+05	
		18	0	6.20E+08	6.50E+09	6.20E+08	6.50E+09	6.20E+08	6.50E+09	
			10	3.50E+05	6.40E+06	1.99E+06	1.80E+06	9.50E+05	1.05E+06	
	20		1.80E+05	2.70E+04	1.08E+04	3.70E+04	1.60E+04	4.10E+04		
	Febrero	semana 11	21	0	7.70E+08	1.05E+09	7.70E+08	1.05E+09	7.70E+08	1.05E+09
				4	1.98E+08	5.50E+07	2.80E+08	2.30E+07	1.00E+07	1.45E+07
				8	5.80E+05	2.30E+06	4.20E+06	5.70E+05	1.30E+06	7.34E+06
				15	1.01E+05	4.70E+05	1.06E+05	3.90E+04	1.07E+04	1.20E+04
			22	0	2.00E+07	1.00E+07	2.00E+07	1.00E+07	2.00E+07	1.00E+07
15				1.00E+05	9.80E+04	6.30E+05	7.50E+05	3.40E+04	1.00E+03	
25		7.00E+03		2.70E+03	2.07E+04	3.70E+03	2.00E+02	6.10E+03		
Febrero		semana 13	25	0	5.20E+09	2.70E+08	5.20E+09	2.70E+08	5.20E+09	2.70E+08
				2	5.10E+08	7.40E+08	2.00E+08	8.00E+07	8.00E+08	2.70E+08
				6	3.90E+07	5.40E+06	8.00E+07	4.30E+06	1.10E+07	8.40E+05
				10	8.20E+05	7.60E+05	8.90E+05	5.40E+04	4.80E+06	6.00E+05
			26	0	2.30E+08	6.00E+08	2.30E+08	6.00E+08	2.30E+08	6.00E+08
	10			3.30E+06	1.80E+05	8.90E+05	7.00E+05	1.10E+05	1.32E+05	
	20	1.65E+04		6.60E+03	7.50E+04	6.70E+04	3.00E+04	3.80E+03		
	Marzo	semana 15	29	0	4.20E+08	5.76E+08	4.20E+08	5.76E+08	4.20E+08	5.76E+08
				4	5.40E+07	9.10E+07	9.00E+07	4.80E+07	8.00E+07	1.50E+07
				8	4.80E+05	3.80E+07	1.50E+06	5.60E+06	2.40E+06	8.20E+05
				15	9.10E+04	5.70E+05	1.46E+05	8.80E+05	1.45E+04	2.70E+04
			30	0	9.70E+08	5.70E+08	9.70E+08	5.70E+08	9.70E+08	5.70E+08
15				1.50E+05	5.40E+06	8.00E+05	4.60E+04	6.50E+04	3.40E+04	
25		1.40E+05		5.40E+03	2.30E+04	3.70E+03	4.10E+03	5.70E+03		
semana 17		33	0	6.10E+09	3.70E+08	6.10E+09	3.70E+08	6.10E+09	3.70E+08	
			2	3.00E+08	8.40E+07	3.70E+08	9.70E+07	2.93E+08	3.50E+08	
			6	1.50E+08	7.70E+06	1.50E+08	3.20E+06	6.50E+07	6.80E+05	
			10	5.40E+05	1.80E+05	5.60E+05	6.70E+05	7.80E+05	2.50E+05	

“Remoción de Coliformes Termotolerantes del Efluente del Reactor UASB Utilizando Ozono”

Las concentraciones de Coliformes termotolerante correspondientes al minuto “0” son del efluente del reactor UASB, es decir antes del tratamiento de ozonización. De estos resultados, se expresan las siguientes gráficas:

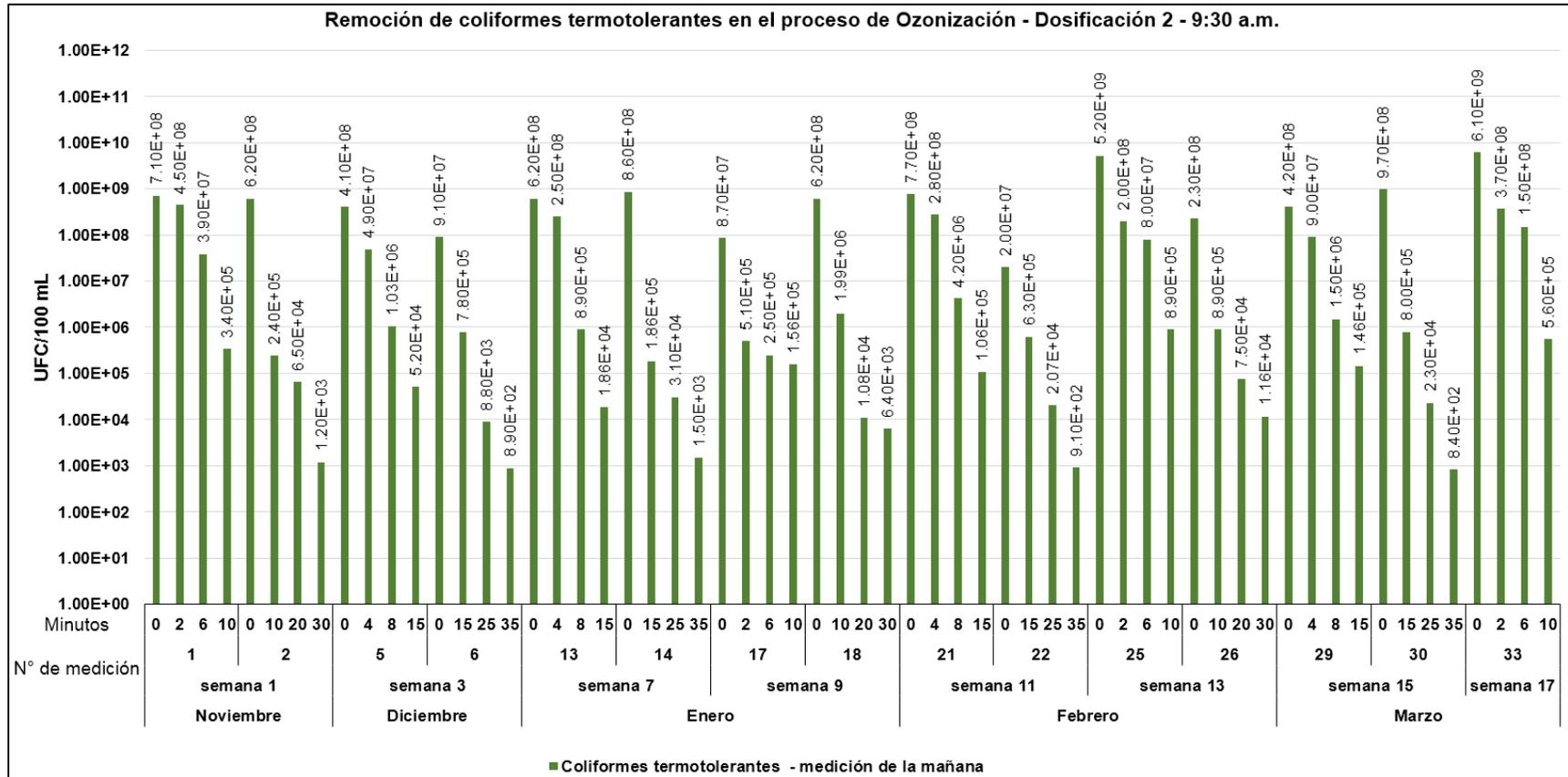
“Remoción de Coliformes Termotolerantes del Efluente del Reactor UASB Utilizando Ozono”

Gráfica N° 12.24. Remoción de Coliformes termotolerantes para diferentes mediciones con dosificación 1 – 9:30 a.m.



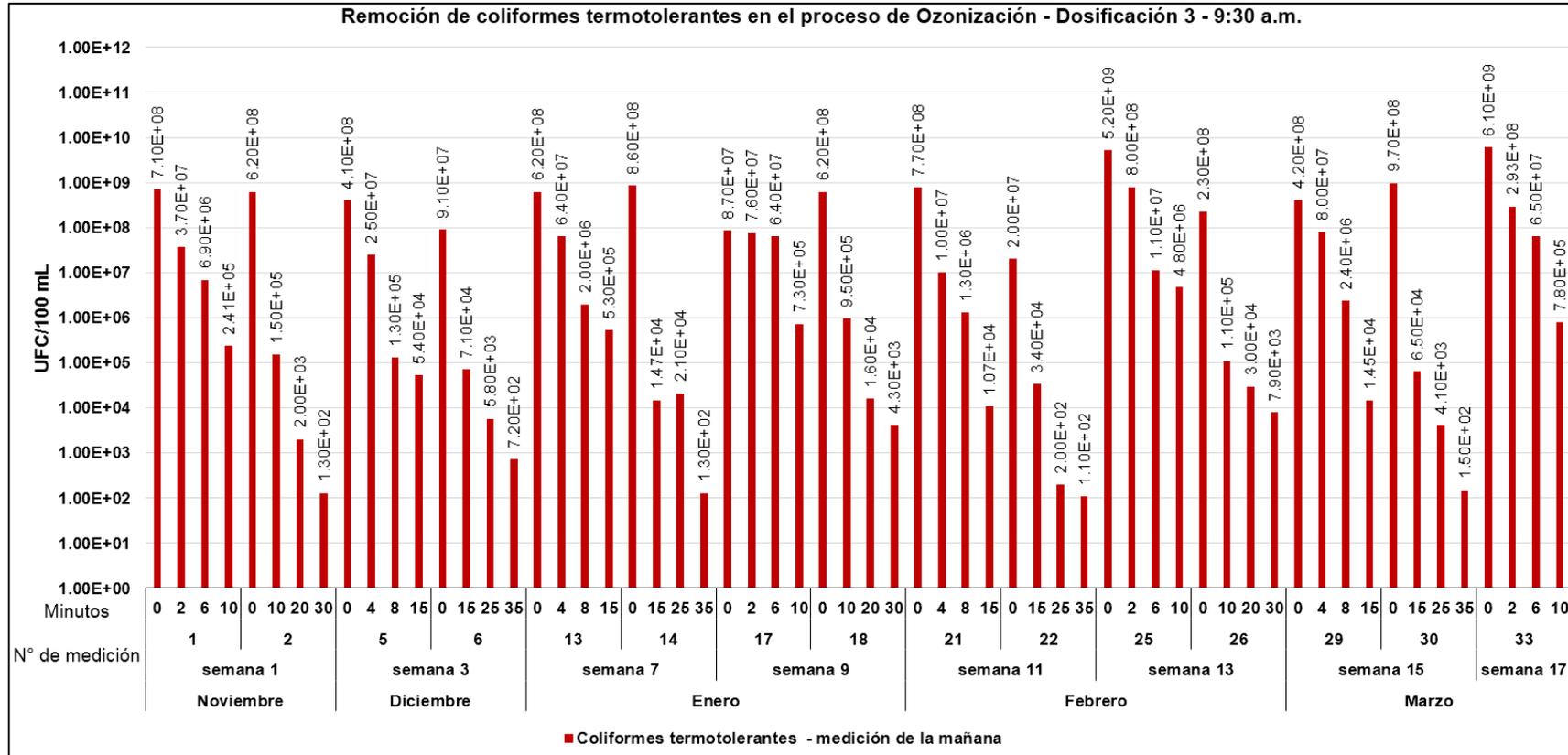
“Remoción de Coliformes Termotolerantes del Efluente del Reactor UASB Utilizando Ozono”

Gráfica N° 12.25. Remoción de Coliformes termotolerantes para diferentes mediciones con dosificación 2 – 9:30 a.m.



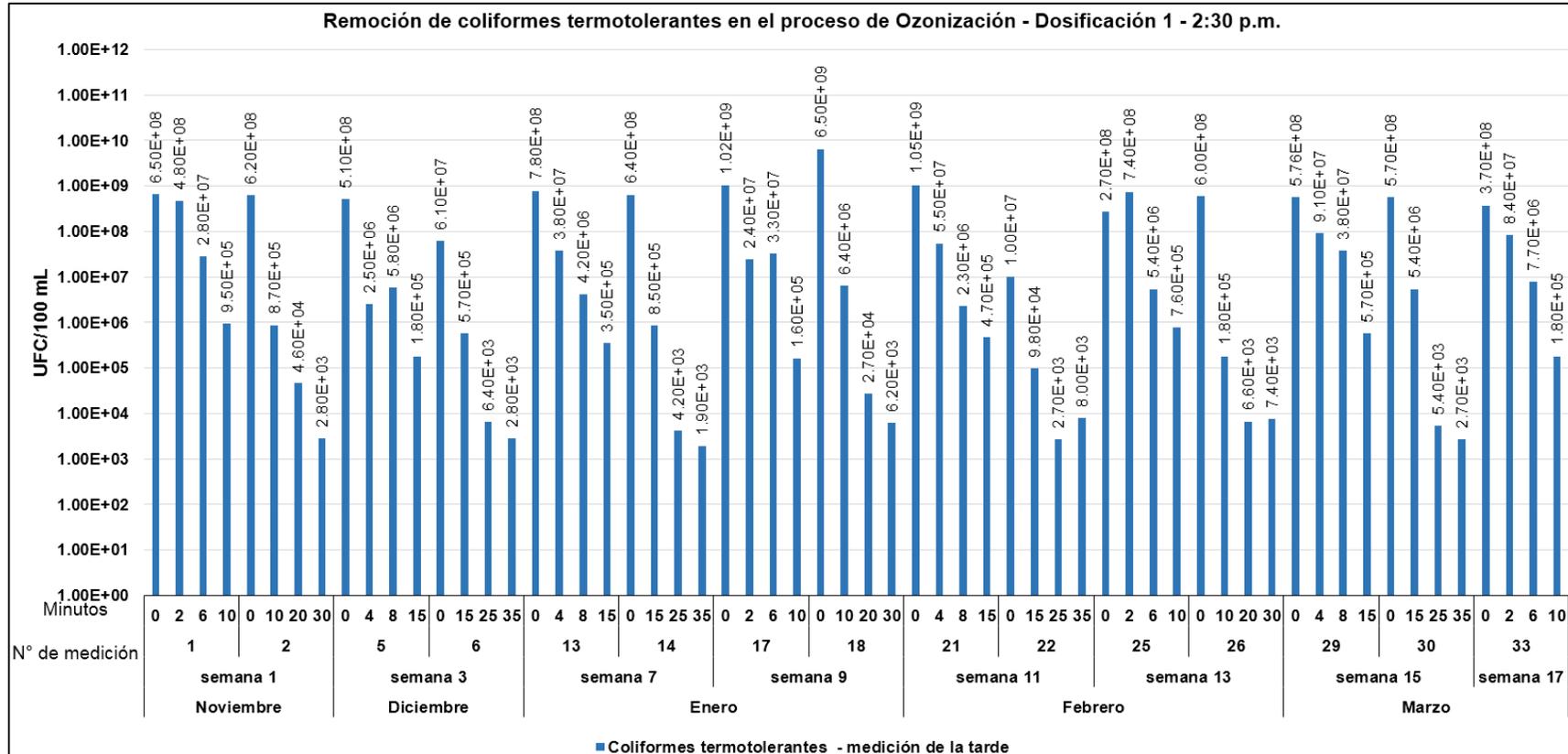
“Remoción de Coliformes Termotolerantes del Efluente del Reactor UASB Utilizando Ozono”

Gráfica N° 12.26. Remoción de Coliformes termotolerantes para diferentes mediciones con dosificación 3 – 9:30 a.m.



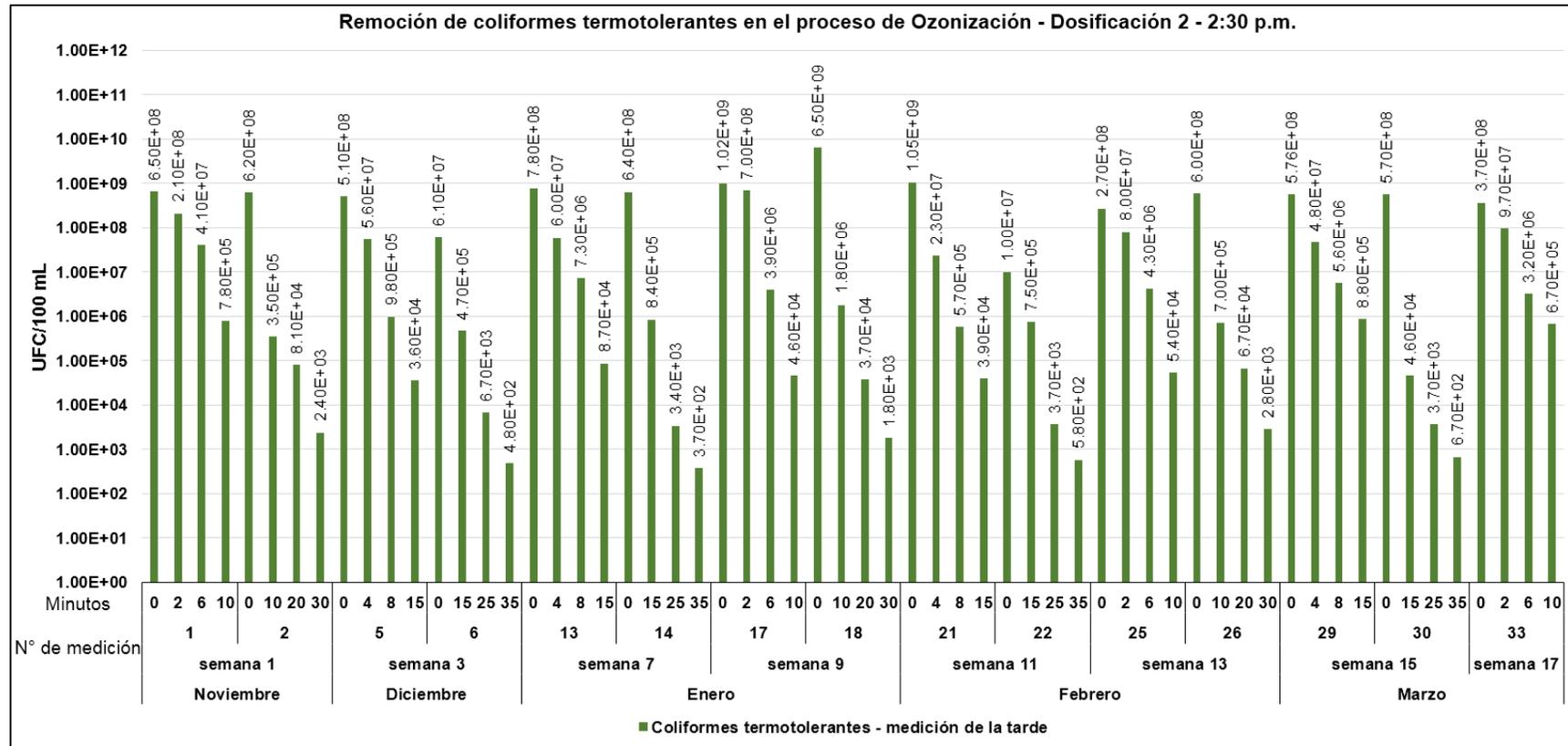
“Remoción de Coliformes Termotolerantes del Efluente del Reactor UASB Utilizando Ozono”

Gráfica N° 12.27. Remoción de Coliformes termotolerantes para diferentes mediciones con dosificación 1 – 2:30 p.m.



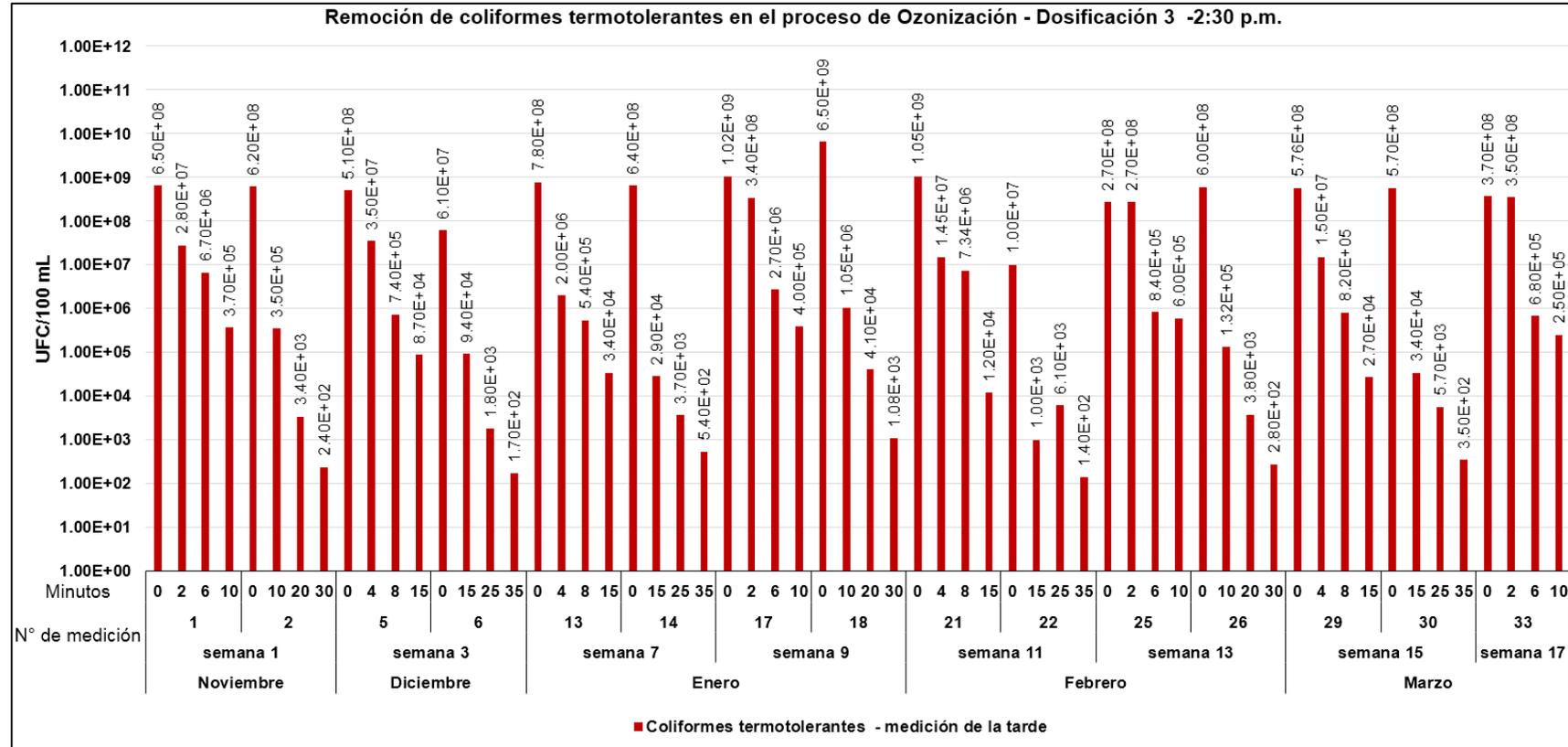
“Remoción de Coliformes Termotolerantes del Efluente del Reactor UASB Utilizando Ozono”

Gráfica N° 12.28. Remoción de Coliformes termotolerantes para diferentes mediciones con dosificación 2 – 2:30 p.m.



“Remoción de Coliformes Termotolerantes del Efluente del Reactor UASB Utilizando Ozono”

Gráfica N° 12.29. Remoción de Coliformes termotolerantes para diferentes mediciones con dosificación 3 – 2:30 p.m.



“Remoción de Coliformes Termotolerantes del Efluente del Reactor UASB Utilizando Ozono”

Así mismo se determinó la remoción de Coliformes termotolerantes mediante el método de tubos múltiples para ciertas mediciones en la mañana. Los resultados se presentan en la siguiente tabla.

Cuadro N° 12.17. Resultados de la Remoción de Coliformes termotolerantes, método de tubos múltiples

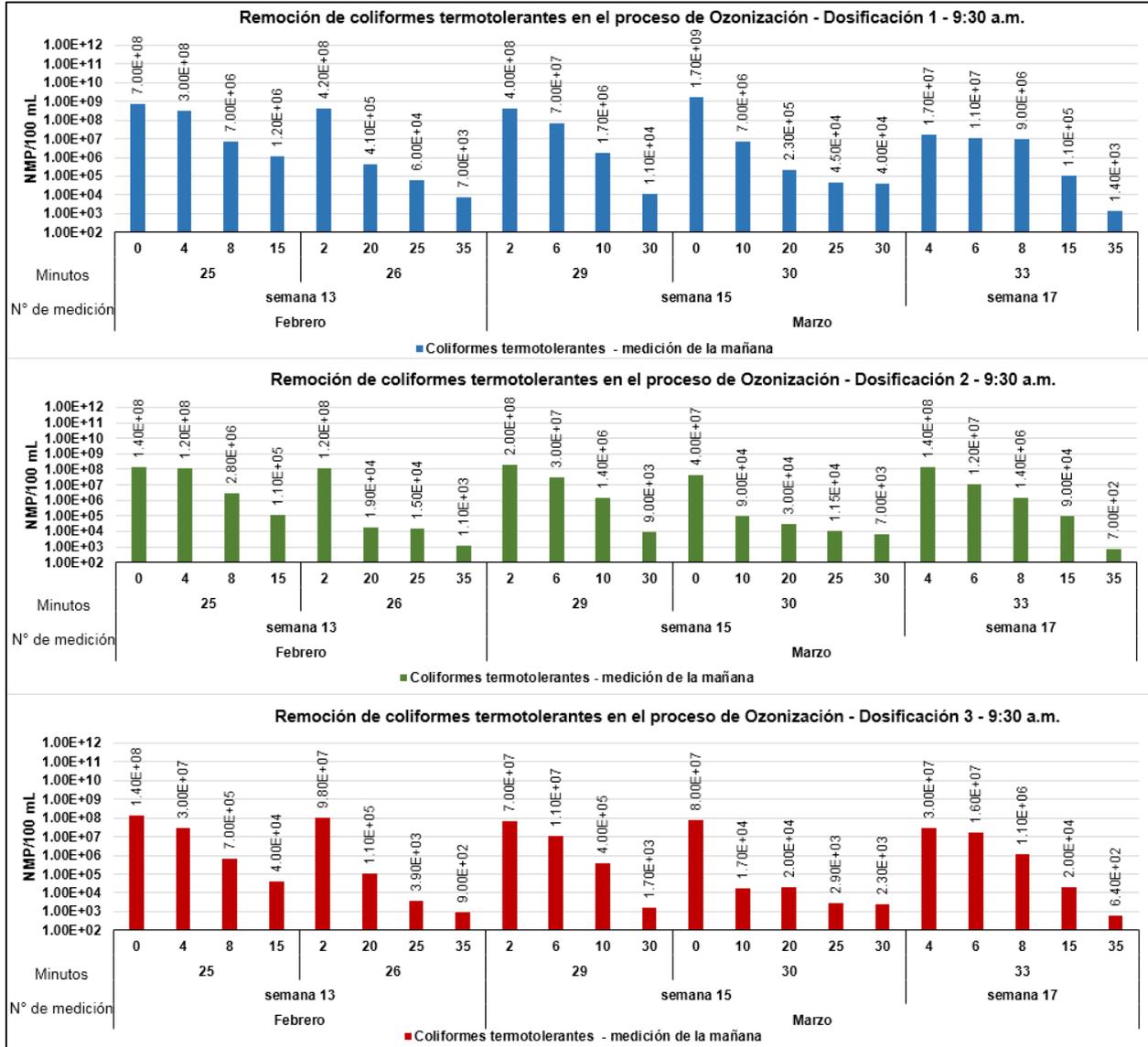
Mes	Semana	N° de medición	Tiempo (minutos)	dosificación 1	dosificación 2	dosificación 3			
				Coliformes termotolerantes - medición de la mañana (NMP/100ml)	Coliformes termotolerantes - medición de la mañana (NMP/100ml)	Coliformes termotolerantes - medición de la mañana (NMP/100ml)			
Febrero	semana 13	25	0	7.00E+08	1.40E+08	1.40E+08			
			4	3.00E+08	1.20E+08	3.00E+07			
			8	7.00E+06	2.80E+06	7.00E+05			
			15	1.20E+06	1.10E+05	4.00E+04			
		26	2	4.20E+08	1.20E+08	9.80E+07			
			20	4.10E+05	1.90E+04	1.10E+05			
			25	6.00E+04	1.50E+04	3.90E+03			
			35	7.00E+03	1.10E+03	9.00E+02			
			Marzo	semana 15	29	2	4.00E+09	2.00E+08	7.00E+07
						6	7.00E+07	3.00E+07	1.10E+07
10	1.70E+06	1.40E+06				4.00E+05			
30	1.10E+04	9.00E+03				1.70E+03			
30	0	1.70E+09			4.00E+07	8.00E+07			
	10	7.00E+06			9.00E+04	1.70E+04			
	20	2.30E+05			3.00E+04	2.00E+04			
	25	4.50E+04			1.15E+04	2.90E+3			
semana 17	33	30	30	4.00E+04	7.00E+03	2.30E+03			
			4	1.70E+07	1.40E+08	3.00E+07			
			6	1.10E+07	1.20E+07	1.60E+07			
			8	9.00E+06	1.40E+06	1.10E+06			
			15	1.10E+05	9.00E+04	2.00E+04			
semana 17	33	35	35	1.40E+03	7.00E+02	6.40E+02			

Las dosificaciones de Coliformes termotolerantes correspondientes al minuto “0” son del efluente del reactor UASB, es decir antes del tratamiento de ozonización. De estos resultados, se expresan las siguientes gráficas:

Las gráficas correspondientes a estos resultados se muestran a continuación:

“Remoción de Coliformes Termotolerantes del Efluente del Reactor UASB Utilizando Ozono”

Gráfica N° 12.32. Remoción de Coliformes termotolerantes (NMP/100mL)



“Remoción de Coliformes Termotolerantes del Efluente del Reactor UASB Utilizando Ozono”

XII.3.3. PARÁMETROS BIOQUÍMICOS

XII.3.3.1. DBO

Los análisis de DBO fueron realizados mensualmente, para poder ver la reducción de la DBO en el fluente del reactor UASB, cuando las muestras son sometidas al proceso de ozonización. Los resultados se muestran a continuación en el siguiente cuadro:

Cuadro N° 12.18. Resultados de la DBO.

	N° Botella	Vol. (mL)	Muestra-Agua Cultivada Vol.(mL)	Factor de dilución	O. D. inicial (mg/L)	O. D. final (mg/L)	Diferencia	DBO (mg/L)	DBO (mg/L) promedio	
Prueba 1	Blanco		300	0.00	-	7.20	6.68	0.52		
	Crudo	1	300	6.00	0.02	7.20	4.30	2.90	119.52	109.42
		2	300	10.00	0.03	7.20	3.20	4.00	104.92	
		3	300	12.00	0.04	7.20	2.40	4.80	107.52	
		4	300	15.00	0.05	7.20	1.42	5.78	105.72	
	Dosificación 1	1	300	70.00	0.23	7.20	1.20	6.00	24.01	21.00
		2	300	80.00	0.27	7.20	1.40	5.80	20.32	
		3	300	90.00	0.30	7.20	0.63	6.57	20.69	
		4	300	100.00	0.33	7.20	0.52	6.68	19.00	
	Dosificación 2	1	300	70.00	0.23	7.20	1.30	5.90	23.58	20.86
		2	300	80.00	0.27	7.20	1.03	6.17	21.71	
		3	300	90.00	0.30	7.20	0.85	6.35	19.95	
		4	300	100.00	0.33	7.20	0.78	6.42	18.22	
	Dosificación 3	1	300	120.00	0.40	7.20	1.80	5.40	12.72	11.05
		2	300	150.00	0.50	7.20	1.40	5.80	11.08	
		3	300	180.00	0.60	7.20	0.80	6.40	10.32	
		4	300	200.00	0.67	7.20	0.32	6.88	10.06	
	N° Botella	Vol. (mL)	Muestra-Agua Cultivada Vol.(mL)	Factor de dilución	O. D. inicial (mg/L)	O. D. final (mg/L)	Diferencia	DBO (mg/L)	DBO (mg/L) promedio	
Prueba 2	Blanco		300	0	-	7.91	6.8	1.11		
	Crudo	1	300	6	0.02	7.91	4.9	3.01	96.11	95.99
		2	300	10	0.03	7.91	3.7	4.21	94.11	
		3	300	12	0.04	7.91	2.9	5.01	98.61	
		4	300	15	0.05	7.91	2.1	5.81	95.11	
	Dosificación 1	1	300	70	0.23	7.91	0.6	7.31	27.68	23.74
		2	300	80	0.27	7.91	0.65	7.26	24.17	
		3	300	90	0.30	7.91	0.57	7.34	21.88	
		4	300	100	0.33	7.91	0.1	7.81	21.21	
	Dosificación 2	1	300	70	0.23	7.91	0.84	7.07	26.65	23.15
		2	300	80	0.27	7.91	0.63	7.28	24.25	
		3	300	90	0.30	7.91	0.65	7.26	21.61	
		4	300	100	0.33	7.91	0.48	7.43	20.07	
	Dosificación 3	1	300	120	0.40	7.91	2.1	5.81	12.86	11.91
		2	300	150	0.50	7.91	0.9	7.01	12.91	
		3	300	180	0.60	7.91	0.68	7.23	11.31	
		4	300	200	0.67	7.91	0.5	7.41	10.56	

**“Remoción de Coliformes Termotolerantes del Efluente del Reactor UASB
Utilizando Ozono”**

	N° Botella	Vol. (mL)	Muestra-Agua Cultivada Vol.(mL)	Factor de dilución	O. D. inicial (mg/L)	O. D. final (mg/L)	Diferencia	DBO (mg/L)	DBO (mg/L) promedio	
Prueba 3	Blanco		300	0	-	7.88	6.87	1.01		
	Crudo	1	300	6	0.02	7.88	4.99	2.89	95.01	90.41
		2	300	10	0.03	7.88	3.96	3.92	88.31	
		3	300	12	0.04	7.88	3.33	4.55	89.51	
		4	300	15	0.05	7.88	2.48	5.4	88.81	
	Dosificación 1	1	300	70	0.23	7.88	0.63	7.25	27.75	23.75
		2	300	80	0.27	7.88	0.51	7.37	24.86	
		3	300	90	0.30	7.88	0.57	7.31	22.01	
		4	300	100	0.33	7.88	0.41	7.47	20.39	
	Dosificación 2	1	300	70	0.23	7.88	0.59	7.29	27.92	23.90
		2	300	80	0.27	7.88	0.5	7.38	24.90	
		3	300	90	0.30	7.88	0.48	7.4	22.31	
		4	300	100	0.33	7.88	0.38	7.5	20.48	
	Dosificación 3	1	300	120	0.40	7.88	0.34	7.54	17.335	13.50
		2	300	150	0.50	7.88	0.43	7.45	13.89	
		3	300	180	0.60	7.88	0.5	7.38	11.6267	
4		300	200	0.67	7.88	0.1	7.78	11.165		
	N° Botella	Vol. (mL)	Muestra-Agua Cultivada Vol.(mL)	Factor de dilución	O. D. inicial (mg/L)	O. D. final (mg/L)	Diferencia	DBO (mg/L)	DBO (mg/L) promedio	
Prueba 4	Blanco		300	0	-	7.81	6.23	1.58		
	Crudo	1	300	6	0.02	7.81	4.98	2.83	92.01	92.89
		2	300	10	0.03	7.81	3.8	4.01	91.01	
		3	300	12	0.04	7.81	3.1	4.71	93.51	
		4	300	15	0.05	7.81	2.1	5.71	95.01	
	Dosificación 1	1	300	70	0.23	7.81	1.1	6.71	25.4386	23.55
		2	300	80	0.27	7.81	0.49	7.32	24.6725	
		3	300	90	0.30	7.81	0.2	7.61	23.01	
		4	300	100	0.33	7.81	0.11	7.7	21.08	
	Dosificación 2	1	300	70	0.23	7.81	1.8	6.01	22.4386	22.09
		2	300	80	0.27	7.81	0.95	6.86	22.9475	
		3	300	90	0.30	7.81	0.45	7.36	22.1767	
		4	300	100	0.33	7.81	0.21	7.6	20.78	
	Dosificación 3	1	300	120	0.40	7.81	2.1	5.71	12.76	12.14
		2	300	150	0.50	7.81	0.9	6.91	12.81	
		3	300	180	0.60	7.81	0.23	7.58	11.96	
4		300	200	0.67	7.81	0.12	7.69	11.03		

Estos resultados son representados en un cuadro donde se calculó el porcentaje de remoción y una gráfica, que permite visualizar el comportamiento o reducción del DBO cuando ocurre el proceso de ozonización.

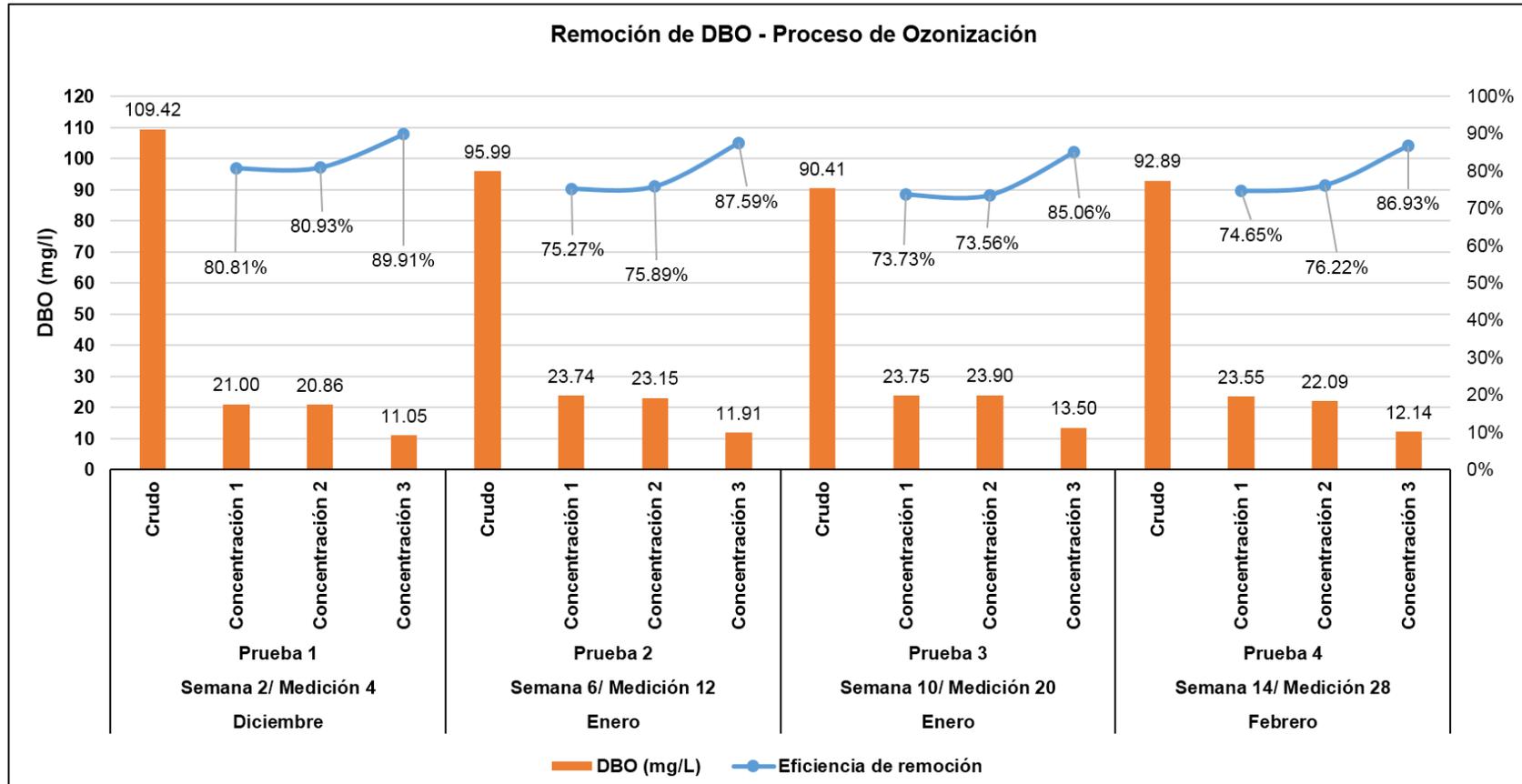
“Remoción de Coliformes Termotolerantes del Efluente del Reactor UASB Utilizando Ozono”

Cuadro N° 6.19. Resumen de resultados de DBO

Mes	Semana/Medición	Prueba	Descripción	DBO (mg/L)	Eficiencia de remoción
Diciembre	Semana 2/ Medición 4	Prueba 1	Crudo	109.42	
			Dosificación 1	21.00	80.81%
			Dosificación 2	20.86	80.93%
			Dosificación 3	11.05	89.91%
Enero	Semana 6/ Medición 12	Prueba 2	Crudo	95.99	
			Dosificación 1	23.74	75.27%
			Dosificación 2	23.15	75.89%
			Dosificación 3	11.91	87.59%
Enero	Semana 10/ Medición 20	Prueba 3	Crudo	90.41	
			Dosificación 1	23.75	73.73%
			Dosificación 2	23.90	73.56%
			Dosificación 3	13.50	85.06%
Febrero	Semana 14/ Medición 28	Prueba 4	Crudo	92.89	
			Dosificación 1	23.55	74.65%
			Dosificación 2	22.09	76.22%
			Dosificación 3	12.14	86.93%

“Remoción de Coliformes Termotolerantes del Efluente del Reactor UASB Utilizando Ozono”

Gráfica N° 12.33. Reducción de DBO



“Remoción de Coliformes Termotolerantes del Efluente del Reactor UASB Utilizando Ozono”

XII.3.4. OTROS PARÁMETROS

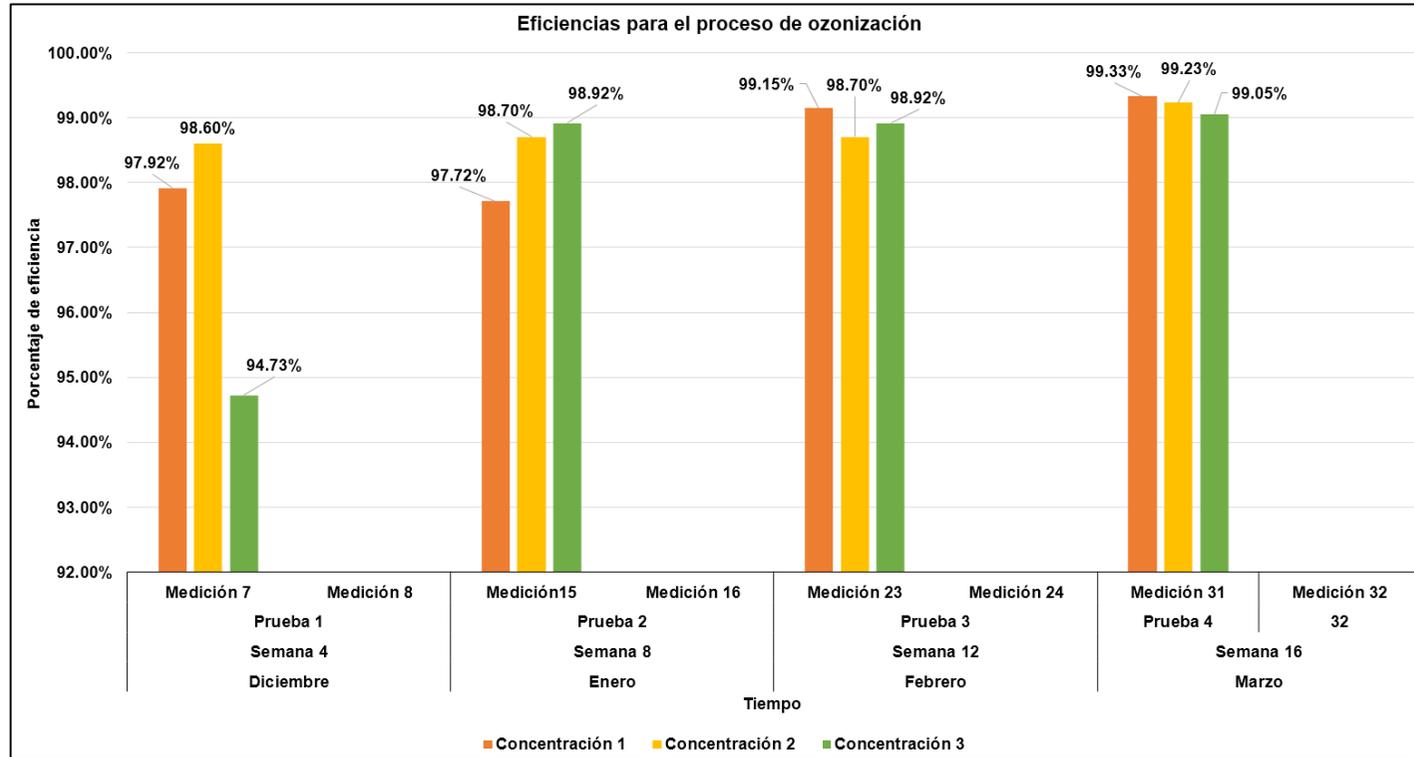
XII.3.4.1 TRANSFERENCIA DE GAS OZONO AL AGUA RESIDUAL DURANTE EL PROCESO DE OZONIZACIÓN.

La transferencia de gas ozono al agua residual durante el proceso de ozonización fue realizada mensualmente para las tres diferentes dosificaciones de ozono. Los cálculos realizados en esta sección de eficiencia se muestran en los anexos. Los datos obtenidos se presentan a continuación:

Cuadro N° 12.20. Resultados de transferencia de gas ozono al agua residual en el reactor tipo Batch

		Dosificación 1	Dosificación 2	Dosificación 3
Prueba 1	Dosificación (g/h)	2.10	2.70	3.00
	Volumen de agua residual a tratar (L)	1.00	1.00	1.00
	Tiempo (min)	35.00	35.00	35.00
	ppm administrado	1225.00	1575.00	1750.00
	ppm consumido en el tratamiento	1199.50	1553.03	1657.71
	eficiencia	97.92%	98.60%	94.73%
Prueba 2	Dosificación (g/h)	2.10	2.70	3.00
	Volumen de agua residual a tratar (L)	1.00	1.00	1.00
	tiempo (min)	35.00	35.00	35.00
	ppm administrado	1225.00	1575.00	1750.00
	ppm consumido en el tratamiento	1197.02	1554.55	1731.05
	eficiencia	97.72%	98.70%	98.92%
Prueba 3	Dosificación (g/h)	2.10	2.70	3.00
	Volumen de agua residual a tratar (L)	1.00	1.00	1.00
	tiempo (min)	35.00	35.00	35.00
	ppm administrado	1225.00	1575.00	1750.00
	ppm consumido en el tratamiento	1214.54	1554.55	1731.05
	eficiencia	99.15%	98.70%	98.92%
Prueba 4	Dosificación (g/h)	2.10	2.70	3.00
	Volumen de agua residual a tratar (L)	1.00	1.00	1.00
	tiempo (min)	35.00	35.00	35.00
	ppm administrado	1225.00	1575.00	1750.00
	ppm consumido en el tratamiento	1216.78	1562.92	1733.30
	eficiencia	99.33%	99.23%	99.05%
Promedio - consumido		98.53%	98.81%	97.90%
Excedente		1.47%	1.19%	2.10%

Gráfica N° 12.34. Eficiencia de reactor tipo Batch – Consumo de ozono en el proceso de ozonización



“Remoción de Coliformes Termotolerantes del Efluente del Reactor UASB Utilizando Ozono”

XII.4. ANEXO N°4: CALCULO DE TRANSFERENCIA DE GAS OZONO AL AGUA RESIDUAL DURANTE EL PROCESO DE OZONIZACIÓN.

Se presenta un cálculo general de la transferencia de gas ozono al agua residual durante el proceso de ozonización del reactor de ozonización.

Cuadro N° 12.21. Transferencia de gas ozono al agua residual durante el proceso de ozonización

CALCULO DE TRANSFERENCIA DE GAS OZONO AL AGUA RESIDUAL DURANTE EL PROCESO DE OZONIZACIÓN. Dosificación 3.00 gr/h		
1) Masa de tiosulfato de sodio:		0.3608 g
2) Volumen de disolución:		100 ml
3) Volumen usado en titulación con tiosulfato de sodio:		17.3 ml
4) Cálculo de masa de tiosulfato de sodio consumido:		0.06242 g
Dato: Masa formular de tiosulfato de sodio:		158.11 g /mol
5) Cálculo de moles de tiosulfato de sodio:		0.000395 moles
CALCULO DE MOLES DE ANIÓN TIOSULFATO		
		$S_2O_3^{2-}$ or $O_3S_2^{-2}$
6) Relación de molar entre iones=		1 2 0.000395 X
7) Moles de anión tiosulfato (X) =		0.000790 moles de ión tiosulfato
OXIDACIÓN DEL YODURO DE POTASIO		
Reacción química 1:		$3I_{2(ac)} + 6[S_2O_3]_{(ac)}^{2-} \rightarrow 6I_{(ac)}^- + 6[S_2O_3]_{(ac)}^{2-}$, T = 25°C
8) Relación molar (moles):		3 6 X 0.000790
9) Moles de I2 que reaccionan	x=	0.0003948 moles I2
CANTIDAD OZONO QUE LLEGA A LA SOLUCIÓN DE YODURO DE POTASIO		
Reacción química 2:		$2KI_{(ac)} + O_{3(g)} + H_2O_{(l)} \rightarrow I_{2(ac)} + O_{2(g)} + 2K(OH)_{(ac)}$, T = 25°C
10) Relación molar (moles):		1 1 x 0.0003948
11) Moles de ozono :		0.0003948 moles
12) Gramos de ozono :		0.018949359 gramos
13) Volumen de agua residual tratada: Ozono en la solución de yoduro de potasio:		1 L
14)		18.94935931 ppm
BALANCE DE OZONO TRANSFERIDO AL AGUA RESIDUAL Y ADMINISTRADO POR EL EQUIPO GENERADOR		
15) Dosificación por el equipo generador de ozono:		3 g /h
- Volumen		1 L
- tiempo		35 min
16) Concentración administrada:		1750 mg /L (ppm)
17) Ozono transferido al agua residual:		1731.050641 ppm
18) Ozono transferido al agua residual porcentual:		98.92%